

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
Escola de Engenharia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

Taciana Ramos Luz

**Caeski:  
uma tecnologia assistiva para a comunicação de pessoas com surdocegueira**

Belo Horizonte  
2023

Taciana Ramos Luz

**Caeski:**

**uma tecnologia assistiva para a comunicação de pessoas com surdocegueira**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica.

Orientador: Rudolf Huebner

Belo Horizonte

2023

L979c	<p>Luz, Taciana Ramos.</p> <p>Caeski [recurso eletrônico] : uma tecnologia assistiva para a comunicação de pessoas com surdocegueira / Taciana Ramos Luz. - 2023.</p> <p>1 recurso online (140 f. : il., color.) : pdf.</p> <p>Orientador: Rudolf Huebner.</p> <p>Tese (doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.</p> <p>Bibliografia: f. 129-140. Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.</p> <p>1. Engenharia mecânica - Teses. 2. Bioengenharia - Teses. 3. Cegos- surdos - Teses. 4. Comunicação - Teses. 5. Acessibilidade - Teses. 6. Deficientes - Teses. 7. Gamificação - Teses. I. Huebner, Rudolf. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 621(043)</p>
-------	---



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

*"CAESKI: UMA TECNOLOGIA ASSISTIVA PARA A COMUNICAÇÃO DE PESSOAS COM SURDOCEGUEIRA"*

**TACIANA RAMOS LUZ**

Tese submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, constituída pelos Professores: Dr. Rudolf Huebner (Orientador – Departamento de Engenharia Mecânica/UFMG), Dr<sup>a</sup>. Maria Lúcia Machado Duarte (Departamento de Engenharia Mecânica/UFMG), Dr. Eduardo José Lima II (Departamento de Engenharia Mecânica/UFMG), Dr<sup>a</sup>. Adriana Lia Frizzman de Laplane (Universidade Estadual de Campinas/Unicamp) e Dr. Cleudmar Amaral de Araújo (Universidade Federal de Uberlândia/UFU), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de "**Doutora em Engenharia Mecânica**", na área de concentração de "Bioengenharia".

Tese aprovada no dia 27 de fevereiro de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Rudolf Huebner, Professor do Magistério Superior**, em 01/03/2023, às 10:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo Jose Lima Ii, Professor do Magistério Superior**, em 01/03/2023, às 11:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maria Lucia Machado Duarte, Professora do Magistério Superior**, em 01/03/2023, às 17:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Adriana Lia Frizzman de Laplane, Usuária Externa**, em 04/03/2023, às 12:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cleudmar Amaral de Araújo, Usuário Externo**, em 07/03/2023, às 22:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **2101201** eo código CRC **ACB8A365**.

---

**Referência:** Processo nº 23072.209720/2023-95

*Em memória a Bartholomeu Machado Nogueira Amaral e Marcos Pinotti Barbosa.  
Sem o legado de ambos, este trabalho não seria possível.*

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Rudolf Huebner por me ajudar a dar continuidade a este sublime projeto, apesar de todos os obstáculos.

Aos professores Maria Lúcia Duarte e Ricardo Luiz Utsch pela disponibilidade e assertivas orientações.

A querida equipe Caeski, por viabilizarem as ideias de forma efetiva. Em ordem alfabética, mas no mesmo nível de importância: Amir de Albuquerque Nunes Ribeiro e Silva, André Menezes, Augusto Vilaça, Bianca Rodrigues dos Santos Bomfim, Bianca Gomes Rabelo Nogueira, Cleyton Nicel Ferreira, Eduarda Costa Esnarriaga do Prado, Felipe Romano Lopes, Gabriel Soares Batista dos Santos, Haiany Christine Abreu, Herbert Câmara Nick, Igor Guimarães de Souza, João Victor Alves Esteves, Lara Gontijo de Castro Souza, Luiz Paulo Santos Rezende, Lucas Corrêa Aranha, Matheus José Fonseca Franklin, Monique Stephanie Rodrigues Silva, Paulo Estevão Nunes Santos, Pedro Augusto de Oliveira Mendes, Pedro Henrique de Oliveira Gomes, Renan Gustavo Otoni de Oliveira. Cada um com os seus conhecimentos, formamos uma equipe forte e unida.

A AHIMSA - Associação Educacional para Múltipla Deficiência e a FENEIS/MG - Federação Nacional de Educação e Integração dos Surdos.

A Lara Gontijo, pela sua brilhante e inspiradora história de vida e engajamento na luta pelas causas das pessoas com surdocegueira.

Aos meus pais, Tarcísio Luz Filho e Márcia Ramos Luz, por compreenderem minhas ausências e pelo incentivo incondicional.

A Rodrigo Lucas de Oliveira Damasceno por estar ao meu lado e tornar mais leve essa jornada. Obrigada pelos sábios conselhos.

## Sonhos de um Surdocego

“Sonho que um dia... vou ser menos "invisível" para a humanidade.  
Sonho que um dia... a humanidade recuperará a paciência que perdeu.  
Sonho que um dia... a humanidade resgatará a sabedoria e entenderá minha comunicação.  
Sonho que um dia... a humanidade voltará a ser próxima, como na antiguidade.  
Sonho que um dia... a humanidade será livre de preconceitos e me tocará sem medo.  
Sonho que um dia... deixarei de ser, simplesmente, "outro tijolo na parede", como disse Pink Floyd na canção "Another brick in the wall".  
Sonho que um dia... não necessitarei "beber da mesma fonte" como disse Carl Jung, um dos fundadores da psicanálise moderna.  
Sonho que um dia... a humanidade eliminará a marca de que a surdocegueira é a condição mais temida.  
Sonho que um dia... a humanidade assumirá que “estar sozinho” não é sinônimo de abandono.  
Sonho que um dia... semearei a "solidão" que nos impõe a surdocegueira como um querer possível de se desfrutar porque não sentiremos medo de nós mesmos.  
Sonho que um dia... trocarei as pré-suposições sobre minha identidade e será passado, a frase que hoje repetem: "pobre, é surdocego".  
Sonho que um dia... a humanidade verá meu ser e valorizará tanto minha essência como minha luta, dirá então: "genial, é surdocego".  
Sonho que um dia... apagarei a vergonha da mente humana como uma ferramenta de controle.  
Sonho que um dia... a humanidade compreenderá e valorizará que todas as pessoas são obras divinas, iguais, porém, incompletas.  
Sonho que um dia... deixarei tão somente de "existir" para então "ser".  
Sonho que um dia... aprenderei a ser "forte" para que nada me derrote.  
Sonho que um dia... serei "eu" para que ninguém esqueça.  
Sonho que um dia... meus sonhos projetarão o futuro.  
Sonho que um dia... a humanidade será humana.”

(Alex Garcia -Pessoa surdocega e militante dos direitos das pessoas com surdocegueira)

## Resumo

Na atual era da informação, é necessária a acessibilidade de pessoas com deficiência a computadores e *smartphones*. O Caeski visa facilitar a comunicação de pessoas com surdocegueira em contextos presenciais ou mediados pela tecnologia. Possui as interfaces teclado e *joystick* com doze botões que permitem a digitação e a recepção das informações por vibração. O objetivo deste trabalho é apresentar essa tecnologia assistiva que permite a comunicação ágil e sem fronteiras de pessoas com surdocegueira com interlocutores surdos e não surdos localizados em qualquer parte do mundo. Para tal, foi desenvolvido o aplicativo Caeski, que funciona via *internet* em computadores ou *smartphones*. Durante o processo de desenvolvimento dessa tecnologia, foram realizados testes com potenciais usuários e a interação entre os pesquisadores e as pessoas com surdocegueira foi de fundamental importância para compreender suas necessidades e particularidades. A partir das demandas levantadas durante os testes, foi desenvolvido um *game*, no qual é possível que o usuário se familiarize com as combinações do Caeski, associando o aprendizado ao entretenimento. Trata-se de uma tecnologia inovadora e desenvolvida inteiramente no Brasil.

**Palavras-chave:** surdocegueira, tecnologia assistiva, bioengenharia, gamificação, comunicação, acessibilidade.

## **Abstract**

In the information age, accessibility to computers and smartphones for persons with disabilities is necessary. Caeski aims to facilitate the communication of persons with deafblindness in presential contexts or mediated by technology. It includes a keyboard and joystick interface with twelve buttons that allow typing and the reception of information by vibration. The objective of this work is to present this assistive technology that allows agile and borderless communication of persons with deafblindness with deafblind and non-deafblind interlocutors located anywhere in the world. To this aim, the Caeski application was developed, which operates via internet on computers or smartphones. During the development process of this technology, tests were made with potential users and the interaction between researchers and persons with deafblindness was crucial to understand their needs and particularities. From the demands identified during the tests, a game was developed, in which it is possible for the user to become familiar with Caeski's combinations, associating learning to entertainment. This is an innovative technology developed in Brasil.

Keywords: deafblindness, assistive technology, bioengineering, gamification, communication, accessibility.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Teclado Caeski com destaque para as teclas adicionais "Espaço" e "Enter" (a) e com as mãos posicionadas sobre o dispositivo (b).	20
Figura 2 - Interface <i>joystick</i> , vista superior (a) e vista inferior (b).	21
Figura 3 - Visão de uma pessoa sem retinose pigmentar (a) e com retinose pigmentar (b).	28
Figura 4 - Libras em campo visual reduzido.	31
Figura 5 - Libras tátil.	31
Figura 6 – Tadoma.	32
Figura 7 - Escrita na palma da mão	32
Figura 8 - Alfabeto Braille	33
Figura 9 - Demonstração do Braille tátil para a palavra “casa”	34
Figura 10 - Sistema Malossi	35
Figura 11 - Sistema Lorm, com seus pontos e traçados	35
Figura 12 - Sistema alfanumérico Moon	36
Figura 13 - Frase “Doutorado Taciana Luz” escritos no sistema Moon.	36
Figura 14 - Recursos de tecnologia assistiva subdivididos em recursos eletrônicos e não eletrônicos.	38
Figura 15 - Tablita alfabética.	39
Figura 16 - Punção e reglete.	39
Figura 17 - Máquina de escrever Perkins.	40
Figura 18 - Máquina eletrônica Perkins.	41
Figura 19 - Linha Braille.	42
Figura 20 - Imagem de uma cabeça e orelha com implante coclear (em cinza).	43
Figura 21 - Optacon.	44
Figura 22 - Brainport, imagem em cinza captada pela câmera de vídeo e estimulação na língua.	46
Figura 23 - DB-Glove com representação do alfabeto Malossi.	48
Figura 24 - Lorm Glove, com representação do alfabeto Lorm em cinza e dos sensores em branco.	49
Figura 25 - Mão robótica, realiza os movimentos correspondentes a linguagem de sinais.	52
Figura 26 – Linha do tempo de alguns recursos de tecnologia apresentados	52

Figura 27 - Protótipo Luvas 1 feito com luva de látex.	52
Figura 28 - Protótipo Luvas 2 feito com luvas de lã.	53
Figura 29 - Protótipo Luvas 3 feito com poliamida, elástico e poliuretano.	54
Figura 30 - Protótipo Luvas 4 com sensores de flexão, tecido condutivo e com os componentes eletrônicos costurados.	55
Figura 31 - Protótipo 4 com materiais resistentes a vincos, a altas temperaturas, com impermeabilidade e proteção contra produtos químicos.	55
Figura 32 - Protótipo Luvas 4 revestido e com circuito interno próprio acondicionado em uma caixa.	56
Figura 33 - Flexão dos dedos das mãos.	57
Figura 34 - Protótipo 5 com teclas vermelhas.	57
Figura 35 - Protótipo 6 com teclas verdes.	58
Figura 36 - Protótipo 7 com teclas cor de rosa.	58
Figura 37 - Interface “coração”.	58
Figura 38 - Protótipo 8, teclado “Asas”.	59
Figura 39 – Postura anti-ergonômica durante o uso do teclado Asas.	59
Figura 40 - Protótipo 9, teclado Ziba.	60
Figura 41 - Deslocamento dos botões do protótipo Ziba.	61
Figura 42 - Acomodação da eletrônica no Caeski com a fixação dos botões para o encaixe da tampa superior.	61
Figura 43 - Primeiras versões dos <i>joysticks</i> .	62
Figura 44 - <i>Joystick</i> Caeski em seu suporte de apoio (a,b) e nas mãos do usuário (c,d).	63
Figura 45 – Cronologia da prototipagem	63
Figura 46 - Organograma da equipe desenvolvedora do Caeski	67
Figura 47 - Números correspondentes a cada tecla no Caeski.	72
Figura 48 - Circuito em <i>proto-board</i>	75
Figura 49 - Fios soldados diretamente na bateria (a) e inserção de um conector de bateria (b)	76
Figura 50 – Conector IL-G-4P-S3L2-AS (a), conector PCMN2-O4KK (b) e encaixe dos conectores (c)	77
Figura 51 – Isolantes tero-retráteis, destacados em vermelho	77

Figura 52 - Imagem ilustrativa do cartão com informações para um usuário surdocego iniciar a comunicação com outra pessoa usando o Caeski.	78
Figura 53 - Transmissão de dados do Caeski para os aplicativos da pessoa surdocega e de uma pessoa não surdocega.	79
Figura 54 - Transmissão de dados entre duas pessoas surdocegas.	79
Figura 55 - Imagem ilustrativa de um <i>smartphone</i> com informações do software Caeski.	80
Figura 56 - Ambiente de teste com a presença do aplicador, da pessoa com surdocegueira e do intérprete.	83
Figura 57 - Modelo em EVA para treinamento dos exercícios para casa.	84
Figura 58 - Avaliação pelos monofilamentos Semmes-Weinstein.	90
Figura 59 - Posicionamento do acelerômetro triaxial para a medição das vibrações.	91
Figura 60 - Referências fixas para posicionamento das pontas do paquímetro nas mãos.	93
Figura 61 - Referências das medidas antropométricas da mão esquerda (a) e da mão direita (b) realizadas com paquímetro em cada indivíduo da amostra.	93
Figura 62 - Ambientação da caverna.	96
Figura 63 – Representação da placa de circuito eletrônico do Caeski	107
Figura 64 – Trecho da programação do <i>firmware</i>	108
Figura 65 – Projetos do teclado e do <i>joystick</i>	111
Figura 66 - Mãos da amostra analisadas da amostra que correspondem as medidas: (a) máxima adulto, (b) média adulto, (c) média criança e (d) mínima criança.	112
Figura 67 - Botões do Caeski	113
Figura 68 - Página inicial e página de cadastro do aplicativo Caeski.	114
Figura 69 - Página de perfil do usuário cadastrado.	115
Figura 70 - Tela inicial da página de chat do usuário não surdocego.	116
Figura 71 - Botão e página para adicionar contatos cadastrados.	117
Figura 72 - Página de chat de um contato e opções de “apagar mensagens” e “bloquear”.	118
Figura 73 – Tela inicial da página de chat do usuário não surdocego e página de conexão do Bluetooth.	119

Figura 74 - Menu inicial do <i>game</i> Caeski, com indicação dos símbolos dos botões “Sair do jogo” e “Reiniciar o jogo”.	120
Figura 75 - Tela do <i>game</i> com indicação das moedas e da pontuação.	121
Figura 76 - Exercício de força para o treino de palavras com letras minúsculas, sem acentos e outros símbolos.	121
Figura 77 - Explicação sobre a ativação do modo acentuação e apresentação de seus respectivos símbolos.	122
Figura 78 - Sinal de ativação do modo acentuação.	122
Figura 79 - Exercício de força com palavra acentuada para treino do modo acentuação.	123
Figura 80 - Progressões do <i>game</i> : botões de ajuste da velocidade e botão ocultar números das teclas.	123
Figura 81 - Encadernação feita em alto-relevo em EVA com o conteúdo do <i>game</i> , para utilização de pessoas que possuem surdocegueira total.	124

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Funções da visão e da audição	25
Tabela 2 - Lógica das combinações-chave para digitar letras em Caeski.	73
Tabela 3 - Combinações correspondentes à ativação de modos e botões correspondentes aos símbolos.	74
Tabela 4 - Programação dos dias de treinamento.	84
Tabela 5 - Conteúdo dos Exercícios de Avaliação.	86
Tabela 6 -Valores obtidos através da sistematização dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk.	109
Tabela 7 - Medidas mínimas, médias e máximas das mãos da amostra de adultos e crianças, com os respectivos desvios-padrão e intervalos de confiança.	110

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Formas de comunicação da amostra.	82
Gráfico 2 - Resultados de um exercício de recepção com palavras com três sílabas com duas letras.	101
Gráfico 3 - Resultados do exercício de recepção de palavras acentuadas de três sílabas.	101
Gráfico 4 - Resultados do exercício de emissão de uma frase com mais de três palavras e com palavras acentuadas.	102
Gráfico 5 - Resultados de um exercício de redação de uma frase com três palavras e com pontuação.	103
Gráfico 6 - Resultados do exercício de recepção de uma frase com mais de três palavras e com pontuação.	103
Gráfico 7 - Exposição em anos para adquirir a síndrome de Raynaud.	105
Gráfico 8 – Resultados da avaliação das cores e visualização do jogo.	125
Gráfico 9 – Resultados da avaliação da organização das informações na tela do jogo.	125
Gráfico 10 – Resultados da avaliação do nível de dificuldade do jogo.	126

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>19</b>
1.1 Objetivos.....	22
1.1.1 Objetivo geral.....	22
1.1.2 Objetivos específicos.....	22
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>23</b>
2.1 Definições de surdocegueira.....	23
2.2 As causas da surdocegueira.....	27
2.2.1 Síndrome da Rubéola Congênita.....	28
2.2.2 Síndrome de Usher.....	28
2.2.3 Microcefalia e hidrocefalia.....	29
2.3 Formas de comunicação utilizadas pelas pessoas com surdocegueira.....	30
2.3.1 Libras em campo visual reduzido e Libras tátil.....	30
2.3.2 Fala ampliada.....	31
2.3.3 Tadoma.....	32
2.3.4 Escrita na palma da mão.....	32
2.3.5 Braille tátil.....	33
2.3.6 Sistema Malossi.....	35
2.3.7 Sistema Lorm.....	35
2.3.8 Sistema Moon.....	36
2.4 Recursos de tecnologia assistiva existentes para as pessoas com surdocegueira.....	37
2.4.1 Recursos não eletrônicos.....	38
2.4.1.1 Tablitas alfabéticas.....	38
2.4.1.2 Punção e reglete.....	39
2.4.1.3 Máquina Perquins (versão máquina de escrever).....	40
2.4.2 Recursos eletrônicos.....	40
2.4.2.1 Máquina Perquins (versão eletrônica).....	40
2.4.2.2 Linha Braille.....	41
2.4.2.3 Implante coclear.....	42
2.4.2.4 Dispositivos com estímulos táteis.....	44
2.4.2.5 Luvas com estímulos vibratórios.....	48

2.4.2.6 Luvas com sensores de captação de movimento.....	50
2.4.2.7 Mãos robóticas.....	51
2.5 Histórico evolutivo da prototipagem, das luvas ao Caeski.....	53
2.5.1 Gamificação: definições e aplicações no contexto da aprendizagem....	64
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>67</b>
3.1 Formação da equipe desenvolvedora para o projeto Caeski.....	67
3.2 A lógica das combinações do Caeski.....	70
3.3 O processo de desenvolvimento do novo circuito eletrônico.....	75
3.4 A transmissão de dados pelo Caeski.....	78
3.5 Testes de validação do uso do dispositivo.....	81
3.5.1 Conteúdo dos Exercícios de Avaliação.....	85
3.6 Análise das vibrações emitidas pelo dispositivo.....	87
3.7 Medidas antropométricas das mãos.....	92
3.8 O desenvolvimento do aplicativo Caeski.....	95
3.9 O emprego da gamificação no Caeski.....	95
3.9.1 Testes com o <i>game</i> Caeski.....	97
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>99</b>
4.1 Resultados dos testes de validação do uso do dispositivo.....	99
4.2 Resultados das análises das vibrações.....	105
4.3. Resultados do desenvolvimento do circuito eletrônico.....	107
4.4 Resultados das medidas antropométricas das mãos e desenvolvimento do projeto dos protótipos.....	108
4.5 Resultados do desenvolvimento do aplicativo Caeski.....	114
4.6 Resultados do desenvolvimento do <i>game</i> Caeski.....	120
4.6.1 Os elementos do <i>game</i> Caeski.....	120
4.6.2 Resultados do questionário de avaliação do <i>game</i> .....	124
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>127</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>129</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A surdocegueira envolve a perda substancial da visão e da audição, de tal forma que a combinação das duas deficiências leva a grandes desafios na obtenção de objetivos educacionais, vocacionais, de lazer e sociais (MILES, 2008). De acordo com a Federação Mundial da Pessoa Surdocega (*World Federation of the Deafblind*), estima-se que 0,2 a 2% da população mundial seja composta por pessoas com surdocegueira, o que equivale a uma população que pode chegar a aproximadamente 156 milhões de indivíduos (WFDB, 2018). No entanto, em muitos países, essas pessoas não são reconhecidas como um grupo distinto com múltiplas deficiências sensoriais e muitas vezes são classificadas apenas como cegas ou apenas como surdas, fator que contribui para uma persistente invisibilidade estatística.

No Brasil, segundo a Associação Brasileira de Surdocegos (ABRASC) e a Federação Nacional de Educação e Integração dos Surdos (FENEIS), estima-se uma população de 40.000 surdocegos (GAMA, 2017). Entretanto, é necessário que o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) atualize este número, categorizando este grupo.

As pessoas com surdocegueira enfrentam diversos desafios para se comunicar e interagir em um mundo que possui predomínio de informações visuais e auditivas. Portanto, caso não haja uma política de assistência efetiva para essa parcela da população, há maiores chances de as pessoas com surdocegueira apresentarem menores resultados educacionais com maior susceptibilidade ao desemprego, em relação às pessoas com outras deficiências (WDFB, 2018, p.3).

O artigo 9º da Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência das Nações Unidas (ONU, 2006) menciona a acessibilidade para as pessoas com deficiência como um dever dos países membros das Nações Unidas. De acordo com essa Convenção, os países devem promover a autonomia, garantir a igualdade de oportunidades, a comunicação e o acesso a sistemas e tecnologias de informação nas áreas urbanas e rurais. A referida autonomia relaciona-se à capacidade do indivíduo realizar ações básicas, como se comunicar ou acessar algumas informações sem a ajuda de terceiros. Nesse contexto, a tecnologia assistiva Caeski, que será apresentada no presente estudo, visa promover a comunicação autônoma de pessoas com surdocegueira.

Ademais, diversos recursos assistivos voltados para pessoas com baixa visão ou baixa audição são usados por pessoas com surdocegueira. No entanto, deve-se refletir sobre até qual idade uma pessoa com surdocegueira com baixa visão e baixa audição com perdas progressivas da visão e da audição, poderá usar amplificadores de letras ou de som. Além disso, no caso de uma pessoa com surdocegueira profunda, de que forma ele poderá se comunicar de forma independente e utilizar tecnologias? Nesses casos, o Caeski visa atender a essa demanda. O Caeski se caracteriza como um dispositivo eletrônico que possui duas opções de interface - teclado e *joystick* - com 12 teclas e associado a um aplicativo para *smartphones* que possui o sistema Android. Pressionando essas teclas, é possível digitar mensagens que serão enviadas para o aplicativo Caeski e que podem ser visualizadas por uma pessoa que não possui surdocegueira, ou recebidas na forma de vibrações para outra pessoa com surdocegueira, que também possua um Caeski.

A figura 1 mostra os dez botões onde os dedos podem ser posicionados e os botões adicionais "Enviar", para enviar as mensagens digitadas e "Espaço", para digitar o espaço entre as palavras. Conforme a figura, o Caeski possui cor preta e botões amarelos, cores de alto contraste que visam facilitar a identificação das teclas por pessoas com surdocegueira que possuem baixa visão.

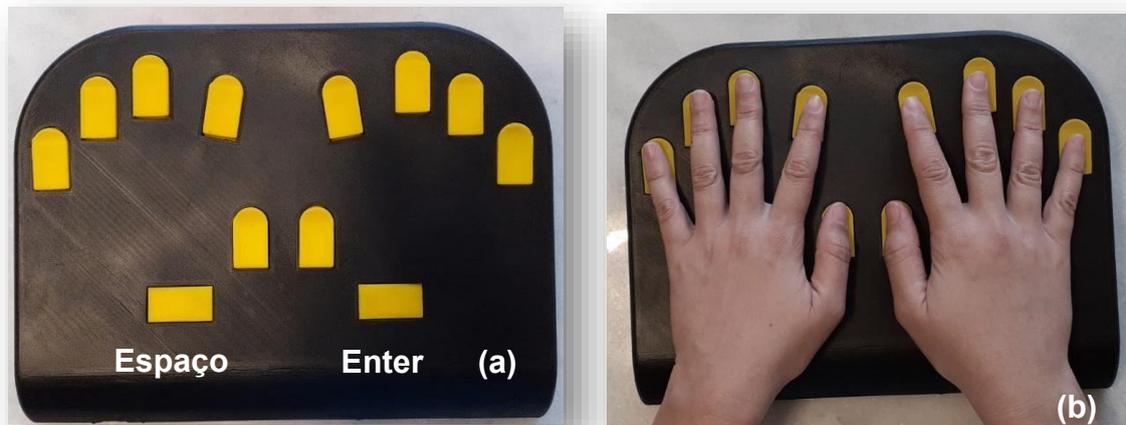


Figura 1 - Teclado Caeski com destaque para as teclas adicionais "Espaço" e "Enter" (a) e com as mãos posicionadas sobre o dispositivo (b).

Fonte: Autora.

A interface do tipo *joystick* possui os botões “Espaço”, “Enter” e as teclas onde se posicionam os polegares em sua face superior e demais teclas, na face inferior, conforme figura 2. Este tipo de interface foi demandado por um usuário surdocego que participou do presente estudo. Este tipo de interface permite que o usuário possa caminhar e utilizar o dispositivo, ao contrário do teclado, que demanda uma superfície de apoio.

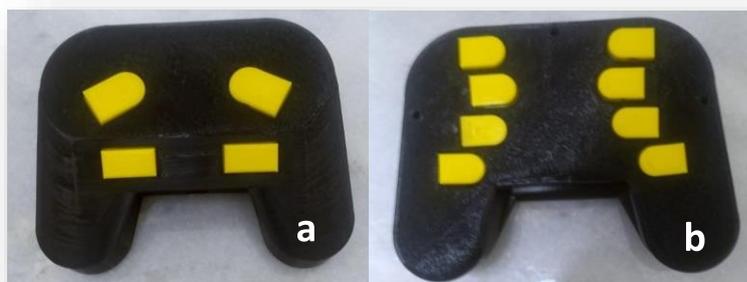


Figura 2 - Interface *joystick*, vista superior (a) e vista inferior (b).  
Fonte: Autora.

O ineditismo deste trabalho baseia-se no desenvolvimento de um aplicativo e de um game associado ao aprimoramento de um dispositivo que permite a comunicação bidirecional entre duas pessoas com surdocegueira ou com uma pessoa não surdocega sem a necessidade de conhecimento prévio de outras formas de comunicação como o Braille ou a Libras. Portanto, trata-se de uma proposta alternativa de comunicação que usa combinações sequenciais de teclas que correspondem a letras, números e símbolos que devem ser aprendidos apenas pelo usuário com surdocegueira que irá manusear o teclado ou *joystick* Caeski.

A partir desse aprendizado, é possível que a pessoa com surdocegueira se comunique diretamente com um interlocutor em qualquer lugar do mundo por meio da internet, bastando ao interlocutor digitar mensagens pelo celular. Desta forma, não é necessário que o interlocutor que não possui surdocegueira, possua conhecimentos prévios de Braille, língua de sinais e tampouco das combinações do Caeski.

Para proporcionar um processo de auto-aprendizagem, será apresentado um *game* que foi desenvolvido com o objetivo de permitir que o usuário memorize as combinações de dedos correspondentes aos caracteres utilizando as doze teclas vibratórias. Por meio das diferentes modalidades de exercícios, será possível realizar um treinamento contínuo e progressivo do aprendizado das combinações. Inclusive, será possível treinar a agilidade da digitação com aumento progressivo da velocidade do jogo.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 *Objetivo geral*

Desenvolver o Caeski, uma tecnologia assistiva para pessoas com surdocegueira, voltada para a comunicação autônoma e sem fronteiras. O processo desenvolvimento envolve a reformulação por completo da eletrônica, dos *softwares* associados e a otimização das combinações de teclas para aprimoramento da memorização e da inteligibilidade da comunicação.

### 1.1.2 *Objetivos específicos*

- Projetar dois modelos de interface com eletrônica embarcada nos formatos teclado e *joystick*, a partir do levantamento de medidas antropométricas das mãos;
- Realizar uma análise das vibrações emitidas pelo dispositivo para avaliar eventuais riscos ao usuário, decorrente da exposição às vibrações;
- Desenvolver um aplicativo de comunicação via *Bluetooth* entre o dispositivo e *osmartphone*;
- Desenvolver um *game* para facilitar o aprendizado das combinações.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção, serão apresentadas as definições de surdocegueira, bem como suas causas e tipos para balizar a compreensão de suas particularidades. Em seguida, serão apresentadas as principais formas de comunicação das pessoas com surdocegueira, bem como os recursos de tecnologia assistiva existentes a partir de uma revisão no estado da arte e no estado da técnica. Posteriormente, será apresentado o histórico evolutivo da prototipagem do dispositivo, desde o protótipo em forma de luvas até as atuais interfaces do Caeski. Ademais, uma contextualização sobre uso da gamificação na educação.

### 2.1 Definições de surdocegueira

A surdocegueira é uma deficiência relacionada ao déficit simultâneo da visão e da audição. Segundo Lagati (1995), a surdocegueira é uma condição que apresenta outras dificuldades além daquelas causadas pela cegueira e pela surdez. Por esse motivo, recomenda o uso do termo “surdocegueira” não hifenizado para indicar uma condição única e o impacto multiplicativo e não apenas aditivo da perda dupla, em substituição ao termo hifenizado “surdocegueira”, que pressupõe uma condição que somaria, em uma análise simplista, as dificuldades da cegueira e da surdez. Além disso, os graus de surdocegueira são variáveis entre os indivíduos e podem ser classificados como:

- Pessoa com surdocegueira com baixa visão e baixa audição;
- Pessoa com surdocegueira com cegueira total e baixa audição;
- Pessoa com surdocegueira com baixa visão e surdez total;
- Pessoa com surdocegueira com cegueira e surdez total.

Trata-se de uma condição heterogênea entre os acometidos, pois varia com relação ao tempo de desenvolvimento da deficiência e o grau de visão e de audição. Maia e Araóz (2001) ressaltam ainda que as pessoas com surdocegueira, quando ainda bebês, podem ser erroneamente diagnosticadas com paralisia cerebral, uma vez que suas dificuldades sensoriais impedem um desenvolvimento psicomotor normal. Ou então, como autistas, por apresentarem movimentos estereotipados na procura de estímulos visuais e auditivos, nos casos da baixa visão e da baixa audição.

A linguagem se relaciona a capacidade de se operar com símbolos, produzir sentido, criar e utilizar sistemas de signos em contextos comunicativos, que podem ser sinais, símbolos, sons e gestos. Inicialmente, a criança entra em contato com a linguagem não verbal como desenhos, símbolos, movimentos de objetos e movimentos corporais, como expressões faciais. De um modo geral, os seres humanos são inseridos no contexto da linguagem sonora antes de nascer, pois o feto possui a capacidade de escutar sons a partir da vigésima semana de gestação.

Diante desse panorama, há duas classificações para a surdocegueira: surdocegueira pré-linguística ou pré-simbólica ou congênita; e surdocegueira pós-linguística ou pós-simbólica ou adquirida. A pessoa com surdocegueira pré-linguística apresenta a surdocegueira desde o nascimento ou a adquiriu antes de ter desenvolvido a linguagem ou o idioma verbalizado.

No caso da pessoa com surdocegueira pós-linguística, o indivíduo começa a apresentar a surdocegueira depois de ter desenvolvido a linguagem e a língua (ALMEIDA, 2008). Nota-se, portanto, que as abordagens didático-pedagógicas e os estímulos (*inputs* de linguagem) que devem ser dados às pessoas com surdocegueira pré-linguísticas são diferentes daqueles a serem feitos às pessoas com surdocegueira pós-linguísticas. Nesse cenário, a criança com surdocegueira, se não estimulada precocemente, poderá apresentar prejuízos no seu acesso ao mundo da linguagem.

Arias (2004) ressalta a importância dos estímulos durante os três primeiros anos de vida, pois é nesse período que as crianças adquirem habilidades que usarão mais adiante para aprender por si mesmas, o que lhes permitirá estabelecer relações com outras pessoas e se transformarem em indivíduos sociais. Segundo Bove e Riggio (1993), com atendimento tardio, as pessoas com surdocegueira tendem a permanecer isoladas e com comportamentos estereotipados; sem interesse por objetos, pessoas e acontecimentos e rejeitam a aproximação física.

De fato, corroborando com Arias (2004), nenhum outro canal sensorial pode captar tanta informação de uma só vez como a visão, pois determinados objetos não podem ser apalpadados como, por exemplo, as nuvens e o fogo. Já a audição proporciona a capacidade de escutar uma conversa com uma música ao fundo e ao mesmo tempo ficar alerta ao choro de um bebê. Funções destes dois sistemas foram destacadas no trabalho de Almeida (2008) na tabela 1, com adaptações.

Audição	Visão
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Desenvolvimento, desempenho ou manutenção da articulação, linguagem, voz ou fluência;</li> <li>▪ Desenvolvimento da codificação associada à experiência, da capacidade simbólica;</li> <li>▪ Entendimento da sequência dos turnos de comunicação com a noção de tempo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Apreensão unificada do mundo;</li> <li>▪ Visualização da forma, cor e do espaço que os objetos ocupam e que estes podem se mover;</li> <li>▪ Aquisição do concreto para exploração do ambiente;</li> <li>▪ Reconhecimento de objetos e faces familiares (pistas sociais na interação).</li> </ul>

Tabela 1: Funções da visão e da audição.  
Fonte: Almeida (2008) com adaptações

Consequentemente, pessoas com surdocegueira tendem a substituir essas funções pelo tato e pela captação de vibrações. Outro desafio é a questão postural, muitos apresentam alterações no equilíbrio e movimentos excessivos, realizados com o intuito de captar informações do ambiente. Segundo Giacomini (2008, p.29), os maneirismos podem ter difícil aceitação pela sociedade, como balançar o corpo para frente e para trás, movimentos bruscos e exagerados dos braços e pernas e inclinações da cabeça. Por isso, a realização de atividades físicas, treino postural e da propriocepção são de suma importância.

Pessoas surdocegas necessitam de acompanhamento especializado e para tal, há dois tipos de profissionais: o instrutor-mediador e o guia-intérprete. Segundo Godoy (2014, p.7), o trabalho do instrutor-mediador está focado nos surdocegos pré-linguísticos “realizando a mediação entre o educando e o mundo ao seu redor”, portanto, atua na alfabetização e deve ter disponibilidade para conviver com o surdocego. Seu trabalho envolve, além da interpretação dos interlocutores, uma detalhada descrição do ambiente.

O guia-intérprete realiza o acompanhamento da pessoa surdocega pós-linguística e possui formação específica. Suas competências incluem a capacidade de realizar a interpretação das informações linguísticas (palavras, entonação, ritmo, pausa) e extra-linguísticas (pistas sonoras e visuais) com descrição ambiental, de modo a facilitar a mobilidade da pessoa com surdocegueira (LOURENÇO, 2012, p.2).

Acerca da população de pessoas com surdocegueira no Brasil, em texto redigido pela Câmara dos Deputados (2017) na Audiência Pública Extraordinária 1032/17, foi abordada, pelo Deputado Marcelo Aro, a questão da subnotificação pelo IBGE (2012), pois os dados apontam um número de 1.250 pessoas com surdocegueira no Brasil.

Em comparação com o Reino Unido, após uma pesquisa feita durante 20 anos, foram quantificadas 350 mil pessoas com surdocegueira, sendo que a população brasileira é, em média, quatro vezes maior que a população britânica. Uma hipótese que explica a causa da subnotificação se deve ao fato de que não há critérios consolidados para a categorização das pessoas com surdocegueira no formulário do censo demográfico. Por este motivo, muitas pessoas com surdocegueira que possuem algum resíduo visual ou auditivo podem ter sido classificadas como apenas cegos ou apenas surdos e foram marcadas ambas as opções apenas para aqueles que possuem surdocegueira total.

Dados do Censo Educacional de 2006 apontaram 2.718 matrículas de crianças surdocegas, sendo 536 em escolas especiais e 2.282 em escolas regulares (Brasil, 2006). O estudo de Galvão Filho e Miranda (2012) apresenta um panorama sobre o atendimento educacional especializado (AEE) e aponta a ausência de uma ação planejada, sendo muitas vezes improvisada e fragmentada nas escolas. Ao contrário das instituições especializadas, há uma desarticulação entre os professores da sala regular e os especialistas representados pelo professor ou instrutor de LIBRAS, tradutor e intérprete de LIBRAS, professor para o ensino de língua portuguesa e professor regente de classe. Nessas escolas analisadas, foi constatada apenas a presença do intérprete.

Para um efetivo desenvolvimento das potencialidades da pessoa com surdocegueira e a construção de sua identidade, é imprescindível o desenvolvimento das suas habilidades com acompanhamento frequente de uma equipe multiprofissional e pró-atividade nos contextos familiar, educacional, social e cultural.

## 2.2 As causas da surdocegueira

Com relação as causas da surdocegueira, as principais são as síndromes de Down, Usher, trissomia do cromossomo 13, de Godenhar e de Marfan; as anomalias múltiplas congênitas como CHARGE (drogas na gravidez, hidrocefalia e álcool); as disfunções pré-natais congênitas AIDS, herpes, sífilis, rubéola, toxoplasmose, citomegalovírus e mais recentemente o Zika vírus; as causas peri-natais como prematuridade, anóxia, medicação ototóxica e icterícia e as causas pós natais como asfixia, meningite, encefalite, derrame cerebral, trauma craniano, otite média crônica, sarampo, caxumba e diabetes (MILES, 2008, p.1).

Em estudo de Saunders e Echt (2007) sobre a dupla deficiência sensorial em adultos idosos surdocegos, em relação à visão e ao processo de envelhecimento, a presbiopia ou “vista cansada” é a mais prevalente, outras são a degeneração macular, a retinopatia diabética, a catarata e o glaucoma. Sobre as perdas auditivas, diminuição da elasticidade do pavilhão auditivo, estreitamento do canal auricular externo, rigidez da membrana timpânica, e atrofia ossicular, inclui-se também o acometimento das células ciliadas e órgãos de Corti. Como decorrência, devido a este processo de envelhecimento há diminuição do fluxo sanguíneo para o centro de processamento auditivo do cérebro com perda neuronal e um processo de perda auditiva neural e sensorial. Corroborando para esta análise, Dammeyer (2014) cita outras causas de surdocegueira de acometimento relacionado a todas as idades, como ferimentos na cabeça, tumores e exposição a ruídos.

Com o envelhecimento da população e os diversos casos de doenças crônicas e traumas agudos em adultos e idosos, pode-se estimar uma maior incidência de surdocegueira na população adulta e da terceira idade. Por outro lado, foi encontrado um número reduzido de estudos que relacionam a surdocegueira adquirida dos adultos e idosos.

De acordo com o Grupo Brasil de Apoio ao Surdocego e ao Múltiplo Deficiente Sensorial, 60% dos casos de surdocegueira no Brasil tem como causa a rubéola congênita (MAIA, 2004). Pacco e Silva (2015, p.147) citam que as principais causas da surdocegueira são a rubéola congênita e a Síndrome de Usher. Serão detalhadas a seguir a rubéola, a síndrome de Usher, a microcefalia e a hidrocefalia.

### 2.2.1 Síndrome da Rubéola Congênita

Refere-se ao conjunto de sinais e sintomas decorrentes da infecção da mãe e do feto pelo *Rubella* vírus que possui tropismo por tecidos mais vascularizados como o sistema nervoso central e afeta outros órgãos como o sistema cardiovascular, os olhos, os ouvidos, os pulmões, o fígado, os rins e os ossos. Se a infecção ocorre durante o primeiro semestre de gestação, maior o acometimento dos órgãos, sendo a mais clássica a tríade de malformação cardíaca, catarata e surdez. Caso a infecção ocorra em estágios gestacionais mais avançados, o risco de anomalias diminui progressivamente (COSTA et al., 2013). Outros achados clínicos da viremia materna relacionam a microcefalia e atraso no desenvolvimento mental.

### 2.2.2 Síndrome de Usher

Trata-se de uma doença autossômica recessiva. A maior parte dos indivíduos que possui síndrome de Usher nasce com deficiência auditiva profunda e a deficiência visual aparece na infância ou na adolescência, causada pela retinose pigmentar (ARIAS, 2004). A perda auditiva ocorre devido a uma mutação genética que afeta as células nervosas na cóclea, órgão do ouvido interno que também é responsável pelo equilíbrio.

A retinose pigmentar refere-se a um conjunto de doenças hereditárias que causam degeneração na retina, região responsável pela captação de imagens a partir do campo visual e são transmitidas a nível neuronal. Afeta primeiramente os cones e bastonetes (células fotorreceptoras sensíveis à luz) responsáveis pela conversão da luz em impulsos nervosos, gerando desconforto visual aos baixos níveis de luz. A retinose afeta periféricamente a retina gerando redução do campo visual, com visão tubular (BONNET e AZIZ, 2012), conforme figura 3.

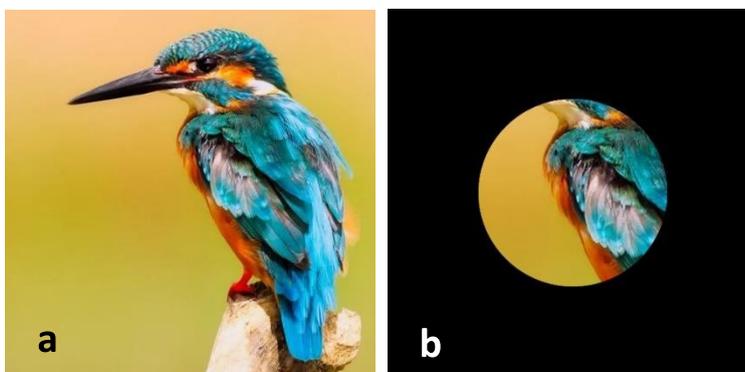


Figura 3 - Visão de uma pessoa sem retinose pigmentar (a) e com retinose pigmentar (b).

Fonte: Autora

Entre 6 e 10% dos indivíduos que possuem retinose pigmentar têm como causa a síndrome de Usher. Na população de surdocegos, a prevalência da síndrome de Usher é de 3 a 6% sendo a causa mais frequente de surdocegueira em adultos (LIARTH et al., 2002, p.458).

Há três tipos principais de Síndrome de Usher, embora Arias (2004) apresente uma subdivisão em 4 tipos, sendo o tipo IV o indivíduo com retinose pigmentar, surdez congênita total e deficiência mental. Grande parte da literatura especializada utiliza as três classificações, extraídas de Andrade-Figueiredo, Chiari e Goulart(2013, p.320):

- Tipo I: Deficiência auditiva neurossensorial severa a profunda não progressiva, com início da Retinose Pigmentar entre os 8 e 15 anos de idade, dificuldade na marcha e incoordenação de movimentos e diminuição visual noturna durante a infância;
- Tipo II: Deficiência auditiva neurossensorial leve a moderada não progressiva, com início de Retinose Pigmentar depois dos 15 anos de idade, resposta vestibular normal (marcha e coordenação motora normal), escotomas (regiões com perda da acuidade visual) no final da infância. Deficiência visual total na idade adulta;
- Tipo III: Deficiência auditiva neurossensorial progressiva, com idade variável para o início da Retinose Pigmentar, resposta vestibular normal ou alterada, diminuição visual noturna na infância ou adolescência, escotomas no final da adolescência, chegando à deficiência visual total na idade adulta.

### 2.2.3 *Microcefalia e hidrocefalia*

A microcefalia tornou-se conhecida devido aos casos de infecção por *Zyka vírus* mas são várias as causas, dentre elas infecção por rubéola, citomegalovírus e toxoplasmose, uso de drogas lícitas e ilícitas durante a gravidez, contaminação por mercúrio e cobre, meningite, desnutrição, HIV materno, exposição a radiação e uso de medicamentos contra epilepsia, hepatite ou câncer durante os três primeiros meses de gravidez (DA CUNHA, 2014). Normalmente, o perímetro encefálico de um recém-nascido deve medir de 34 a 47 centímetros de acordo com o período de desenvolvimento fetal (semanas de gestação). Caso o perímetro seja menor que 33 centímetros, pode-se considerar a microcefalia, que ocorre nos primeiros três meses de gestação.

A hidrocefalia ocorre pelo acúmulo de líquido cefalorraquidiano no sistema nervoso central, produzindo pressão sobre o cérebro de forma a prejudicar seu funcionamento e tamanho. O diagnóstico é feito por ressonância magnética e visualmente devido ao aumento da circunferência superior do crânio. O tratamento é de caráter cirúrgico, com a implantação de um dreno. Suas causas são complicações durante o parto, prematuridade, infecções como rubéola ou sífilis, meningite bacteriana ou caxumba.

Ambas, a microcefalia e a hidrocefalia, potencialmente geram lesões nas áreas do cérebro que envolvem a visão e a audição, podendo gerar a surdocegueira. Portanto, deve-se atentar para as suas causas, cujos acometimentos ocorrem no período gestacional e pós-gestacional.

### **2.3 Formas de comunicação utilizadas pelas pessoas com surdocegueira**

Há várias formas de comunicação com a pessoa com surdocegueira. Determinadas formas dependem do conhecimento de codificação própria como: Libras, Braille, Lorm, sistema Malossi e sistema Moon. Outras como a escrita na palma da mão, a fala ampliada e o Tadoma não dependem de conhecimento prévio do interlocutor.

#### *2.3.1 Libras em campo visual reduzido e Libras tátil*

Libras é uma língua gestual que possui léxico e gramática próprios e, geralmente, é conhecida por ser amplamente utilizada pela comunidade surda. No entanto, no caso dos surdocegos, muitas vezes não é possível visualizar esses gestos. No caso daqueles que possuem retinose pigmentar e um campo visual tubular (ver item 2.1.2), o intérprete de Libras irá se posicionar a uma distância na qual seus gestos podem ser visualizados, conforme figura 4.



Figura 4 - Libras em campo visual reduzido.  
Fonte: Autora.

No caso da Libras tátil, o intérprete de Libras posiciona suas mãos em contato com as mãos da pessoa com surdocegueira, que identifica os sinais pelo tato, conforme figura 5.



Figura 5 - Libras tátil.  
Fonte: autora.

### 2.3.2 Fala ampliada

A fala ampliada nada mais é do que estabelecer a conversação mais próximo ao surdocego, em tom de voz mais alto e pausado. Este tipo de comunicação é muito utilizado para surdocegos com perda auditiva parcial ou com implante coclear.

### 2.3.3 *Tadoma*

Consiste na percepção da língua oral emitida, mediante o uso de uma ou dasduas mãos da pessoa com surdocegueira. Geralmente, posiciona-se o polegar suavemente sobre os lábios e os outros dedos se mantêm sobre a bochecha, a mandíbula e a garganta do interlocutor, conforme figura 6.



Figura 6 – Tadoma.  
Fonte: Autora.

### 2.3.4 *Escrita na palma da mão*

Consiste em escrever, letra por letra, com o dedo indicador no centro da palma da mão ou em outras partes do corpo da pessoa com surdocegueira, preferencialmente com letras de fôrma, conforme figura 7.



Figura 7 - Escrita na palma da mão.

Fonte: <http://surdocegueiranoturno.blogspot.com.br/2011/11/escrita-alfabetica-na-palma-da-mao.html>

### 2.3.5 Braille tátil

O sistema Braille, criado por Louis Braille, envolve a leitura tátil por meio da ponta dos dedos, na maioria das vezes, o indicador. É composto por 6 pontos agrupados em três fileiras horizontais de dois pontos, formando a chamada célula Braille. A combinação desses pontos forma 63 caracteres que simbolizam as letras do alfabeto convencional e suas variações, como os acentos, a pontuação, os números, além de símbolos matemáticos, químicos. Na figura 8 estão representadas as células Braille e os pontos correspondentes as letras do alfabeto; os pontos pretos correspondem aos locais em alto relevo.

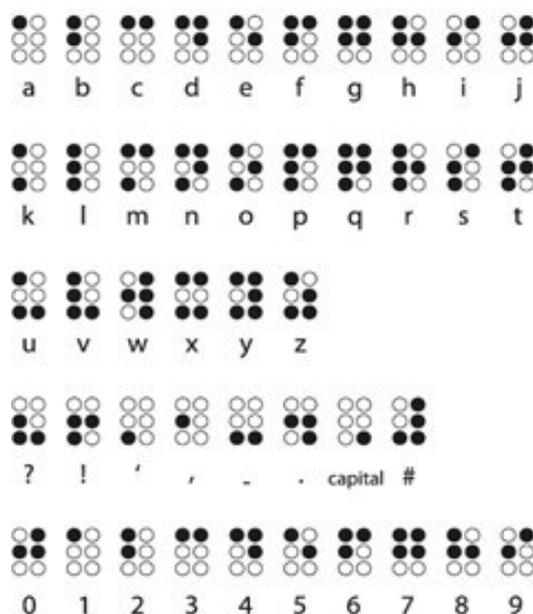


Figura 8 - Alfabeto Braille.

Fonte: <http://www.beevoz.net/wp-content/uploads/2015/01/braille-alphabet.jpg>

No chamado Braille Tátil, as células Braille são transpostas para dois dedos da mão, geralmente os dedos indicador e médio. As falanges distais correspondem a primeira fileira horizontal, as falanges médias correspondem a segunda fileira horizontal e as falanges proximais correspondem a terceira fileira horizontal. O interlocutor pressiona as falanges correspondentes aos pontos e a pessoa surdocega identifica cada letra, símbolo ou número correspondente. Da mesma forma, a pessoa surdocega pode responder realizando o mesmo procedimento, conforme indicado na figura 9.

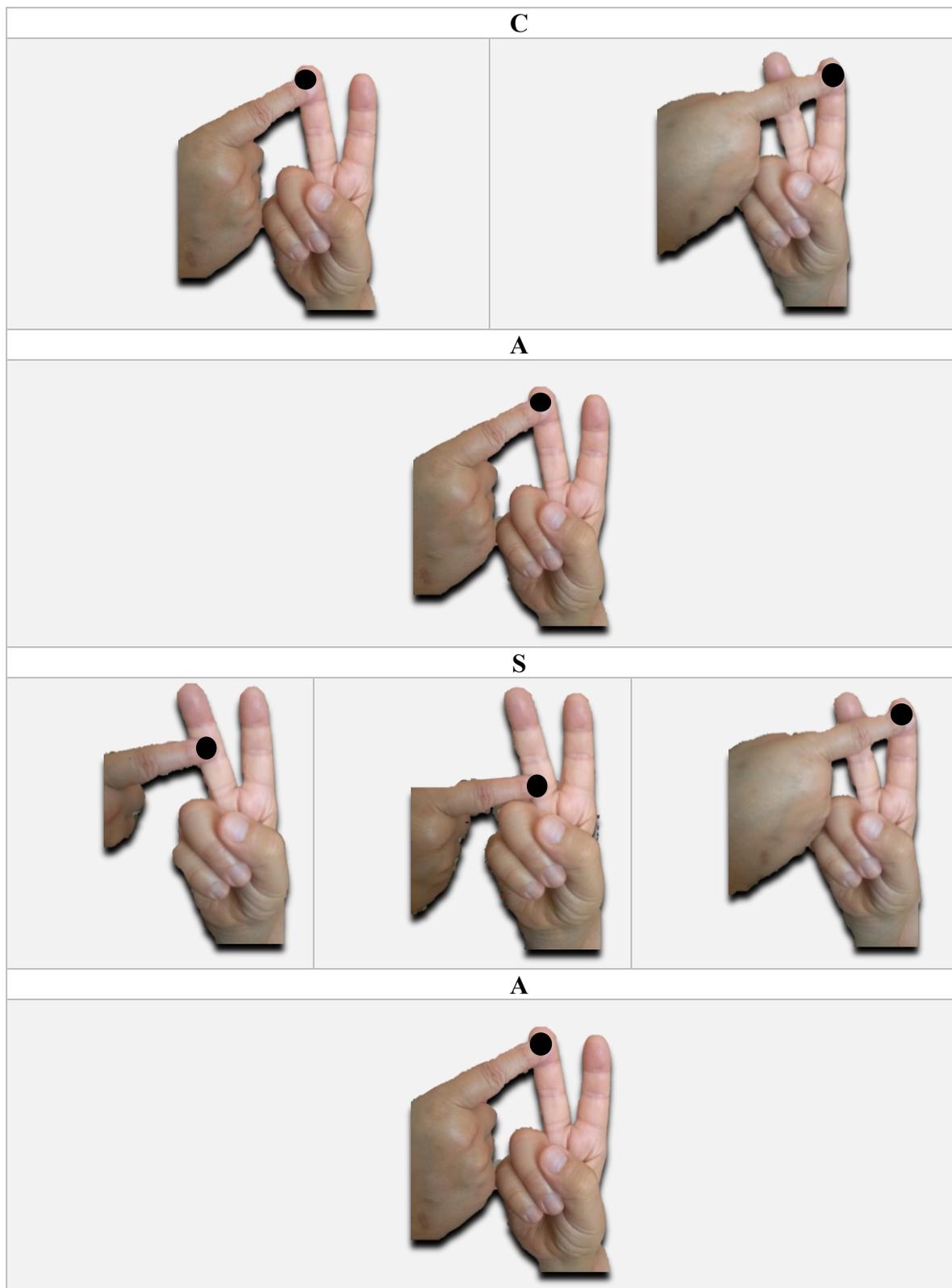


Figura 9 - Demonstração do Braille tátil para a palavra "casa".  
Fonte: Autora

### 2.3.6 Sistema Malossi

Sistema baseado na colocação das letras do alfabeto nas falanges dos dedos das mãos, bem como em outros pontos. Os pontos tocados permitem formar palavras. A pessoa surdocega pode usar uma luva que tem as letras impressas indicando os locais que devem ser tocados. A figura 10 possui letras em verde e em vermelho, as letras em verde devem ser pressionadas e as letras em vermelho devem ser pinçadas. .



Figura 10 - Sistema Malossi.

Fonte: <http://www.dbglove.com/pages/it/come-funziona>

### 2.3.7 Sistema Lorm

No sistema Lorm, cada letra do alfabeto corresponde a pontos ou desenhos específicos na palma ou no dorso da mão da pessoa com surdocegueira e algumas letras vêm acompanhadas do movimento das mãos. Assim, o intérprete escreve letra por letra da mensagem sinalizando ou fazendo pressão em determinados locais da mão da pessoa com surdocegueira, conforme a figura 11.

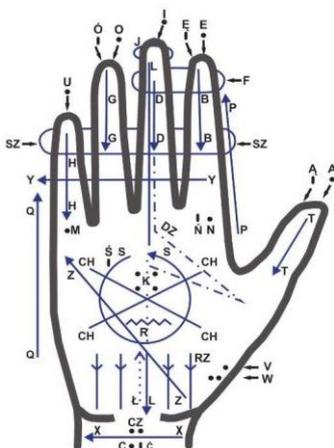


Figura 11 - Sistema Lorm, com seus pontos e traçados.

Fonte: <http://www.slupsk.pl/miedzynarodowy-tydzien-wiedzy-o-osobach-gluchoniewidomych-64307/>

### 2.3.8 Sistema Moon

Este sistema conserva, numa forma simplificada, letras do alfabeto, compondo-se com nove caracteres, cujo significado se determina pela posição em que são utilizados, conforme figura 12.

∧	∩	⊂	⊃	⌒	⌒	∩	●		J
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
<	L	⌒	N	○	∠	∟	\	/	—
k	l	m	n	o	p	q	r	s	t
∪	∨	∩	>	⌒	∠	∩	⊂		
u	v	w	x	y	z	wh	ch		
∧	∩	⊂	⊃	⌒	⌒	∩	●		J
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0

Figura 12 - Sistema alfanumérico Moon (editado).  
Fonte: <https://www.omniglot.com/writing/moon.htm>

Este sistema é potencialmente mais simples que o Braille para cegos e surdocegos que usavam a visão para ler, pois há semelhanças com as letras do alfabeto, como na frase e nome na figura 13.

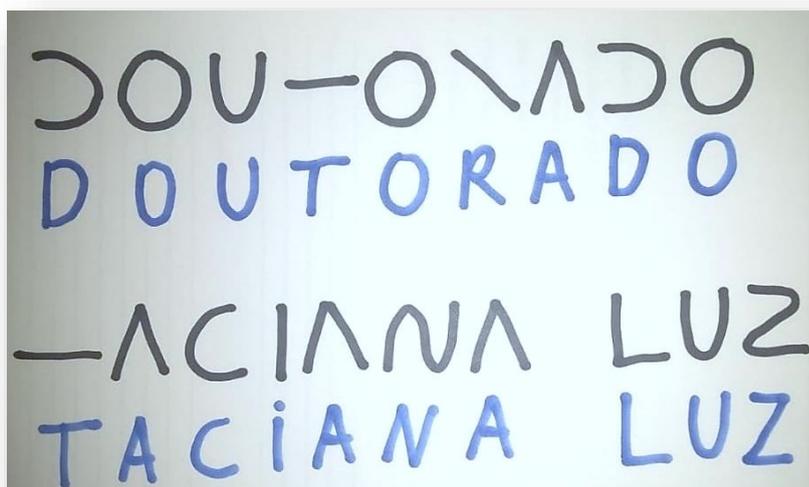


Figura 13 - Frase “Doutorado Taciana Luz” escritos no sistema Moon.  
Fonte: Autora.

## 2.4 Recursos de tecnologia assistiva existentes para as pessoas com surdocegueira

Boa parte das dos recursos de tecnologia assistiva para deficiências relacionadas a visão e a audição são direcionados às pessoas cegas ou às pessoas surdas, no entanto, muitas vezes, as pessoas surdocegas com baixa visão ou baixa audição utilizam tais tecnologias. Predominantemente, são lupas com letras em alto contraste ou sintetizadores com amplificador de voz. No entanto, e se houver perda total da visão e /ou audição? Por esse motivo, é de fundamental importância desenvolver uma tecnologia inovadora direcionada as pessoas surdocegas que visa utilizar o tato como canal de comunicação, este é o caso do Caeski. A seguir, serão apresentados os principais recursos de tecnologia assistiva existentes no mercado e que atendem a população surdocega atualmente.

O termo tecnologia relaciona-se a um conjunto de instrumentos, métodos e técnicas que visam atender a demandas específicas e que envolve a aplicação de conhecimento técnico ou científico. De acordo com o Comitê de Ajudas Técnicas 2008 da Subsecretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência (BRASIL,2009, p. 9):

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

Portanto, o termo tecnologia assistiva engloba os recursos que envolvem o uso de componentes eletrônicos e não eletrônicos. A partir da seleção dos artigos e patentes, os recursos de tecnologia assistiva analisados foram classificados em recursos não eletrônicos e eletrônicos, conforme a figura 14. Estão incluídos os recursos de tecnologia assistiva mais conhecidos e vendidos no mercado, como as tablitas alfabéticas, punção e reglete, máquina Perkins, linha Braille e implante coclear.

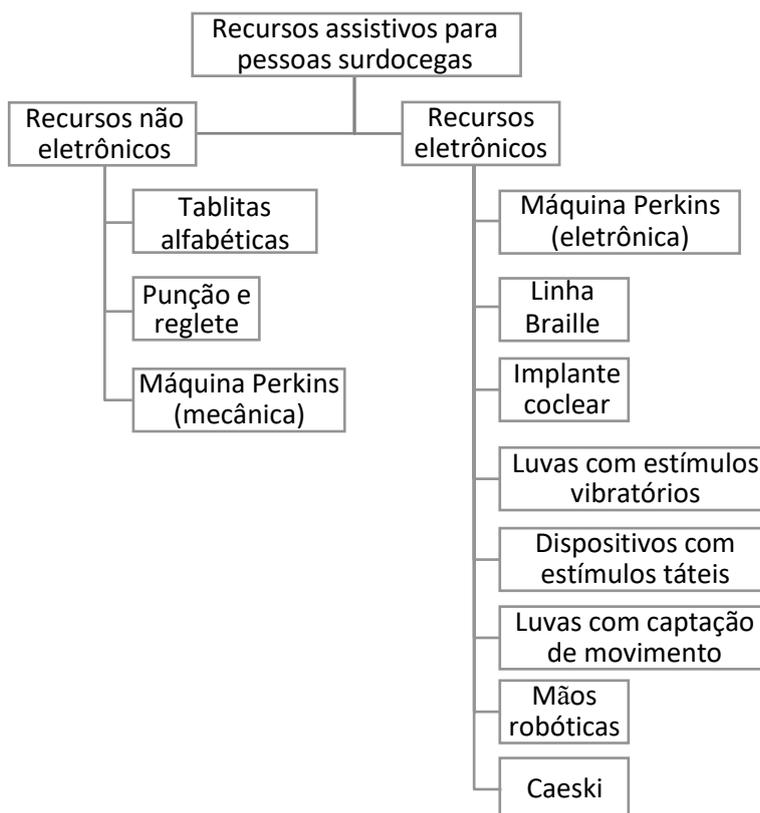


Figura 14 - Recursos de tecnologia assistiva subdivididos em recursos eletrônicos e não eletrônicos.  
Fonte: Autora.

#### 2.4.1 Recursos não eletrônicos

Foram denominados recursos assistivos não eletrônicos aqueles que não possuem componentes eletrônicos para funcionamento, sendo compostos ou não por peças que funcionam mecanicamente. Podem ser citadas, as tablitas alfabéticas, a punção e reglete e a máquina de escrever Perkins apresentadas a seguir.

##### 2.4.1.1 Tablitas alfabéticas

Consiste em pequenas tábuas de plástico, madeira ou emborrachadas com letras e números em alto relevo e, em muitos modelos, em tamanho que cabe em um bolso ou bolsa, conforme figura 15. A pessoa surdocega instrui seu interlocutor a direcionar o dedo do surdocego às letras que formam a palavra ou a mensagem desejada. Reciprocamente, o interlocutor pode visualizar a resposta do surdocego

As tablitas são aplicáveis para interlocutores que não possuem conhecimentos prévios de Braille ou de Libras, apesar de haver tablitas em Braille. Dessa forma, é estabelecida uma comunicação sem a necessidade da intermediação de um terceiro. Na patente “*Apparatus for the teaching of reading and writing based on character trails*” (LOPEZ DE LA NAVA e PEREZ LLANO, 2011) são propostas representações de letras e pontos em alto relevo com objetivo pedagógico, incluindo o Braille.

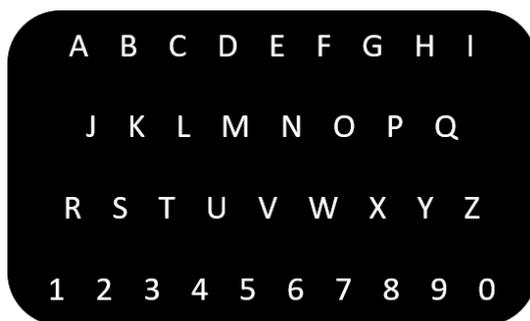


Figura 15 - Tablita alfabética.  
Fonte: Autora. Imagem meramente ilustrativa.

#### 2.4.1.2 Punção e reglete

O conjunto reglete e punção (furador) adaptado para o sistema Braille, ilustrado na figura 16, foi criado Louis Braille, criador dos símbolos Braille, para permitir a leitura e a escrita das células em papel. O usuário perfura o papel produzindo alto relevo para leitura posterior pelo tato. Atualmente, há tamanhos de bolso, de mesa e de tamanho A4.

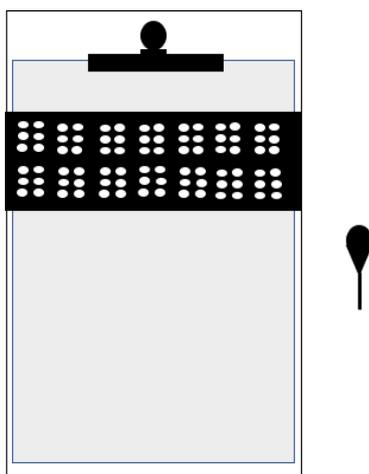


Figura 16 - Punção e reglete.  
Fonte: Autora. Imagem meramente ilustrativa.

#### 2.4.1.3 Máquina Perkins (versão máquina de escrever)

Semelhante a uma máquina de escrever mecânica tradicional, possui seis teclas principais correspondentes a cada ponto da célula Braille, conforme figura 17. Cabe ao usuário digitar simultaneamente os pontos correspondentes a letra ou número desejado, que a célula aparece em alto relevo na folha de papel. Esta máquina pode ser utilizada na digitação de livros e materiais didáticos para cegos e surdocegos.

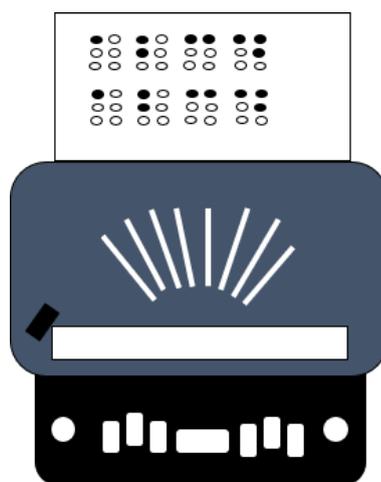


Figura 17 - Máquina de escrever Perkins.  
Fonte: Autora. Imagem meramente ilustrativa.

#### 2.4.2 Recursos eletrônicos

Os recursos eletrônicos são aqueles que geralmente possuem placas de circuito eletrônico e necessitam de alguma fonte de energia. Nesse caso, a maioria dos recursos de tecnologia assistiva que serão apresentados possui interface com o computador, o que proporciona a pessoa com surdocegueira a acessibilidade a recursos informatizados e a internet.

##### 2.4.2.1 Máquina Perkins (versão eletrônica)

Semelhantemente a Perkins tradicional, pode ser conectada a computadores e possui saída de áudio, no caso, aplicável para pessoas com surdocegueira com baixa audição, conforme ilustrado na Fig.18. Além disso, possui programa de computador que decodifica o que é digitado em Braille para caracteres alfanuméricos, o que permite a leitura de textos por interlocutores que não possuem conhecimento de Braille.

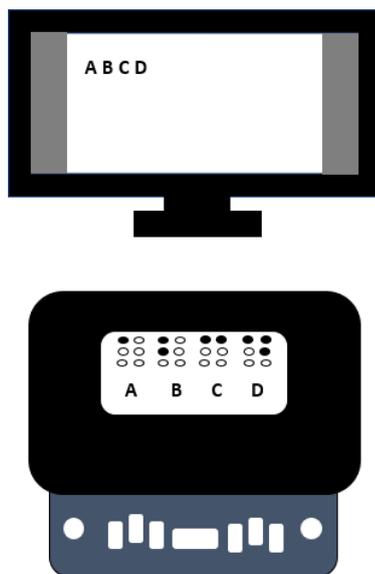


Figura 18 - Máquina eletrônica Perkins.  
Fonte: Autora. Imagem meramente ilustrativa.

#### 2.4.2.2 Linha Braille

A linha Braille possui botões similares aos da Máquina Perkins com princípio de funcionamento semelhante, para a digitação dos pontos das células Braille, além de um dispositivo eletromecânico com diversos pinos alojados em orifícios que se levantam para permitir a leitura dactilológica em Braille, conforme mostra a figura 19.

De forma similar a máquina Perkins eletrônica, possui com entrada USB e um programa de computador que faz a conversão do Braille para caracteres alfanuméricos. Reciprocamente, realiza a conversão dos caracteres alfanuméricos de um texto para o Braille, permitindo que o usuário realize a leitura dactilológica do texto ao passar os dedos pelos pinos do dispositivo.

A patente “*Method and device for reading, writing, and communication by deafblind users*” (EURICA, 2020) propõe um dispositivo que possui semelhanças com a Linha Braille, entretanto, a parte da leitura tátil da leitura dactilológica pelos pinos de células Braille foi substituída pela leitura por estímulos táteis por meio das próprias teclas de digitação. Segundo os autores, com o objetivo de agilizar o recebimento das informações.

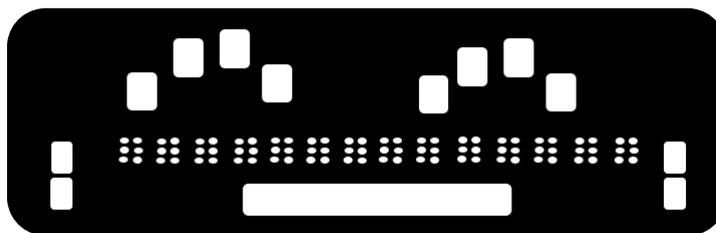


Figura 19 - Linha Braille.  
Fonte: Autora. Imagem meramente ilustrativa.

Em estudo de caso de Cantin et.al. (2019), foi avaliado um dispositivo de assistência à comunicação (CAD) para indivíduos com surdocegueira, com base em uma linha Braille conectada via *Bluetooth* a um *iPhone*, utilizado por uma mulher surdocega durante idas a restaurantes, para simular seu uso prático. Os resultados ressaltaram a relevância do uso dessa tecnologia, pois foi um suporte eficaz durante o processo comunicacional com pessoas não surdocegas.

Entretanto, segundo Tino (2018), a falta de preparação por parte de muitos especialistas em educação especial quanto ao uso da tecnologia Linha Braille constitui um impedimento para sua inserção no contexto escolar. Por esse motivo, é necessário promover o treinamento desses profissionais para prevenir a chamada barreira comunicacional, que priva os alunos com surdocegueira do acesso a conhecimentos, principalmente relacionados a tecnologias e causam prejuízos no processo de ensino e aprendizagem.

#### 2.4.2.3 Implante coclear

O implante coclear, mostrado de forma esquemática na figura 20, é um dispositivo eletrônico parcialmente implantado, indicado para indivíduos com perda auditiva neurossensorial de severa a profunda. A cirurgia envolve uma secção de osso atrás da orelha para implantação de eletrodos dentro da cóclea. As indicações do implante coclear, segundo Moreira (2015) são para crianças que nasceram com surdez severa ou profunda e em casos de surdez pós-linguísticas, ou seja, em que a surdez ocorreu após a aquisição da linguagem pelo indivíduo.



Figura 20 - Imagem de uma cabeça e orelha com implante coclear (em cinza).  
Fonte: Autora. Imagem meramente ilustrativa.

No estudo de Almeida (2008), a cirurgia de implante foi realizada em uma criança surdocega aos nove anos de idade com o intuito de estimular a aquisição da linguagem verbal. A criança havia se habituado a formular frases em Libras (Língua Brasileira de Sinais) e progressivamente, começou a adquirir fluência vocal. Inicialmente, apresentou erros em determinados fonemas que seriam corrigidos em seções posteriores de fonoaudiologia.

Corroborando, o estudo de Danmeyer (2014) apontou que implantes cocleares são úteis para o desenvolvimento comunicativo pré-verbal e a socialização das pessoas com surdocegueira congênita. No caso das pessoas com surdocegueira adquirida, a maioria com síndrome de Usher, os implantes cocleares geraram resultados positivos. Em outro estudo de Danmeyer (2008) com cinco surdoscegos congênitos com idades entre 2,2 e 4,2 anos de idade, foi verificado que a utilização do implante coclear promoveu melhorias na atenção e na resposta emocional, além de maior uso de objetos na interação com adultos. No estudo de Saeed, Ramsden e Axon (1998) foi analisado o resultado e a reabilitação após implante coclear em um grupo de oito indivíduos e foram coletadas respostas positivas de adaptação ao implante coclear nesse grupo. Willey *et.al.* (2013) avaliaram 91 crianças e obtiveram resultados predominantemente positivos, mas reiteraram que houve grande heterogeneidade nos resultados, portanto, a indicação do implante coclear deve ser amplamente discutida, caso a caso, juntamente com a família da criança.

Lahtinen, Groth e Palmer (2018) analisaram a interpretação estética e as experiências de cinco pessoas com surdocegueira com objetos de arte. A amostra compartilhou suas interpretações de uma estátua com base em suas explorações táteis a partir de descrições escritas e de sons. Concluiu-se que o uso de implante coclear estimulou a memorização de experiências artísticas táteis que podem ser ouvidas novamente pela gravação das descrições sonoras.

#### 2.4.2.4 Dispositivos com estímulos táteis

Os dispositivos de leitura de textos para alto relevo captam caracteres de documentos por meio de uma pequena câmera que se desliza manualmente sobre o papel, tendo como saída tátil a letra que está sob a sua objetiva a cada instante. A invenção pertence a John Linvill, professor de Engenharia Elétrica na Universidade de Stanford e foi denominado Optacon, esquematizado na figura 21. Em 1964, Linvill solicitou a patente “*Reading Aid for the Blind*” (LINVILL, 1966) concedida em janeiro de 1966.

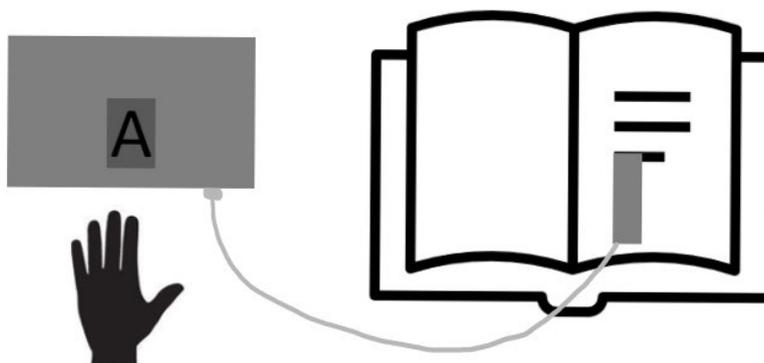


Figura 21 - Optacon.

Fonte: Autora. Imagem meramente ilustrativa.

A patente “*Finger ring reader for the blind*” (WANG, 2017) trata de um leitor em forma de anel com câmera acoplada. À medida que as informações das letras de uma fonte impressa passam pelo visor da câmera, são traduzidas para o Braille em uma placa com células Braille em alto relevo.

Matsuda et.al. (2010) desenvolveram o Finger Braille, que consiste em três anéis munidos de acelerômetros piezoelétricos para o reconhecimento do Braille de dedo ou Braille Tátil. A pessoa com surdocegueira que possui conhecimento da codificação Braille pressiona as falanges do interlocutor correspondentes aos pontos das células relacionados a cada caractere. As falanges distais correspondem a primeira fileira horizontal, as falanges médias

correspondem a segunda fileira horizontal e as falanges proximais correspondem a terceira fileira horizontal. Os sensores identificam esse posicionamento e decodificam informações em fala para o interlocutor não surdocego que não possui conhecimento de Braille.

A patente denominada “*Finger Braille Device*”(KAWAI et al., 2001) refere-se a um teclado com 6 botões para a digitação das combinações Braille, podendo ser usado, inclusive, como um aparelho de aprendizagem para o Braille de dedo.

Outra forma de comunicação é o chamado Braille fonético, em que os símbolos Braille representam sons de palavras ou fonemas ao invés de letras. Na patente “*Tactile communication apparatus and method*” (RAMSAY e RAMSAY, 2001) é apresentado um dispositivo acoplado a dois dedos da mão que permitem a percepção dos fonemas de forma tátil a partir da captação de sons.

O Tacsac (OZIOKO et.al., 2020) possui um sensor de toque e um atuador vibrotátil integrados que cria um *feedback* de vibração em um dedo. Utilizando o código Morse, o usuário pode enviar mensagens para o celular do interlocutor.

A patente “*Communication Device of blind-deaf person*” (NOVOZHILOV et al., 2018) trata de um dispositivo manual com transmissão de sinais via *Bluetooth* para dispositivos Android e IOS. Seu formato foi projetado para ser utilizado na palma da mão, ou seja, os motores de vibração se dispõem na palma da mão de acordo com o formato do objeto.

O inventor Pablo Jorge Palacios divulgou três patentes relacionadas a dispositivos de representação háptica, trata-se de botões que se levanta formando letras e quaisquer outros símbolos em alto relevo (PALACIOS, 2017; 2018; 2019).

Semelhantemente, a patente “*Device for fine dotted braille training of blind and visually impaired children*” (BORISOVNA e MIKHAILOVNA, 2018) trata de um dispositivo que possui superfícies de diferentes formatos de células, inclusive células Braille de seis pontos, cujos pinos são elevados formando caracteres do alfabeto russo, números e o próprio Braille. Inclusive, possui saída de áudio para usuários cegos e tem objetivo pedagógico.

A patente “*Audiotactile vision substitution system*” (DEWHURST, 2008) trata de um sistema de substituição da visão para um dispositivo que reproduz sinais de áudio e/ou táteis de acordo com os parâmetros selecionados pelo usuário. Em uma superfície, são reproduzidas formas em alto relevo e são transmitidas informações em um *display* com células Braille.

A patente “*Communication Device for Deafblind Person Using Ferrogel as Tactile Transducer*” (LIMA et. al., 2018) consiste na conversão de textos, áudios e imagens em código Lorm ou outras formas de comunicação por meio do contato da mão do surdocego com uma superfície constituída por um material chamado ferrogel, deformável por forças magnéticas direcionadas.

A partir da concepção de sistema de comunicação tátil com elementos vestíveis localizados no corpo humano, a patente “*Tactile Communication System*” (PETROVICH, 2019) apresenta um desenho esquemático onde estão representados braceletes inseridos em ambos os braços. Estes braceletes possuem botões para transmitir informações e sensores táteis para receber informações a partir de uma combinação própria de letras e símbolos.

Na patente “*Mobile phone system used for blind deaf-mute person based on zigbee*” (YUE et.al, 2015), os pulsos combinados de vibração codificadas são transmitidos via relógio de pulso a partir de uma entrada de voz via celular ou por um teclado.

Dispositivos de estimulação elétrica na superfície da língua, denominados BrainPort (DANILOV e TYLER, 2005), traduzem as informações digitais de uma câmera de vídeo vestível em padrões de estimulação elétrica suaves na superfície da língua, como na figura 22. Os usuários sentem padrões movendo em forma de bolhas na língua. Com o tempo, aprendem a identificar a forma, o tamanho, a localização e o movimento dos objetos em seu ambiente. Alguns usuários o descrevem como “ver com a língua”.

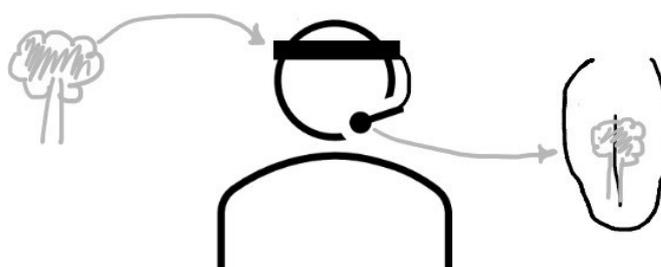


Figura 22 - Brainport, imagem em cinza captada pela câmera de vídeo e estimulação na língua.  
Fonte: Autora. Imagem meramente ilustrativa.

A patente “*Novel deaf and dumb blind person's doorbell*” (WENYU, 2018) trata de uma campainha que, quando acionada por algum visitante, emite um sinal vibratório por um relógio de pulso e ativa um aspersor de água perfumada para avisar a pessoa surdocega. Na patente “*Personalized special doorbell for blind people and deaf-mutes*” (JI e LI, 2020) foi apresentado um modelo de campainha com características que facilitam a localização pela pessoa surdocega.

Em situações de risco de incêndio, pessoas surdocegas são mais vulneráveis e pensando nessa possibilidade, a patente “*A warning device for deaf-blind persons*” (GOUGH, 2001) apresenta um transmissor de rádio associado a um *pager* que mostra o símbolo relacionado ao evento de situação de risco ambiental e sinais vibratórios padronizados de acordo com a ocorrência. Na patente “*A fire disaster warning system for blind and deaf*” (MUHAMAD et al., 2021) é apresentado um Sistema de alerta de incêndio para cegos e surdos caracterizado por um sensor de fumaça, um sensor de temperatura e um sensor de gás transmitindo os sinais para um dispositivo móvel que compreende mensagem de notificação, mensagens de voz ou ambos.

A patente “*Bluetooth IoT keyboard that is capable of customized keyboardmapping for each user*” (PARK, 2018) refere-se a um dispositivo portátil com display em Braille com botões que possuem inscrições em Braille em alto relevo. O pareamento é feito via *Bluetooth* para ativar funções e digitar em diversos dispositivos como celular, computador, *smartTV* e, inclusive, acender e apagar as luzes e controlar o ar condicionado de uma casa.

Utilizando o código Morse, a patente “*Devices for use by deaf and/or blind people*” (LIEBERMANN, 2011) refere-se a um dispositivo chamado eCane que compreende uma tecla para *input* manual de combinações na forma de código Morse.

Um programa instalado no dispositivo traduz o sinal de entrada em código Morse para um sinal de saída com sintetizador de voz para um ouvinte e a resposta é captada e traduzida por vibração em código Morse para o surdocego. Além disso, o dispositivo possui funções de segurança para pedestres ou pessoas em trânsito com GPS acoplado informando as direções e os nomes das ruas.

Em consonância com o objetivo de promover a segurança no trânsito, a patente “*System For Controlling Traffic at Pedestrian Crossing*” (MIKHAILOVICH, 2017) propõe a instalação de sensores nos limites da calçada, próxima a faixa de pedestre que transmitem informações do sinal de trânsito via vibrações eletromagnéticas.

Visando a segurança do cego e do surdocego, foram desenvolvidos óculos com emissor de raios infravermelhos conectado a um sistema óptico para iluminar eventuais obstáculos, fornecendo inclusive um sinal da distância desses obstáculos com interface tátil ou vibratória/sonora, de acordo com a patente “*Eyeglasses provided with sensors for blind and/or deaf-blind people*” (MARANGONI, 1997). A patente “*Ankle band for identifying nearest obstacles*” (AGARWAL et al., 2021) apresenta uma tornozeleira com sensores ultrassônicos com alcance próximo de dez metros oferecendo *feedback* de áudio e vibração.

Pensando nas transações bancárias feitas pelos surdocegos via cartão de crédito, foi desenvolvida a ideia de o cartão de crédito transmitir informações táteis ao usuário, éo caso da patente “*Deafblind-friendly transaction card*” (JOHNSON et al., 2020). Já a tecnologia proposta na patente “*Smart Assisting Device for Deaf-Blindness to Shop at Supermarket*” (BALUSAMY, 2021) propõe independência da pessoa surdocegas durante compras no supermercado, fornecendo informações das mercadorias em Braille.

Um projeto financiado pela União Européia denominado SUITCEYES (*Smart, User-friendly, Interactive, Tactual, Cognition-Enhancer that Yields ExtendedSensosphere*) investiga possibilidades para melhorar a comunicação e a independência de pessoas com surdocegueira na sociedade. Atualmente, encontram-se em desenvolvimento sensores, reconhecimento de faces e objetos e outras tecnologias de internet para capturar informações sobre o ambiente e comunicá-las por meio de uma interface háptica baseada em tecidos inteligentes. Estão sendo realizadas entrevistas e testes de protótipos com pessoas surdocegas em cinco países para compreender suas necessidades e desafios (KAPPERS e PLAISIER, 2021).

#### 2.4.2.5 Luvas com estímulos vibratórios

Em 2008, foi divulgada a DB-Glove, cujos pontos de sensoriamento estão localizados nos locais correspondentes ao alfabeto Malossi, indicados na figura 23, os sinais são enviados para o computador e lidos pelo interlocutor e a recepção dos sinais ocorre por estímulos vibratórios nos mesmos pontos (CAPORUSSO, 2008).



Figura 23 - *DB-Glove* com representação do alfabeto Malossi.  
Fonte: Autora. Imagem meramente ilustrativa

O pesquisador alemão Tom Bieling desenvolveu uma luva chamada *Mobile Lorm Glove*, que permite enviar mensagens de texto por meio da ativação tátil de sensores localizados em toda a extensão da luva e que fazem a leitura dos símbolos da linguagem Lorm, esquematizado na figura 24. O interlocutor lê a mensagem - pois o aplicativo realiza a transcrição dos sinais para caracteres alfanuméricos - e responde via aplicativo para o surdocego que compreende os símbolos Lorm pela vibração sincronizada dos sensores. A recepção via vibração e a transmissão de dados para dispositivos móveis ocorre via *Bluetooth* (GOLLNER, BIELING e JOOST, 2012).



Figura 24 - *Lorm Glove*, com representação do alfabeto Lorm em cinza e dos sensores em branco.  
Fonte: Autora. Imagem meramente ilustrativa.

MacGavin, Edwards e Gorlewicz (2021) desenvolveram um dispositivo tátilvestível. No submódulo de mão foram aplicados sinais de vibração e traçados de formas no submódulo do antebraço, aplicação de pressão e aquecimento térmico. Por unanimidade, usuários surdocegos preferiram o submódulo de antebraço ao submódulo de mão. Para eles, as vibrações não parecem tão naturais quanto a aplicação de pressão. Eles descreveram vibração como sendo muito cansativa para aplicação contínua. A pressão no antebraço foi descrita como a sensação de alguém agarrando em seus braços, uma ocorrência frequente no dia a dia do surdocego, que muitas vezes é guiado pelos braços por terceiros. Quanto ao *feedback* térmico, houve opiniões divididas entre os usuários, alguns consideraram o estímulo agradável e outros se mantiveram neutros ao opinar. Tais resultados servirão de embasamento para o aprimoramento desse dispositivo considerando a experiência do usuário.

#### 2.4.2.6 Luvas com sensores de captação de movimento

Em 1987, foi divulgada a *Talking Glove*, uma luva na qual a pessoa surdocega realiza os sinais da língua de sinais americana e a luva traduz as informações por meio de um sintetizador de voz para pessoas cegas ou em um módulo portátil de exibição em Braille para pessoas surdocegas (KRAMER e LEIFER, 1988). Houve aperfeiçoamentos ao longo dos anos e, a partir de 1995, foram desenvolvidas as *Cyber Glove* (versões I, II e III) comercializada pela empresa *Cyber Glove Plus* juntamente com um programa de reconhecimento de gestos e outras interfaces denominadas *Cyber Grasp*, *Cyber Force* e *Cyber Touch*.

Outros autores desenvolveram diversas modalidades de luva com a mesma finalidade, como: *Sayre Glove* (1977), *Digital Data Entry Glove* (1983), *Power Glove* (1989), *Dataglove* (1989), *5DT Data Glove* (1999), *P5 Glove* (2002), *Shape Hand*(2005), *Peregrine Glove* (2010), *Pinchglove*, *Didjiglove*, *DGTech Vhand*, *X-IST Data Glove*, *Iglove/Acceleglove*, *The Keyglove*, *Ben's Glove of Power*, *Clove 2 e Mister Gloves* (LLORACH TÓ, 2013). Em 2016, os pesquisadores Thomas Pryor e Navid Azodi da Universidade de Washington divulgaram as luvas *SignAloud* que decodifica a linguagem de sinais em texto ou voz (PRYOR E AZODI, 2016). No mesmo ano, estudantes da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UFTPR) iniciaram o desenvolvimento da AlfaLuva que culminou no desenvolvimento da luva e em um aplicativo com objetivo educativo. O usuário observa a letra ou palavra solicitada, realiza o gesto de libras correspondente com a luva e o aplicativo fornece *feedback* letra a letra se os sinais estão corretos ou incorretos (SILVANO et al., 2016).

Posteriormente, o pesquisador Roy Alella pela Universidade de Oxford apresentou a luva Sign-IO com o mesmo princípio de funcionamento, mas com um aplicativo no qual se pode configurar a linguagem, o gênero e o tom da vocalização com resultados mais precisos de emissão de som a partir da captação de gestos (ALELA, 2019).

O Projeto Luvas de Comunicação para Surdocegos (AMARAL, 2012) do Laboratório de Bioengenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (LabBio- UFMG) iniciou-se com a concepção de criar um par de luvas com acionamento pela flexão combinada dos dedos e transmissão dos sinais para *tablets* e *smartphones*. Os caracteres seriam decodificados e enviados via *Bluetooth* para dispositivos *Android* e a recepção dos sinais para as luvas seria mediante o acionamento de motores de vibração presentes nas extremidades dos dedos.

A patente “Dispositivo combinatório bidirecional de comunicação” (AMARAL, 2013) refere-se a patente do Projeto Luvas de Comunicação do LabBio-UFMG e trata de um dispositivo para escrever palavras usando combinações de dedos, sendo o número de acionadores exatamente igual ao número de dedos.

A patente “*Touch Language*” (LIEBERMANN, 2013) envolve a transmissão de informações sobre imagens visuais de um programa de televisão. Uma palavra-chave que descreve uma parte de uma imagem visual é transmitida na palma da mão da pessoa com deficiência, que deve usar uma luva.

Outro projeto de pesquisa advém do departamento de Engenharia Biomédica da Universidade de Glasgow, por intermédio do pesquisador Oliver Ozioko. Seu trabalho refere-se ao SmartFingerBraille composto por uma luva que abrange os dedos anelar, médio e indicador. O usuário deve mover os dedos na combinação dos pontos correspondente as letras da célula Braille. Usando a luva de dedos em qualquer superfície, essas combinações são enviadas para dispositivos móveis e/ou outras luvas (recepção por vibração) via *Bluetooth* (OZIOKO et.al, 2017). No aplicativo, as combinações digitadas em Braille são decodificadas para caracteres alfanuméricos. Seu trabalho também envolve a possível implementação dos gestos do alfabeto manual britânico para a mesma finalidade (OZIOKO e HERSCH, 2015).

#### 2.4.2.7 Mãos robóticas

Em 1978, foi divulgada a patente “*Method and apparatus for communicating with people*” (LAENGER, MCFARLAND e PEEL, 1978) que se trata de uma mão eletromecânica que forma letras do alfabeto manual a partir da conversão de sinais do código da máquina de escrever. O ponteiro é programado para ir diretamente de uma letra para outra sem retornar a uma posição neutra, se a próxima letra for recebida. Um período de descanso para a mão eletromecânica pode ser reconhecido pelo surdocego como sendo o final da sequência de letras que formam uma palavra.

Em 1985, alunos do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Stanford desenvolveram o Dexter versões I e II, uma mão robótica com cinco dedos e atuadores pneumáticos (cilindros ligados a cabos que simulam a ação dos tendões das mãos) que geram a mobilidade aos dedos. Tal mão robótica foi capaz de reproduzir a língua de sinais americana de forma inteligível para um grupo de vinte surdocegos, embora houvesse variação na compreensão dos sinais entre os indivíduos (JAFFE, 1994). A mão robótica permanece fixada em uma base, conforme figura 25.



Figura 25 - Mão robótica, realiza os movimentos correspondentes a linguagem de sinais.  
Fonte: Autora. Imagem meramente ilustrativa.

Em 1992, foi desenvolvida a terceira versão da mão robótica baseada na Dexter II na Universidade de Gallaudet. Os testes ocorreram durante dois meses com uma amostra de nove surdocegos, os resultados foram satisfatórios e houve sugestões de aperfeiçoamentos para a versão comercial. A quarta versão, chamada RALPH (*Robotic ALPHabet*) foi testada por dois surdocegos, ambos compreenderam os sinais satisfatoriamente e consideraram o formato mais arredondado do protótipo mais semelhante ao de uma mão natural, comparativamente a terceira versão (JAFPE, 1994). Na figura 26 está representada uma linha do tempo de alguns recursos de tecnologia assistiva supracitados.

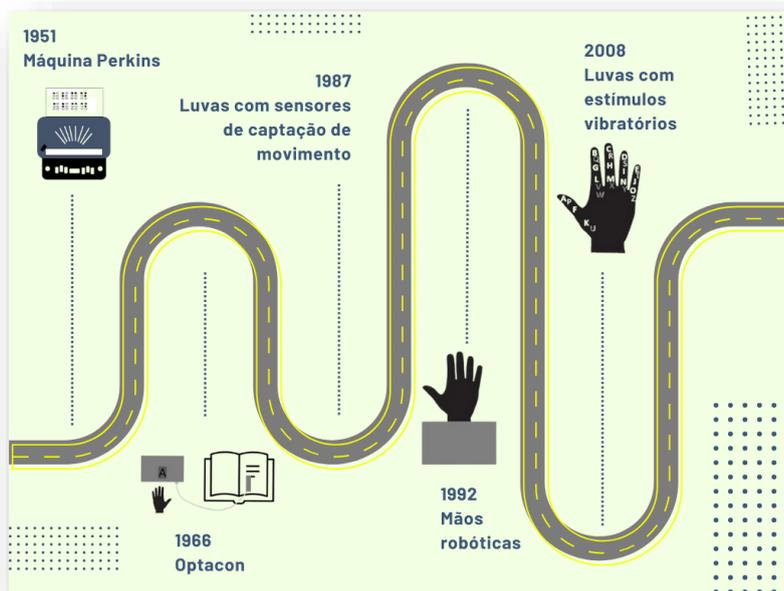


Figura 26. Linha do tempo de alguns recursos de tecnologia assistiva apresentados.  
Fonte: Autora

## 2.5 Histórico evolutivo da prototipagem, das luvas ao Caeski

O Projeto Luvas de Comunicação para Surdocegos (AMARAL, 2012) financiado pela Finep a partir da Chamada Pública MCTI/SECIS/FINEP/FNDC – Cooperação Empresa ICT – Tecnologia Assistiva – 01/2011, teve início em 2012 com a concepção de criar um par de luvas com sensores de flexão ativados pelo movimento de flexão dos dedos.

A partir do momento em que os dedos são flexionados, letras, números e outros caracteres devem aparecer na tela de *tablets* e *smartphones*. Para a recepção das informações, sinais vibratórios são captados pelas pontas dos dedos nas combinações pré-estabelecidas para a compreensão das informações.

Inicialmente, não se pensou que esses conceitos seriam aplicáveis as pessoas surdocegas, o objetivo era uma proposta alternativa ao teclado QWERTY<sup>1</sup> tradicional, visando a agilidade na digitação em quaisquer superfícies. Posteriormente, pensou-se na aplicação para pessoas surdocegas, pois a recepção das informações pelo tato favoreceria essas pessoas.

O primeiro protótipo para teste de conceito foi feito utilizando uma luva de látex, uma placa de aquisição de sinais digitais NI USB-6008 e *push buttons* localizados na ponta dos dedos, conforme a figura 27. O teste de conceito foi verificar o funcionamento dos botões.

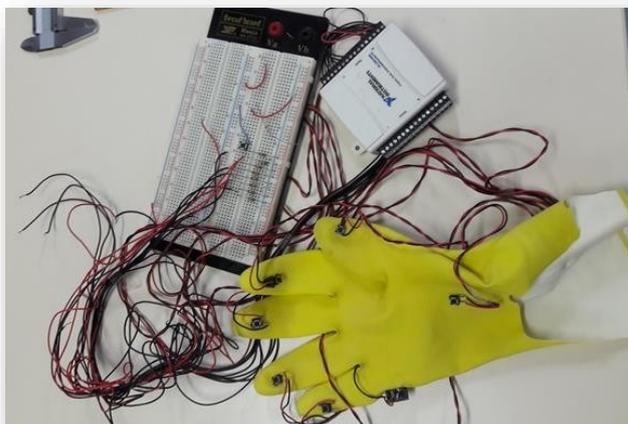


Figura 27 – Protótipo Luvas 1 feito com luva de látex.  
Fonte: Arquivos LabBio-UFMG.

---

<sup>1</sup> QWERTY é a distribuição das letras do teclado usado para o alfabeto latino. O nome se origina das primeiras 6 letras da primeira linha do teclado. A disposição das teclas foi patenteada por ChristopherSholes para a sua máquina de escrever em 1868.

O segundo protótipo para teste de conceito foi confeccionado em luvas de lã, cola e linha condutiva, conforme figura 28. Foi utilizado o Arduino para a montagem do primeiro circuito eletrônico.

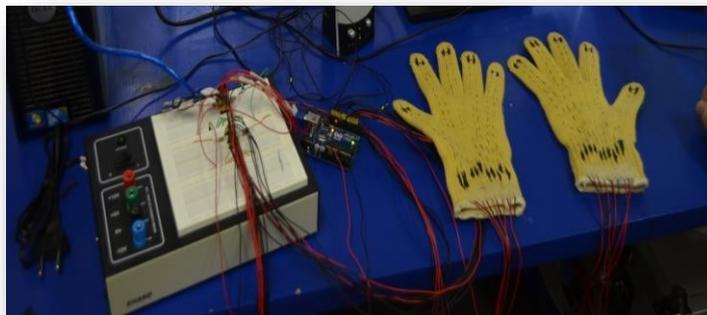


Figura 28 – Protótipo Luvas 2 feito com luvas de lã.  
Fonte: Arquivos LabBio-UFMG.

No terceiro protótipo para teste de conceito, mostrado na figura 29, foi usada uma luva de poliamida, elástico e poliuretano e inseridos os primeiros motores de vibração. Foi confeccionada uma placa de circuito com módulo *Bluetooth*, para viabilizar a comunicação entre as luvas e o computador.



Figura 29 – Protótipo Luvas 3 feito com poliamida, elástico e poliuretano.  
Fonte: Arquivos LabBio-UFMG.

No quarto protótipo para teste de conceito, mostrado na figura 30, foram inseridos sensores de dobra e os motores de vibração passaram a ser acionados pela flexão dos dedos das mãos. Além disso, foi utilizado tecido condutivo e costuras para melhorar a fixação dos componentes as luvas.

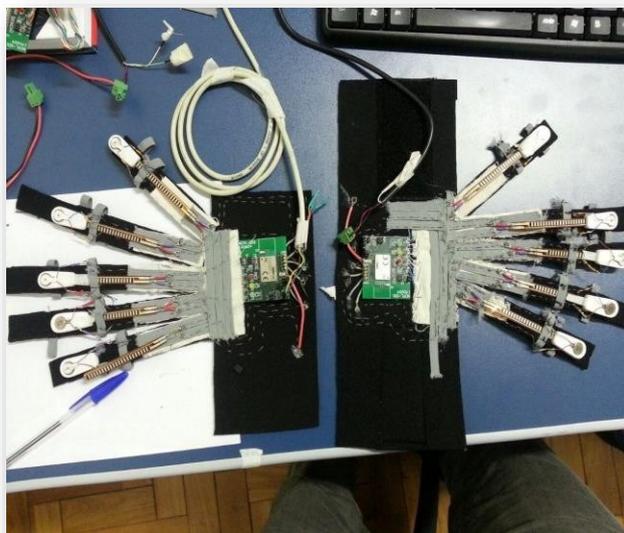


Figura 30 - Protótipo Luvas 4 com sensores de flexão, tecido condutivo e com os componentes eletrônicos costurados.  
Fonte: Arquivos LabBio-UFMG.

O protótipo foi aperfeiçoado inserindo revestimento em Neoprene, tecido piezoresistivo Velostat e linha condutiva, conforme figura 31. Os materiais escolhidos possuíam resistência a vincos, a altas temperaturas, impermeabilidade e proteção contra produtos químicos, garantindo maior durabilidade e resistência às luvas.



Figura 31 - Protótipo 4 com materiais resistentes a vincos, a altas temperaturas, com impermeabilidade e proteção contra produtos químicos.  
Fonte: Arquivos LabBio-UFMG.

O circuito foi devidamente revestido, passando de teste de conceito para interface luva. A placa de circuito foi inserida em uma pequena caixa localizada sobre o punho do usuário, de acordo com a figura 32. Além dessas medidas, um aplicativo de Android foi desenvolvido. Por meio dele, calibrava-se o acionamento dos sensores pela flexão dos dedos, além de ser possível a comunicação entre a luva e o sistema operacional Android.



Figura 32 - Protótipo Luvas 4 revestido e com circuito interno próprio acondicionado em uma caixa.  
Fonte: Arquivos LabBio-UFMG.

Apesar de todos os aperfeiçoamentos para tornar as luvas mais resistentes e impermeáveis a agentes externos, havia desconexões com o uso prolongado. Além disso, as mãos de diferentes indivíduos não eram compatíveis com os tamanhos padrão das luvas, o que poderia interferir na recepção das vibrações nas extremidades dos dedos. Outro fator refere-se ao fato de que, inevitavelmente, as luvas ocupam ambas as mãos do usuário, sendo necessário retirá-las com frequência para realizar outras atividades que viriam prejudicar a integridade das luvas.

O fator determinante para descontinuar o uso das luvas foi a constatação de que os sensores realizavam a leitura de flexões indesejadas de outros dedos. Tal situação ocorria pelo simples fato de que a mão humana, por questões anatômicas, não realiza flexões isoladas dos dedos. Como se pode observar na figura 33, por uma questão de continuidade musculotendínea, como exemplo, o terceirodedo, quando flexionado, é acompanhado pela flexão do quarto dedo; de maneirasimilar, o quinto dedo, quando flexionado, é acompanhado pelo quarto dedo.



Figura 33 – Flexão dos dedos das mãos.  
Fonte: Autora.

Deve-se ponderar, no entanto, que é possível prever essas flexões - “indesejadas” nesse contexto – por meio da programação do algoritmo do aplicativo. No entanto, seres humanos diferentes, apresentam diferentes configurações de flexão dos dedos, devido a fatores não apenas anatômicos, mas ao histórico prévio de lesões e aderências cicatriciais nos dedos, doenças pré-existentes nas articulações como a artrite e a flexibilidade articular intrínseca de cada indivíduo, devido inclusive às suas atividades manuais de vida diária, que interferem nessa flexibilidade. Ademais, torna-se inviável realizar adequações personalizadas no algoritmo para abranger essa variabilidade.

O quinto protótipo para teste de conceito mostrado na figura 34, foi feito com a concepção de desenvolver um teclado. Nesse período, iniciou-se a utilização de impressoras 3D no Laboratório de Bioengenharia da UFMG, o que gerou agilidade no processo de prototipagem. Inicialmente foram desenvolvidas teclas vermelhas impressas pela impressora 3D com local para compartimentar os *push-buttons*, cabos, LEDs para verificar o acionamento e pequenas placas atrás de cada tecla com *push-button*.



Figura 34 - Protótipo 5 com teclas vermelhas.  
Fonte: Arquivos LabBio-UFMG.

No sexto protótipo para teste de conceito mostrado na figura 35, foram impressas teclas mais achatadas com o intuito de melhorar o acionamento dos *push-buttons*. Foi verificado, pela visualização da luz dos LEDs, que o acionamento foi mais efetivo.



Figura 35 - Protótipo 6 com teclas verdes.  
Fonte: Arquivos LabBio-UFMG.

Em um segundo momento, foram inseridos os motores de vibração e teclas fabricadas em EVA foram moldadas para cobrir esses motores, conforme figura 36. Entretanto, o acionamento dos botões foi comprometido.



Figura 36 - Protótipo 7 com teclas cor de rosa.  
Fonte: Arquivos LabBio-UFMG.

Uma interface que foi projetada, mas não chegou a ser prototipada, foi o teclado “coração”, conforme figura 37. Este modelo foi nomeado dessa forma devido a ideia de que o usuário deveria utilizá-lo com as mãos juntas, ao centro do tórax e perto do coração, em posição de prece. Trata-se de uma concepção de um dispositivo mais compacto e que, como as luvas, não necessita de superfície de apoio. No entanto, o projeto não prosseguiu para a prototipagem.



Figura 37 - Interface Coração.  
Fonte: Arquivos LabBio-UFMG

O sexto protótipo denominado “asas” (figura 38) por possuir duas abas laterais e simétricas, possui estrutura que foi completamente impressa em impressora 3D, placa de circuito integrado com módulo *Bluetooth* e duas placas periféricas com motores de vibração e *push-buttons*. Após a impressão dos primeiros modelos, houve aprimoramento do sistema de encaixe das placas laterais e foram projetadas torres para parafusos auto-tarrachantes. Além disso, foi feito o acréscimo de um potenciômetro para controle de intensidade de vibração, inserção de chave liga-desliga, teclas com números em relevo em Braille e teclas em formato oval para acomodar os polegares de maneira mais ergonômica.



Figura 38 – Protótipo 8, teclado Asas.  
Fonte: Arquivos LabBio-UFG.

Este teclado foi utilizado em um teste piloto com duas pessoas com surdocegueira (LUZ e HUEBNER, 2017) e ambos os usuários relataram a ausência de apoio para as mãos e para os punhos como um fator de desconforto, sendo necessária a elevação dos punhos e dos cotovelos, conforme figura 39, ao mesmo tempo em que se deve digitar e interpretar as vibrações recebidas.



Figura 39 – Postura anti-ergonômica durante o uso do teclado Asas.  
Fonte: Arquivos LabBio-UFG.

Devido a postura anti-ergonômica, o teclado foi reformulado por Reda (2017), conforme figura 40. Seu formato foi inspirado no teclado Microsoft Sculpt Ergonomic desenvolvido em 1993 pela empresa Ziba Design e que possui a superfície abaulada para acomodar as mãos (ZIBA DESIGN, 2020). Por esse motivo, esse protótipo recebeu nome de Ziba. Este protótipo, foi aprimorado a partir da versão anterior com o apoio e os recursos da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pelo projeto Luvas de Comunicação submetido por meio do edital MCTI/SECIS/FINEP/FNDCT – Cooperação Empresa – ICT – Tecnologia Assistiva – 01/2011 (AMARAL, 2012).



Figura 40 - Protótipo 9, teclado Ziba.  
Fonte: Arquivos LabBio-UFMG.

Este teclado foi testado com uma amostra de onze pessoas com surdocegueira, os resultados destes testes serão detalhados neste trabalho. A priori, a maioria dos usuários queixou-se do desnível em abóbada na superfície, e não consideraram esse posicionamento ergonômico, principalmente para ter apoio para pressionar os botões das extremidades laterais. Além disso, o arranjo da eletrônica não se mostrou adequado, sendo praticamente impossível fechar o protótipo, uma vez que os botões que se posicionavam sem apoio em cima dos *push-buttons* e, antes de encaixar a tampa superior, os botões saíam do eixo, conforme figura 41.



Figura 41 - Deslocamento dos botões do protótipo Ziba.

Fonte: Autora.

Considerando os relatos dos onze usuários, foi desenvolvido o teclado Caeski, nome próprio escolhido pela equipe desenvolvedora por votação. Após uma busca acurada, não há nomes e palavras estrangeiras que recebem a denominação Caeski, tornando-o exclusivo. Em sua versão atual, sua superfície é plana com borda inferior arredondada, garantindo uniformidade para a digitação dos botões e conforto para os punhos. Além disso, os botões possuem uma configuração exclusiva para a acomodação dos motores de vibração e *push-buttons*, permitindo a sua fixação em torres na tampa inferior e garantindo o encaixe da tampa superior, conforme figura 42.

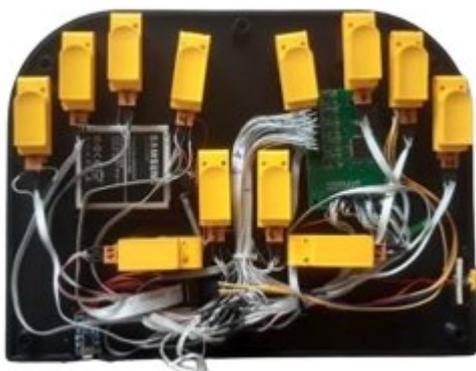


Figura 42 - Acomodação da eletrônica no Caeski com a fixação dos botões para o encaixe da tampa superior.

Fonte: Autora

Com relação aos modelos *joystick*, esta foi uma sugestão de um dos integrantes da amostra de pessoas com surdo-cegueira que questionou o fato de o teclado Caeski necessitar de uma superfície de apoio, o que seria uma regressão se comparado às luvas. Por esse motivo, foi sugerida a criação de um *joystick* que fosse semelhante a manete de um videogame, para garantir o uso do dispositivo com mobilidade, pois a interface joystick possibilita ao usuário usar o dispositivo em pé ou sentado. Para tal, Rêda (2017) criou as primeiras versões, conforme a figura 43.



Figura 43 - Primeiras versões dos *joysticks*.  
Fonte: Rêda (2017).

Este usuário testou os protótipos e queixou-se do fato de o dispositivo ser semelhante a pequenas “almofadas” e o fato de os botões serem “rasos” em relação a sua superfície, o que dificulta a sua localização, portanto, sugeriu o desenvolvimento de um protótipo mais ergonômico. Para atender detalhadamente as suas sugestões e baseado em uma ampla pesquisa sobre o histórico evolutivo dos *joysticks*, foi desenvolvido o *joystick* Caeski, mostrado na figura 44. Os dispositivos com denominação Caeski, teclado e *joystick*, foram desenvolvidos pela autora deste trabalho juntamente com sua equipe.

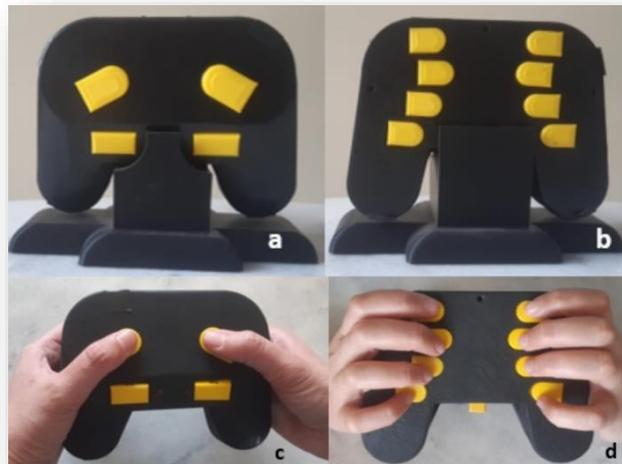


Figura 44 - *Joystick Caeski* em seu suporte de apoio (a,b) e nas mãos do usuário (c,d).  
Fonte: Autora

Na figura 45, estão apresentados os protótipos com os seus respectivos nomes em uma linha do tempo.



Figura 45. Cronologia da prototipagem.  
Fonte: Autora

### 2.5.1 Gamificação: definições e aplicações no contexto da aprendizagem

De acordo com Kapp (2012), o termo gamificação se refere ao “uso de mecânicas, estéticas e pensamentos dos *games* para engajar pessoas, motivar a ação, promover a aprendizagem e resolver problemas”. Segundo Fadel *et al.* (2014) a palavra gamificação foi utilizada pela primeira vez em 2010, mas tem sido aplicada desde a época em que os professores marcavam os cadernos dos alunos com “estrelinhas”, demonstrando uma recompensa pelo cumprimento de atividades. De forma similar, hoje são utilizadas as pontuações ou moedas durante as fases de um *game*.

Além disso, deve-se destacar que há quatro perfis de jogadores - classificados por Richard Bartle - os empreendedores ou *achievers*, os exploradores ou *explorers*, os socializadores ou *socializers* e os matadores ou *killers* (FARDO, 2013). Segundo Silva e Bax (2017), os empreendedores ou conquistadores são motivados por recompensas ao subir de nível e por resolver exercícios desafiadores. Os exploradores preferem descobrir descobrir todas as possibilidades que as ferramentas de aprendizagem virtual oferecem eo interesse é focado no conteúdo. Os socializadores buscam a interatividade com os jogadores. Os matadores ou predadores são motivados pela competição e não pela cooperação que os socializadores buscam, pois os predadores desejam o reconhecimento. Portanto, é desejável que o *game* contemple esses perfis de jogadores.

Um *game* possui elementos básicos como: objetivos claros, nível de dificuldade progressivo com indicador visível da progressão, recompensas imediatas, liberdade pararealizar várias tentativas, um tema ou *storytelling* com cenários que contam uma história, pode conter conteúdo personalizável para atender os diversos perfis de usuários e muitos possuem restrição de tempo. Para os socializadores, existem os *loops* de engajamento social e para os conquistadores e predadores, o *status* visível da reputação do jogador (SILVA e BAX, 2017 adaptado de DICHEVA *et al.*, 2015).

Atualmente, a utilização da gamificação na área pedagógica vem crescendo, um exemplo seria o aplicativo Duolingo (SHORTT et al., 2021) para o ensino de línguas estrangeiras. O uso dos elementos dos *games* pode ser motivador e manter o aluno-jogador fiel ao propósito de aprendizagem, pois é possível visualizar a evolução do cumprimento do conteúdo. Entretanto, criar um *game* pedagógico e inseri-lo em uma tecnologia assistiva não é tarefa trivial. Por esse motivo, é importante conhecer suas características e validá-las com os potenciais usuários para inserir aperfeiçoamentos, pois o que parece ser interessante para o desenvolvedor, pode ser enfadonho ou confuso para o usuário.

Ademais, há formas de “monetizar” as conquistas do usuário, para que possa acumular e trocar pontos por benefícios ou melhorar sua reputação, são: as medalhas ou troféus, os painéis de liderança e os níveis hierárquicos. No caso do aplicativo Duolingo, por exemplo, as moedas criadas são os lingotes ou cristais, que podem ser trocados pelo dobro com 5 lingotes investidos se houver 7 dias seguidos de dedicação aos exercícios do aplicativo. Há metas diárias visíveis a serem cumpridas e, caso haja algum imprevisto e o usuário deixe de usar o aplicativo por um dia, pode comprar um “bloqueio de ofensivas” por 10 lingotes e não perder a sua ofensiva de 7 dias para garantir o prêmio. Inclusive, o jogador pode se tornar um investidor de lingotes, dobrando a receita investida a cada 7 dias de ofensiva.

À medida que o usuário utiliza o aplicativo, recebe de condecorações chamadas de “Conquistas” que ficam visíveis a outros usuários, que estabelecem uma competição em “XPs”, uma outra moeda utilizada no jogo Duolingo, chamada de pontos de experiência, correspondentes a quantidade de tarefas cumpridas no que se refere a lições individuais (10XPs), prática da unidade (10XPs), teste para pular de nível (20XPs), teste de seção (50XPs) e teste de nivelamento (100XPs). Toda semana, há um *ranking* semanal da quantidade de XPs que cada usuário conquistou, colocando como destaque o primeiro lugar. Seus concorrentes recebem uma mensagem com o nome da pessoa que atingiu o pódio. Tais recursos geram engajamento de acordo com o perfil de cada usuário, que se sente comprometido a cumprir tarefas diárias, pois gera competição.

Caso o usuário perca o prêmio, ou seja, não cumpra a meta de 7 dias seguidos de ofensiva, a coruja símbolo do Duolingo aparece chorando. Logo, a todo momento, as emoções do jogador são colocadas em xeque e, concomitantemente, com essas moedas de troca, o usuário progride no aprendizado de línguas mantendo-se fiel ao *game*. Se comparado aos cursos de línguas tradicionais, os usuários *gamers* ganham flexibilidade e mobilidade pelo acesso ao aplicativo pelo celular ou em seu computador a qualquer hora e lugar.

Entretanto, recompensas por bom desempenho podem não ser estimulantes para os jogadores que vencem sempre ou que possuem baixas taxas de erro, ou para aqueles que possuem altas taxas de erros, o que seria similar a motivação de um time de futebol que se encontra na zona de rebaixamento e não tem chances de ganhar o campeonato (TEICHNER e FORTUNATO, 2015). Para estes dois perfis, deve-se pensar em outras formas para mantê-los motivados.

A gamificação é um recurso aplicável ao contexto do Caeski desde que contempladas as particularidades do processo de ensino-aprendizagem da pessoa com surdocegueira. O objetivo é transformar a maneira como as pessoas com surdocegueira lidam com o teclado e o *joystick* Caeski utilizando o *game*, de forma a aprender suas combinações de forma divertida e interativa. Neste trabalho, serão apresentados os elementos presentes nesse *game*, também chamado de *Vibe Hero* Caeski.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Primeiramente, para abranger a complexidade do processo de desenvolvimento do Caeski, foi necessário estruturar uma equipe com membros especializados em diversas frentes. Em um segundo momento, será apresentada a lógica das combinações do Caeski e as formas de transmissão de dados.

Posteriormente, será detalhada a metodologia dos testes com uma amostra de 11 pessoas com surdocegueira para a validação do dispositivo e o processo de coleta de dados da análise das vibrações que foram realizadas concomitantemente durante esses testes. Dando continuidade a metodologia, será explicitado o processo de coleta de dados das medidas antropométricas das mãos de uma amostra de 105 adultos e 104 crianças, informações que foram necessárias para o dimensionamento do teclado e do *joystick*. Além disso, será explicitada a metodologia de um questionário referente ao *game* Caeski. As perguntas foram formuladas pela autora e o questionário foi respondido por uma amostra de 17 pessoas com surdocegueira.

#### 3.1 Formação da equipe desenvolvedora para o projeto Caeski

Diante de todo o histórico do projeto, fez-se necessário organizar o local destinado ao armazenamento dos materiais e definir os objetos e equipamentos necessários para os postos de trabalho. Em decorrência desse processo de organização, foram definidas as áreas de atuação da equipe desenvolvedora do Caeski, conforme figura 46.

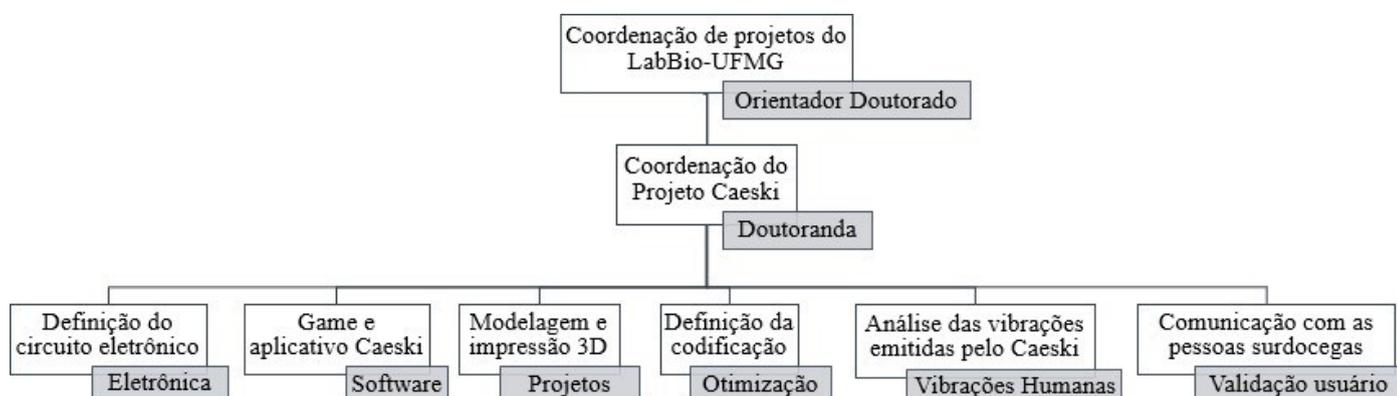


Figura 46 - Organograma da equipe desenvolvedora do Caeski.

Fonte: Autora

Após a definição das áreas, foram realizados processos seletivos direcionados para as áreas de eletrônica, *software* e projetos para a formação da equipe de desenvolvimento do Caeski na UFMG.

No caso da frente de eletrônica, em um primeiro momento, todos os objetos pertencentes ao projeto, incluindo os componentes eletrônicos, foram organizados em caixas e quantificados para facilitar a sua localização, incluindo testes para a confirmação dos valores de resistores SMD, capacitores, diodos e transistores.

Após esse trabalho, foram definidos os materiais de bancada necessários para a realização da montagem do circuito, principalmente, os materiais necessários para viabilizar soldas em SMD, um tipo de solda demandado pelas características de alguns componentes eletrônicos e que exige conhecimento e habilidade para a sua execução. Posteriormente, após várias reuniões de equipe, os integrantes compreenderam as demandas de funcionamento do Caeski e elaboraram as listas de compras dos componentes eletrônicos que não haviam no laboratório.

Na frente de *software*, a equipe se deparou com o problema de insuficiência na documentação da programação do aplicativo. Consequentemente, qualquer alteração feita por terceiros poderia prejudicar o funcionamento do *software*, pois a lógica da programação se encontrava difusa e extensa. Desta forma, o aplicativo foi completamente reformulado e o *game* foi desenvolvido posteriormente, a ideia do *game* foi proposta pela autora do presente estudo, coordenadora do Caeski.

Na frente de projetos, juntamente com a coordenadora do Caeski, foram definidos detalhes de projetos ergonômicos para as interfaces. Além disso, foi necessário realizar um estudo acurado do formato dos botões, desenvolvidos de forma a acomodar adequadamente os *push-buttons* e os motores de vibração para evitar deslocamentos e problemas de fixação, além da definição dos locais adequados para acomodação dos componentes eletrônicos de forma a evitar desconexões, considerando testes de queda para análise da robustez do dispositivo.

As atividades de Otimização envolveram a análise e o aperfeiçoamento das lógicas das combinações dos dedos para a ativação de cada caractere, de forma a facilitar sua assimilação e a aprendizagem pelo usuário. Em decorrência das análises realizadas, foi definido que as combinações de cada caractere não poderiam ultrapassar a combinação de três botões, para tal, foi desenvolvida a estrutura em modos modos, que será apresentada nesta seção.

Na frente Vibrações Humanas, o trabalho consistiu na mensuração e na análise dos efeitos a curto e longo prazo da exposição às vibrações emitidas pelo dispositivo, para que sejam tomadas medidas preventivas visando a saúde do usuário.

Para a frente de Validação com o usuário, foi convidada uma pessoa com surdocegueira para fazer parte da equipe e acompanhar o processo de desenvolvimento. Sua participação foi fundamental para a prospecção dos intérpretes e da amostra de pessoas com surdocegueira para a participação no presente estudo. Sua presença na equipe foi uma ponte para troca de ideias e relatos de experiências de quem vivencia e compreende as necessidades das pessoas com surdocegueira. Desta forma, reafirma-se o lema adotado mundialmente e presente na Declaração de Madri em 2002: “Nada Sobre Nós, Sem Nós” que se refere ao fato de que as pessoas com deficiência precisam estar envolvidas no planejamento de estratégias e políticas que afetarão sua vida.

Para organizar as demandas, foram realizadas reuniões periódicas. Durante as reuniões, cada membro da equipe realizava uma apresentação a partir de um *template* pré-definido sobre as atividades que foram desempenhas. Como consequência, todos os membros da equipe se mantiveram cientes das atividades realizadas, abrindo um espaço para o diálogo e a proposição de sugestões. Foram momentos cruciais de discussão e análise de diversos pontos que poderiam passar despercebidos se não tivessem sido verbalizados durante as apresentaçõ

### 3.2 A lógica das combinações do Caeski

O lógica das combinações foi idealizada pelo professor Ricardo Luiz Utsch, professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFMG, desde a concepção do projeto “Luvas de Comunicação para Surdocegos” pelo Edital Finep 01/2011 de Tecnologia Assistiva (AMARAL, 2012). Como coordenador da otimização das combinações do dispositivo, o professor criou modelos matemáticos para as diversas formas de associação que poderiam ser adotadas, primeiramente, para as luvas de comunicação e, posteriormente, o teclado e o *joystick*. Para tal, foram desenvolvidas tabelas de associação dos símbolos linguísticos, otimizada sob a óptica da linguística.

No período de 2012 a 2016, a equipe de otimização foi composta pelos membros Izabel Cristina Campolina Miranda, professora do Departamento de Fonoaudiologia da UFMG, responsável pelo estudo da linguística associado a língua portuguesa e por Ricardo Poley Martins Ferreira, professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFMG, atuando na otimização das combinações juntamente com o professor Ricardo Utsch.

Inicialmente, os professores e pesquisadores sugeriram a possibilidade de elaborar as combinações de acordo com as sílabas da língua portuguesa. Para tal, a professora Izabel Miranda elaborou uma revisão bibliográfica sobre a frequência das sílabas existentes no português brasileiro. A análise explicitou que a língua portuguesa possui em torno de 2.400 sílabas (FROTA et.al, 2006; ALMEIDA, 2005), o que inviabilizaria a memorização das combinações associadas a essas numerosas sílabas. A partir desta conclusão, a tarefa foi modificada para a pesquisa dos tipos silábicos mais frequentes, no entanto, o número de possibilidades com os tipos silábicos mais frequentes permaneceu numeroso, além do fato de não ser possível a escrita de textos em português considerando apenas esses tipos silábicos.

Sendo assim, o foco da análise foi direcionado a análise de critérios de aproximação fonética (CÂMARA JR, 1997; CRISTÓFARO-SILVA, 2007) e a pesquisa de sequências frequentes, tais como “ão” e “õe”. Desta forma foram elaboradas combinações de uma a quatro teclas.

Em 2017, estas combinações foram testadas com uma amostra de duas pessoas com surdocegueira e estes testes foram classificados como um estudo piloto para prosseguir com a otimização das combinações. Este estudo foi conduzido pela autora do presente estudo e por

Ricardo Utsch e os principais relatos sobre as combinações foram:

- Codificação que exige a memorização de códigos para cada caractere. Apesar de existir uma lógica sequencial, a complexidade aumenta progressivamente e potencializa a chance de erros, uma vez que se exige muito da memória do usuário.
- Dificuldade de compreensão dos sinais vibratórios durante a recepção. As vibrações relativas ao ‘espaço’ entre as palavras, a ‘pontuação’ e a ‘acentuação’ se confundem em meio aos caracteres relativos às letras e números.

Além desses aspectos, na programação da proposta anterior da linguagem, a cada palavra, era emitido o código relativo tecla de “espaço” e o usuário se mostrava confuso, pois os códigos dos caracteres se confundiam com o código da tecla de “espaço”. Outrossim, não havia um “período de descanso” no recebimento das vibrações e este envio contínuo poderia gerar fadiga e um nível de atenção constante que poderia ser impraticável. Ou seja, caso o usuário não compreendesse alguma sequência, recebia outra logo em seguida chegando a um ponto em que não era mais possível retomar a compreensão da frase. Portanto, foi definida a substituição das combinações relativas ao “espaço”, “vírgula” e “ponto” por pausas de duração variável para permitir a diferenciação nas frases.

Durante o período de 2017 a 2020, a autora do presente estudo prosseguiu com os estudos de otimização juntamente com o Professor Ricardo Utsch e, a partir dos resultados do estudo piloto, foi elaborada uma nova proposta de linguagem visando solucionar o problema da complexidade das combinações utilizando estruturas em modos.

Considerando a recepção via vibrações, concluiu-se que o estabelecimento de combinações para cada letra do alfabeto mostrou-se mais viável, em detrimento da utilização das sequências frequentes, pois seria de difícil identificação pelas vibrações. Conseqüentemente, a compreensão das palavras acentuadas estaria vinculada a interpretação pelo contexto.

Diante do exposto, as combinações das dez teclas correspondem a caracteres e símbolos alfanuméricos e essas combinações estão em uma sequência lógica, projetada para favorecer sua memorização. Primeiramente, o usuário deve entender a numeração dos dedos, que correspondem aos dígitos 0 a 9, de acordo com a figura 47. Portanto, deve pressionar cada botão para enviar o número correspondente. Depois de pressionar a tecla "Enter", o dígito inserido aparecerá no aplicativo ou a tecla correspondente vibrará no Caeski do interlocutor surdocego.

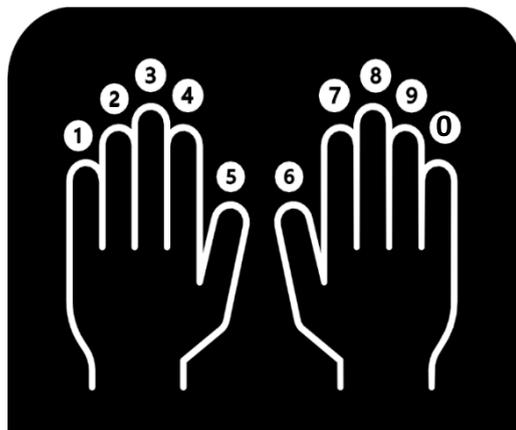


Figura 47 - Números correspondentes a cada tecla no Caeski.  
Fonte: Autora.

Com relação às letras, a combinação de duas teclas específicas corresponde a uma letra. Trata-se de uma sequência lógica, o grupo 1 corresponde às letras "a", "b", "c", "d" e "e". Ou seja, para as cinco primeiras letras serão o botão 1 e os botões da mão direita 6, 7, 8, 9 e 0. E assim por diante até a letra "y", totalizando 25 combinações. Para completar o alfabeto, a letra "z" corresponde à combinação dos botões 9 e 0, de acordo com a tabela 2.

A programação do dispositivo permite que o usuário pressione primeiro um botão (o primeiro botão deve ser mantido pressionado) e, em seguida, o segundo botão. Se o primeiro botão for pressionado e solto e o segundo botão for pressionado, um número de dois dígitos será digitado.

Para digitar símbolos, os modos devem ser ativados. Para isso, o botão correspondente ao modo deve ser pressionado por três segundos e, em seguida, o próximo botão pressionado corresponderá ao símbolo desejado, dentro da sequência mostrada na Tabela 3. Para informar ao usuário que o modo foi ativado, um sinal vibratório é emitido, indicando que os 3 segundos foram atingidos. Por exemplo, para obter o símbolo "?", o usuário ativa o modo de "pontuação" (botão 2) por três segundos e, após o sinal vibratório, deve pressionar o botão 4.

<b>Mão esquerda</b>	<b>Mão direita</b>	<b>Letra</b>
1	6	a
	7	b
	8	c
	9	d
	0	e
2	6	f
	7	g
	8	h
	9	i
	0	j
3	6	k
	7	l
	8	m
	9	n
	0	o
4	6	p
	7	q
	8	r
	9	s
	0	t
5	6	u
	7	v
	8	w
	9	x
	0	y
	90	z
	189	ç

Tabela 2 - Lógica das combinações-chave para digitar letras em Caeski.  
Fonte: Autora.

Modo	Tecla	Caractere	Modo	Tecla	Caractere
1 Acentuação	1	'	8 Delimitadores	1	(
	2	`		2	[
	3	^		3	{
	4	~		4	"
2 Pontuação	1	,		5	/
	2	.		6	)
	3	;		7	]
	4	?		8	}
	5	!		9	"
3 Uma letra maiúscula	A próxima letra digitada ficará maiúscula e posteriormente as outras serão minúsculas			0	\
4 Todas as letras maiúsculas	Todas as letras digitadas a partir da ativação do modo serão maiúsculas, necessitando de desativação		1	Olá	
5 Desabilitar letras maiúsculas	Após a ativação deste modo, as próximas letras digitadas serão minúsculas		2	Sim	
6 Símbolos especiais	1	@	9 Mensagens pré- programadas	3	Não
	2	#		4	Ok
	3	_		5	Tchau
	4	\$		6	Obrigado
	5	%		7	Qual é o seu nome?
	6	&		8	Qual é o seu número de telefone?
	7	*			
	8	o			
7 Símbolos matemáticos	1	+	0 Apagar o último caractere	Apaga o último caractere digitado, deve ser ativado sempre para apagar os caracteres desejados	
	2	-			
	3	x			
	4	÷			
	5	=			

Tabela 3 - Combinações correspondentes à ativação de modos e botões correspondentes aos símbolos.  
Fonte: Autora.

Com exceção dos modos 4 e 5, os outros modos são chamados de modostemporários, pois são automaticamente desativados após a entrada do símbolo desejado e, em seguida, retornam à função alfanumérica com letras minúsculas. Se o usuário ativar o modo 4, esta função é semelhante à tecla "Capslock" em um teclado de computador, e todas as letras inseridas serão maiúsculas até que o modo seja desativado pelo modo 5. Quando o modo 5 é ativado, as letras digitadas voltam a ficar minúsculas. Caso o usuário necessite utilizar apenas a primeira maiúscula para, por exemplo, digitar seu nome, deve ativar o modo 3, que tem uma função semelhante ao botão "Shift" em um teclado de computador, um modo temporário que é desativado após o uso.

Para facilitar a digitação de frases usadas com frequência, a Caeski possui mensagens pré-programadas, que podem ser ativadas pelo modo 9. Além disso, se o usuário cometer um erro de digitação, ele deve ativar o modo 0 para apagar o último caractere digitado e, por ser um modo temporário, ele deve ativar o modo 0 novamente para apagar mais de um caractere.

### 3.3 O processo de desenvolvimento do novo circuito eletrônico

As etapas do processo de desenvolvimento da parte eletrônica do Caeski envolveram, primeiramente, a análise do circuito do protótipo anterior e a montagem do circuito na *protoboard*, onde se realizam ensaios para testar seu funcionamento do circuito antes de confeccionar as placas eletrônicas. Nessa montagem, é possível alterar valores de componentes ou criar novas trilhas para o circuito, pois esta montagem permite flexibilidade para correções e modificações. A figura 48 mostra a montagem do circuito na *protoboard*.

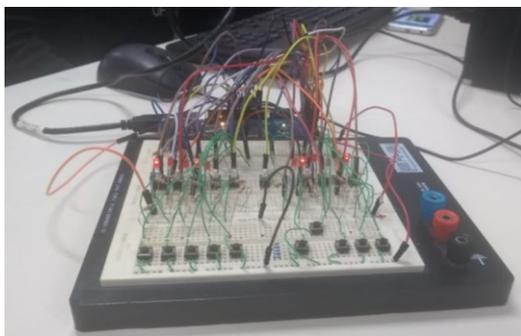


Figura 48. Circuito em *protoboard*  
Fonte: Autora

Concomitantemente a montagem na *proto-board*, para a análise de aspectos que envolvem simulação de medidas de corrente, tensão e verificar se o circuito funciona como o esperado, houve sua montagem virtual. Para realizar estas simulações, foi utilizada a versão gratuita da plataforma Multisim Live™ (NATIONAL INSTRUMENTS CORP., 2023). Desta forma, foi possível avaliar detalhadamente aspectos do funcionamento e do intercambiamento entre os componentes para posterior confecção da placa de circuito eletrônico.

Inicialmente, a bateria do dispositivo Ziba não carregava, sendo necessário mantê-lo na tomada para o seu funcionamento. Após tais análises e simulações, foi possível prevenir problemas semelhantes no suprimento de energia do Caeski, pois foram realizadas simulações para verificar a demanda de suprimento de energia do circuito de acordo com as especificações da bateria.

Do ponto de vista estrutural, os cabos de alimentação da placa eram soldados diretamente nos terminais da bateria, o que causava desconexões e representava risco de acidentes (figura 49a). A nova ligação, com o uso do conector OEM Battery Connector S4 GT-I9505 (figura 49b), além de mais segura e confiável, permite a substituição da bateria em casos de defeito ou quando seu prazo de vida útil expirar.

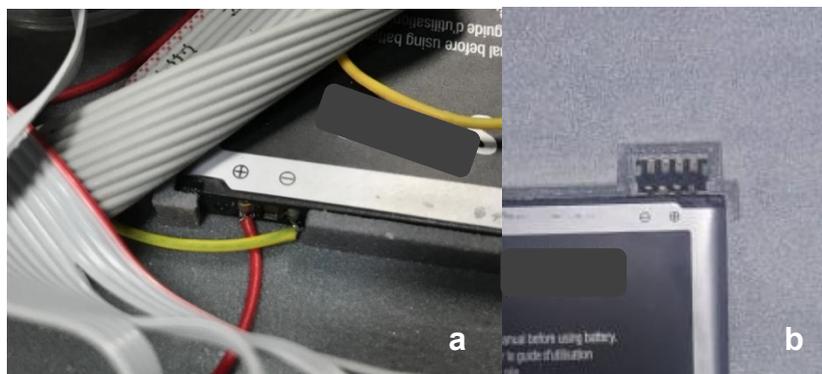


Figura 49. Fios soldados diretamente na bateria (a) e inserção de um conector de bateria (b).

Fonte: Autora

Em um segundo momento, houve substituição do conector IL-G-4P-S3L2-SA (figura 50a) pelo conector PCMN2-04 KK (figura 50b) uma vez que o antigo não se adequava a configuração do conector fêmea PCF2-04, o que gerava mau contato e constantes desconexões, portanto, esse problema de encaixe desses conectores foi corrigido (figura 50c).

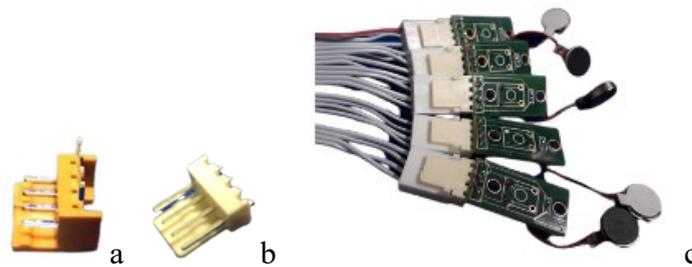


Figura 50. Conector IL-G-4P-S3L2-AS (a), conector PCMN2-04 KK(b) e encaixe entre os conectores (c).

Fonte: Autora.

Para a proteção das soldas, com o intuito de prevenir desconexões e possíveis curto-circuitos, a boa prática que foi adotada durante todo o processo de montagem dos circuitos foi a adoção de isolantes termo-retráteis, popularmente conhecidos como “espaguete”, conforme figura 51.

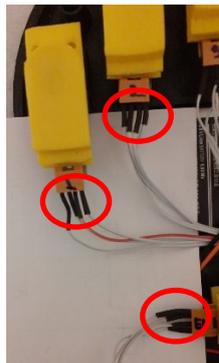


Figura 51. Isolantes termo-retráteis, destacados em vermelho.

Fonte: Autora.

Portanto, a partir da compreensão da função de cada componente eletrônico, foi possível elaborar uma nova placa de circuito. Além disso, houve o processo de programação dos *softwares* embarcados, que envolvem a programação do *firmware* dos componentes eletrônicos, que será superficialmente detalhada na seção de resultados, no entanto, maiores informações se encontram nas monografias de dois membros da equipe desenvolvedora.

### 3.4 A transmissão de dados pelo Caeski

No primeiro contato, a pessoa com surdocegueira deve entregar um cartão ao interlocutor, conforme ilustrado na Figura 52. Este cartão, impresso em alto relevo em impressora 3D, é semelhante a uma tablita alfabética (VILELA, 2020), possui cor preta e letras em amarelo. Desta forma, o cartão pode ser lido pelo tato por uma pessoa cega ou surdocega e, pelo alto contraste, por uma pessoa com baixa visão.

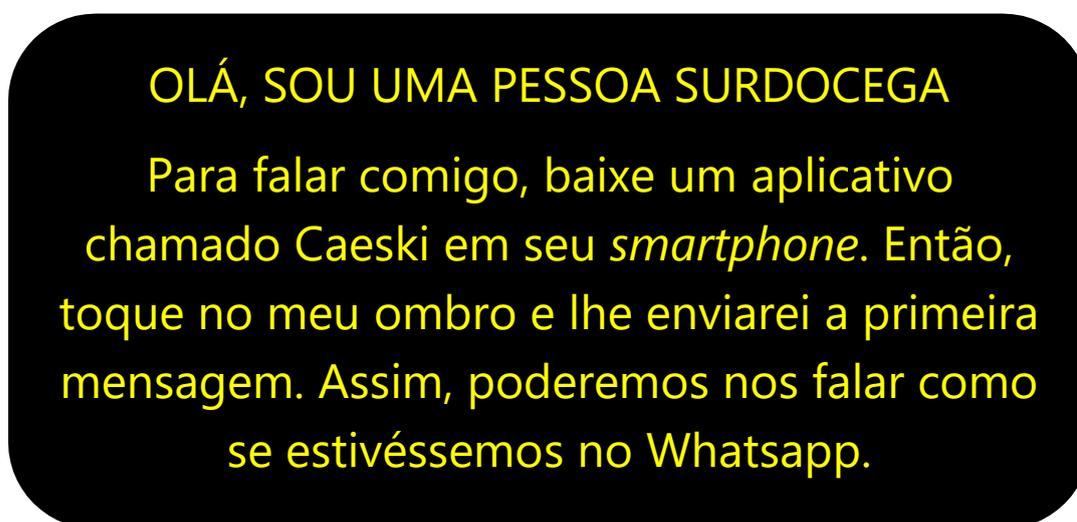


Figura 52 - Imagem ilustrativa do cartão com informações para um usuário surdocego iniciar a comunicação com outra pessoa usando o Caeski.

Fonte: Autora.

A partir do momento em que o cartão é apresentado, o interlocutor deve instalar o aplicativo Caeski em seu *smartphone*. Após a apresentação, o uso do cartão não será mais necessário. No entanto, a pessoa com surdocegueira deverá manter o cartão no bolso para iniciar um diálogo com outras pessoas desconhecidas. Por essa razão, este cartão é do tamanho de um cartão de crédito, para que ele possa ser mantido no bolso ou na carteira.

A transmissão de dados entre um dispositivo Caeski e o aplicativo Caeski são via Bluetooth. Por outro lado, as transmissões entre os aplicativos Caeski são via internet. Uma pessoa sem surdocegueira poderá enviar mensagens para outra pessoa com surdocegueira via internet para o aplicativo, que transmitirá os dados para o dispositivo Caeski via Bluetooth, conforme descrito na figura 53.

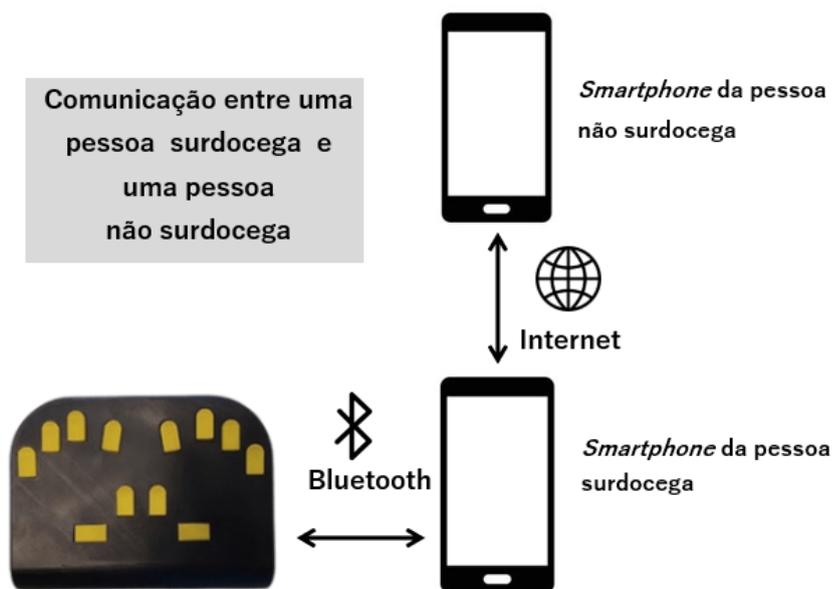


Figura 53 - Transmissão de dados do Caeski para os aplicativos da pessoa surdocega e de uma pessoa não surdocega.  
Fonte: Autora.

Portanto, através do aplicativo Caeski, não há limites geográficos e espaciais para uma pessoa com surdocegueira se comunicar com uma pessoa não surdocega se ambos tiverem o aplicativo Caeski instalado em seus *smartphones*. Vale ressaltar, no entanto, que o *smartphone* da pessoa com surdocegueira deve estar próximo ao Caeski para que haja o pareamento pelo *Bluetooth* do aplicativo para o dispositivo Caeski. Além disso, duas pessoas com surdocegueira, cada uma com um dispositivo, podem se comunicar via *Bluetooth* e pelo aplicativo, de acordo com a figura 54.

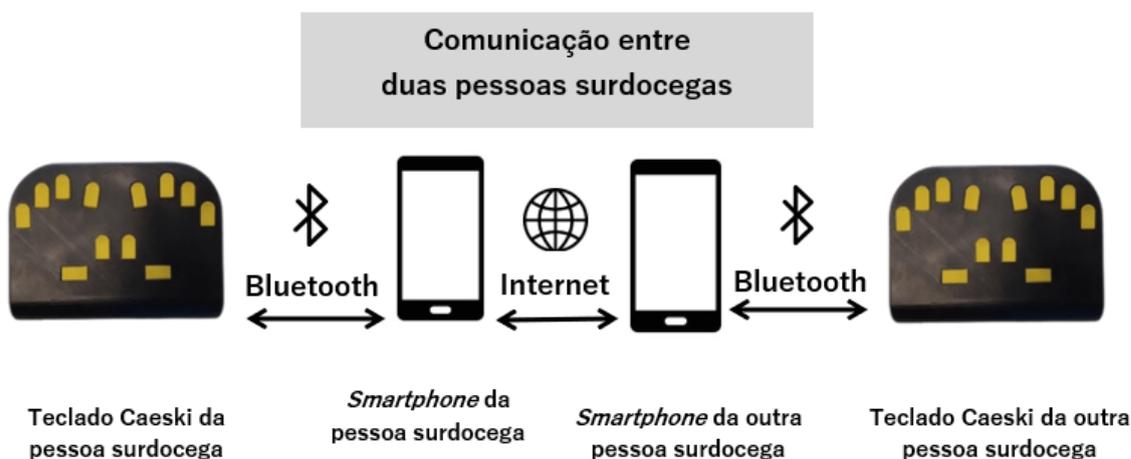


Figura 54 - Transmissão de dados entre duas pessoas surdocegas.  
Fonte: Autora.

Dessa forma, a comunicação autônoma entre duas pessoas com surdocegueira torna-se possível com o Caeski. Além disso, também é possível que pessoas com baixa visão ou não surdocegas visualizem o que está sendo digitado, pois o aplicativo Caeski tem uma interface acessível em alto contraste, ou seja, seus ícones e caracteres em amarelo com fundo preto e fontes em tamanho legível. As informações são exibidas conforme a Figura 55.



Figura 55 - Imagem ilustrativa de um *smartphone* com informações do *software* Caeski.  
Fonte: Autora.

No início, a pessoa com surdocegueira poderá precisar de ajuda para parear o *Bluetooth* de seu *smartphone* com o teclado Caeski, mas esse procedimento é feito apenas uma vez se a pessoa mantiver o *Bluetooth* de seu *smartphone* ativado. Para o pareamento, o teclado Caeski deve ser ligado e o *Bluetooth* do *smartphone* deve ser ativado. A partir deste momento, basta pressionar o ícone com o símbolo *Bluetooth* no aplicativo Caeski e conectar após localizar o nome "Teclado Caeski" no *smartphone*.

Quando o *smartphone* não é emparelhado via *Bluetooth* com o teclado Caeski, as mensagens digitadas via Caeski não são enviadas para o aplicativo. Entretanto, quando ambos digitam via *smartphone* usando o aplicativo Caeski, essas mensagens são enviadas pela internet. Ademais, a partir do momento em que o teclado Caeski é emparelhado e a primeira mensagem é enviada, os ícones dos contatos de ambos aparecerão na aplicação de cada um.

Inicialmente, ao invés do nome, apenas o número de telefone de ambos os contatos aparecerá na tela, mas há a opção de editá-lo por meio do aplicativo para incluir o nome, que pode ser digitado no *smartphone*. Uma foto de perfil também pode ser incluída no *smartphone* da galeria de fotos do celular.

### 3.5 Testes de validação do uso do dispositivo

O protótipo Ziba foi testado por uma amostra de 11 pessoas com surdocegueira. O objetivo foi analisar a experiência do usuário com a proposta do dispositivo e determinar a viabilidade de seu uso para o desenvolvimento do Caeski. Durante a fase de prospecção, foram realizados contatos telefônicos e enviados convites por e-mail para 38 pessoas associadas a duas instituições brasileiras que atendem pessoas com surdocegueira, a Associação Educacional para Múltiplas Deficiências (AHIMSA) localizada na cidade de São Paulo e a Federação Nacional de Educação e Integração dos Surdos (FENEIS) localizada na cidade de Belo Horizonte. Foram convidadas para participar da pesquisa pessoas com mais de 18 anos, alfabetizadas e com tipo desurdocegueira pós-linguística, pois não foram encontradas pessoas com surdocegueira pré-linguística no momento da prospecção.

Após um período de 16 dias, as 38 pessoas responderam e 20 manifestaram interesse em participar. Nos convites, foi detalhado que a pesquisa seria realizada durante o período de 10 dias, duas vezes por semana, durante 5 semanas. A cada dia, os testes seriam realizados por meio de um dispositivo que visa facilitar a comunicação de pessoas com surdocegueira, para isso, esse período seria um treinamento para avaliar a viabilidade de seu uso.

Em um segundo momento, com o apoio de um intérprete, a logística dos testes e o transporte dos participantes foram esclarecidos a essas 20 pessoas. Motoristas particulares treinados os transportaram de suas casas para o Laboratório de Bioengenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (LabBio-UFMG), para garantir a segurança dos participantes. Um total de cinco intérpretes da AHIMSA e da FENEIS estavam disponíveis para os participantes do LabBio-UFMG durante os testes. Após a apresentação do planejamento dos testes, 12 pessoas concordaram em participar nos dias e horários determinados. Entre os voluntários, seis são mulheres e seis são homens. Desses, 67% das mulheres têm ensino médio e o restante, ensino fundamental; 100% dos homens têm ensino fundamental. A idade média é de  $32,75 \pm 4,19$  anos para os homens e  $38 \pm 5,57$  anos para as mulheres.

Este trabalho foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais por meio do Certificado de Apresentação para Apreciação Ética (CAAE) nº 09925612.9.0000.5149. A participação nos testes foi voluntária e todos os indivíduos responderam um questionário de anamnese e assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, contendo informações sobre os procedimentos durante o experimento. O voluntário tinha o direito de participar ou interromper os testes a qualquer momento, de acordo com seu desejo, sem qualquer penalidade. Os indivíduos da amostra possuíam diferentes formas de comunicação, conforme Gráfico 1.

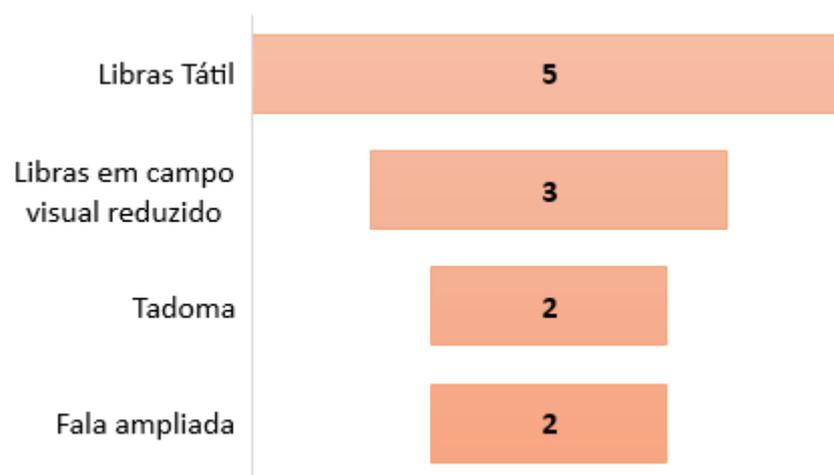


Gráfico 1 - Formas de comunicação da amostra.  
Fonte: Autora.

Os testes foram filmados e fotografados com a permissão dos participantes. Durante o treinamento, o pesquisador que realizou os testes, o intérprete com experiência nas formas de comunicação mencionadas e a pessoa com surdocegueira estiveram presentes no local, conforme indicado na Figura 56.



Figura 56 - Ambiente de teste com a presença do aplicador, da pessoa com surdocegueira e do intérprete.

Fonte: Autora.

Na sala de testes, o pesquisador transmitia as informações ao intérprete, que transmitia a informação para a pessoa com surdocegueira de acordo com sua forma de comunicação. Assim, o participante realizou as atividades e os exercícios solicitados utilizando o teclado e as respostas enviadas foram verificadas pelo aplicador em um *tablet* com a primeira versão do aplicativo. Em casos de mau funcionamento do dispositivo, o participante deveria relatar para que o dispositivo pudesse ser substituído. A distribuição do conteúdo ensinado nos dias de treinamento está na Tabela 4.

Dia 1	Apresentação do dispositivo e a sequência de números correspondentes aos botões 0 a 9. Treinamento as combinações correspondentes ao alfabeto.
Dia 2	Treinamento com palavras de três letras e palavras de duas sílabas com duas letras.
Dia 3	Treinamento com palavras de três sílabas e duas letras.
Dia 4	Treinamento com palavras com três sílabas ou mais, com sílabas com duas letras ou mais.
Dia 5	Treinamento com o uso do modo "acentuação" (modo 1) com exercícios com palavras acentuadas de três letras e de palavras acentuadas de duas sílabas com duas letras.
Dia 6	Treinamento de palavras acentuadas com três sílabas ou mais e com sílabas com duas letras ou mais.
Dia 7	Treinamento com o uso do modo "pontuação" (modo 2) e dos modos "letra maiúscula" (modos 2, 3, 4 e 5).
Dia 8	Treinamento com o uso de "símbolos especiais", "símbolos matemáticos", "delimitadores", "mensagens pré-programadas" e "excluir o último caractere" (modos 6, 7, 8, 9 e 0)
Dia 9	Treinamento com frases.
Dia 10	Exercícios de avaliação.

Tabela 4 - Programação dos dias de treinamento. Fonte: Autora.

Inclusive, foram preparados exercícios para serem feitos em casa. Os participantes receberam uma pasta com as informações em fonte Arial em negrito com tamanho de fonte que atende às particularidades de cada pessoa com surdocegueira. Esses exercícios foram revisados durante o início da sessão subsequente de testes. Para assimilar a digitação dos exercícios, cada participante recebeu, para levar para casa, uma representação do teclado feito de material emborrachado, com fundo preto e teclas amarelas, conforme Figura 57.

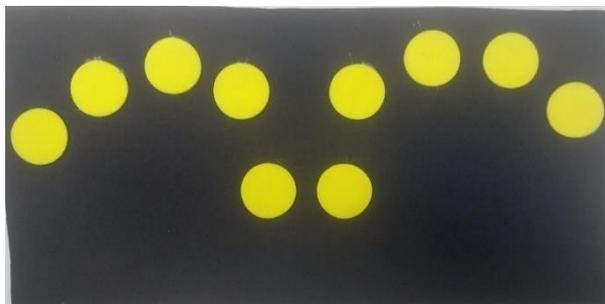


Figura 57 - Modelo em EVA para treinamento dos exercícios para casa.  
Fonte: Autora.

### 3.5.1 Conteúdo dos Exercícios de Avaliação

No décimo dia de treinamento, foi aplicado um questionário intitulado Exercícios de Avaliação referentes aos conteúdos ensinados durante os nove dias de treinamento, o conteúdo consiste em exercícios de digitação e de interpretação da recepção das vibrações. Nos exercícios de emissão, o aplicador transmite as informações ao intérprete, que retransmite as informações para as pessoas com surdocegueira de acordo com sua forma de comunicação. Cabia ao participante digitar as informações e responder se o nível de dificuldade do exercício era fácil, médio ou difícil. Caso houvesse um erro de digitação, o participante poderia repetir os exercícios, sem implicações para o resultado da avaliação.

Nos exercícios de recepção das vibrações, o aplicador utilizou o aplicativo para enviar as informações para o dispositivo. O participante deve prestar atenção à sequência de vibrações enviadas pelo aplicador e responder se foi possível identificar a codificação. Se não foi possível identificá-las, deveria responder apenas a parte que compreendeu e, caso não tenha identificado nenhuma informação, também deveria informar ao aplicador.

Caso a resposta estivesse completamente correta, o aplicador marcou a primeira opção (Sim, de toda a informação), se parcialmente respondida, a segunda opção (Não é possível identificar a vibração de algumas partes) e se a resposta estivesse completamente distorcida em relação à declaração, a terceira opção (Não é possível identificar com base nas vibrações emitidas). A resposta considerada válida para fins de resultado de avaliação foi a primeira resposta dada pelo participante, mesmo se o participante repetisse o exercício novamente.

Deve-se ressaltar que a recepção dos sinais de vibração é alfanumérica, ou seja, o usuário não recebe nenhuma outra informação por vibrações além de números ou letras. Portanto, palavras e frases acentuadas e com pontuação devem ser interpretadas pelo usuário. Essa decisão foi tomada pelos desenvolvedores para evitar o recebimento e a exposição excessiva as vibrações, o que pode ser confuso e prejudicial. No caso da presença de sinais de vírgula e sinais de ponto, foi programado no *software* um intervalo maior entre as vibrações para sinalizá-las. Nesse contexto, os Exercícios de Avaliação

possuem questões com nível progressivo de dificuldade e abrangem o conteúdo ensinado durante os 10 dias de testes, conforme Tabela 5.

<b>Tipo</b>	<b>Exercícios de emissão</b>	<b>Exercícios de recepção</b>
1. Numerais sequenciais	1.1. Digite os numerais de 0 a 9.	1.2. Você receberá vibrações correspondentes aos numerais de 0 a 9.
2. Numerais não sequenciais	2.1. Digite os numerais 8, 1, 5, 0, 6, 9, 4.	2.2. Você receberá vibrações correspondentes a numerais fora de ordem (6, 0, 8, 4, 2, 9).
3. Números com três ou mais dígitos	3.1. Digite os números: 93, 54, 70.	3.2. Você receberá vibrações correspondentes a três números (34, 82, 51).
4. Números com três ou mais dígitos	4.1. Digite os números: 524, 649, 1984.	4.2. Você receberá vibrações correspondentes a três números (426, 287, 4986).
5. Letras sequenciais	5.1. Digite o alfabeto, incluindo a letra "k" após o "j", as letras "w, x, y" após o "v", e a "ç" após o "z".	5.2. Você receberá vibrações correspondentes às letras do alfabeto.
6. Letras não sequenciais	6.1. Digite as letras "s", "g", "x", "w", "l", "p".	6.2. Você receberá vibrações correspondentes a letras de diferentes grupos ("t", "z", "k", "j", "c"). Foi possível identificar a vibração?
7. Sílabas de duas letras	7.1. Digite as sílabas "mi", "fa", "to".	7.2. Você receberá vibrações correspondentes às sílabas ("ra", "gi", "do").
8. Sílabas com duas ou mais letras	8.1. Digite as sílabas "blu", "tri", "nho", "guai".	8.2. Você receberá as vibrações correspondentes às sílabas ("por", "sob", "qua", "trans").
9. Palavras com duas sílabas e duas letras	9.1. Digite as palavras "mesa" e "jogo".	9.2. Você receberá as vibrações correspondentes a duas palavras ("copo", "bala").
10. Palavras com três sílabas e duas letras	10.1. Digite as palavras "janela" e "caneta".	10.2. Você receberá as vibrações correspondentes a duas palavras ("cabelo", "pipoca").
11. Palavras acentuadas	11.1. Digite as palavras "armário" e "lâmpada".	11.2. Você receberá as vibrações correspondentes a duas palavras ("música", "coração").
12. Frase com três palavras e com pontuação	12.1. Digite a frase: "Escolha ser feliz. "	12.2. Você receberá as vibrações correspondentes a uma frase ("Não faça bagunça!").
13. Frase com mais de três palavras e com pontuação	13.1. Digite a frase: "O otimismo é a fê em ação?".	13.2. Você receberá as vibrações correspondentes a uma frase ("Você fez um bom trabalho. ").

Tabela 5. Conteúdo dos Exercícios de Avaliação.

Fonte: Autora.

### 3.6 Análise das vibrações emitidas pelo dispositivo

A vibração é um fenômeno mecânico pelo qual oscilações ocorrem sobre um ponto de equilíbrio, seguindo parâmetros dinâmicos: velocidade ou aceleração e frequência. O termo vibração mão-braço refere-se aos membros superiores como o meio de entrada para vibrações, decorrentes do uso de ferramentas manuais comumente utilizadas na indústria, agricultura, mineração e construção (GRIFFIN, 1996). A síndrome de vibração de mãos e braços é gerada pela exposição prolongada a vibrações em níveis prejudiciais aos membros superiores. A síndrome da vibração tem efeitos circulatórios e neurais adversos nos dedos e os sinais e sintomas incluem dormência, dor e branqueamento. Chamado de síndrome do dedo branco, ou fenômeno de Raynaud (GOLDMAN e SCHAFER, 2012) refere-se a alterações nos vasos sanguíneos ou distúrbios nervosos periféricos com perda de sensação nas extremidades dos dedos. Essas mudanças também podem levar a disfunções musculares e dores.

A vibração pode causar desconforto e danos ao corpo humano, por isso os parâmetros vibracionais devem ser analisados e seus riscos, avaliados. Essa análise é uma parte fundamental do processo de desenvolvimento do produto, afinal, a segurança do produto não pode ser negligenciada. Nesse contexto, buscou-se analisar se a exposição as vibrações emitidas pelos protótipos Ziba e Caeski é segura em relação aos riscos neuro-musculoesqueléticos dos membros superiores.

A Diretiva Europeia “Requisitos mínimos de saúde e segurança relativos à exposição dos trabalhadores aos riscos decorrentes de agentes físicos (Vibração)” (EUROPEAN DIRECTIVE 2002/44/CE, 2012) estabelece o valor de  $2,5 \text{ m/s}^2$  como o valor de ação de exposição (EAV) para vibração de mãos e braços e o valor de  $5,0 \text{ m/s}^2$  como valor limite de exposição (ELV) por um tempo de exposição de 8 horas. O EAV sinaliza que deve-se reduzir os níveis de exposição à vibração e o ELV nunca deve ser extrapolado.

A norma ISO 5349-1 “Vibração mecânica. Medição e avaliação da exposição humana a vibração transmitida - Parte 1: Requisitos Gerais” (ISO 5349-1, 2001) define que o método de medição da exposição aos níveis de vibração transmitidos à mão e ao braço deve ser analisado por aceleração ponderada nos três eixos ortogonais na faixa de um terço de oitava com frequências entre 6,3 Hz e 1.250 Hz.

A vibração é medida por instrumentos conectados a um transdutor de aceleração ou acelerômetro, que devem seguir as especificações das normas: “Resposta humana à vibração - Instrumentação de medição - Parte 1: Medidores de vibração de uso geral” (ISO 8141-1, 2017) e “Vibração mecânica. Medição e avaliação da exposição humana à vibração transmitida pela mão - Parte 2: Orientação prática para medição no local de trabalho” (ISO 5349-2, 2001).

As medições devem ser feitas ao longo dos três eixos de referência ortogonal (x, y, z). Assim, para cada um dos três eixos de referência, o valor efetivo de aceleração ponderada por frequência ( $a_{wx}$ ,  $a_{wy}$ ,  $a_{wz}$ ) é obtido e, a partir destes, o valor total de vibração ( $a_{hv}$ ) é determinado por (1) (ISO, 2001).

$$a_{hv} = \sqrt{(a_{wx})^2 + (a_{wy})^2 + (a_{wz})^2} \quad (1)$$

As abreviaturas das siglas são:

- $a_{hv}$  = valor total de aceleração de vibração medido nas direções x, y e z.
- $a_{wx}$  = valor de aceleração de vibração medido em x-direção na mão.
- $a_{wy}$  = valor de aceleração de vibração medido em direção y na mão.
- $a_{wz}$  = valor de aceleração de vibração medido na direção z na mão.

O acelerômetro triaxial deve ser posicionado com cuidado especial para respeitar a orientação dos eixos de coordenadas. A avaliação da exposição à vibração (ISO, 2001) considera o tempo de exposição diária T, definido como o tempo total em que as mãos são expostas à vibração durante o desempenho de uma atividade, e  $T_0$  se trata do tempo de referência de 8 horas de acordo com (2).

$$A(8) = a_{hv} * \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (2)$$

As abreviaturas e siglas são:

- $A(8)$  = exposição diária de vibração relacionada a um período de 8 horas.
- $T$  = tempo de exposição à vibração da mão e do braço em horas ou minutos.
- $T_0$  = tempo padrão de 8 horas ou 480 minutos.
- $a_{hv}$  = valor total de aceleração de vibração medido nas direções x, y e z, calculado de acordo com (1).

A Dose Diária de Vibração  $A(8)$  é a quantidade total de vibração ponderada pela frequência expressa em termos de uma equivalência de 8 horas de exposições diárias. Todas as acelerações consideradas neste padrão são ponderadas de acordo com a curva de ponderação em função da sensibilidade à resposta manual em diferentes frequências, de acordo com a curva de ponderação nas diferentes frequências presentes no padrão ISO 8041 (ISO 8041,2017).

O Padrão ISO 5349-1 (ISO 5349-1, 2001) estabelece valores diários de exposição à aceleração  $A(8)$  com a estimativa esperada de que 10% das pessoas expostas à vibração da mão e do braço possam desenvolver a síndrome de Raynaud em um determinado número de anos ( $D_y$ ) de acordo com (3).

$$D_y = 31,8 * [A(8)]^{-1,06} \quad (3)$$

A aceleração média é obtida por meio do cálculo do valor efetivo de RMS dos sinais do dedo amostral de cada voluntário. Em seguida, foi calculada a aceleração média resultante dos três eixos ( $a_{wx}$ ,  $a_{wy}$  e  $a_{wz}$ ) e, em seguida, a aceleração resultante da exposição parcial foi calculada pela média das acelerações resultantes. Com essa média, a padronização foi feita para 8 horas obtendo  $A(8)$ , simulando que um voluntário utilize o dispositivo em um ambiente de trabalho exercendo uma função ocupacional durante uma jornada de 8 horas. Com esses dados, buscou-se verificar a duração total da exposição em anos necessários para a ocorrência da síndrome de Raynaud. O *software* IBMSPSS® Statistics foi usado para análise estatística.

Previamente a análise das vibrações, os monofilamentos Semmes-Weinstein, também chamados de estesiômetros, foram utilizados para analisar a integridade da sensibilidade nas extremidades dos dedos. Consiste em um conjunto padronizado de filamentos de nylon, variando em comprimento e diâmetro. Esses filamentos são feitos em várias cores padronizadas de acordo com a espessura, para proporcionar uma escala tátil de percepção de sensibilidade.

Os estesiômetros fornecem uma avaliação não invasiva dos níveis de sensação cutânea no corpo com resultados objetivos e repetitivos (RAMACHANDRAN *et al.*, 2020). Seu uso é indicado em diagnósticos, incluindo síndromes de compressão nervosa, neuropatia periférica, lesões térmicas e reparação do nervo pós-operatório.

O teste de sensibilidade foi realizado como mostrado na figura 58, com o filamento verde, da menor espessura (0,05 gf ou 0,49 mN). Se algum membro da amostra responder que não sente a sensibilidade desse filamento, a análise segue para o filamento azul, de maior espessura (0,2 gf ou 1,96 mN), e assim por diante, para os filamentos violeta (2,0 gf ou 19,6 mN), vermelho (4,0 gf ou 39,2 mN), laranja (10,0 gf ou 98,1 mN) e rosa ou magenta (300 gf ou 2,94 mN) e em caso de nenhuma resposta afirmativa, perda de sensibilidade à pressão profunda, normalmente não podendo sentir dor (SORRI-BAURU, 2023). Por meio dessa análise preliminar, o critério de exclusão para participar do estudo foi a insensibilidade ao filamento verde, ou seja, se houver o relato de não sensibilidade ao filamento verde, o membro da amostra não poderá participar da pesquisa.

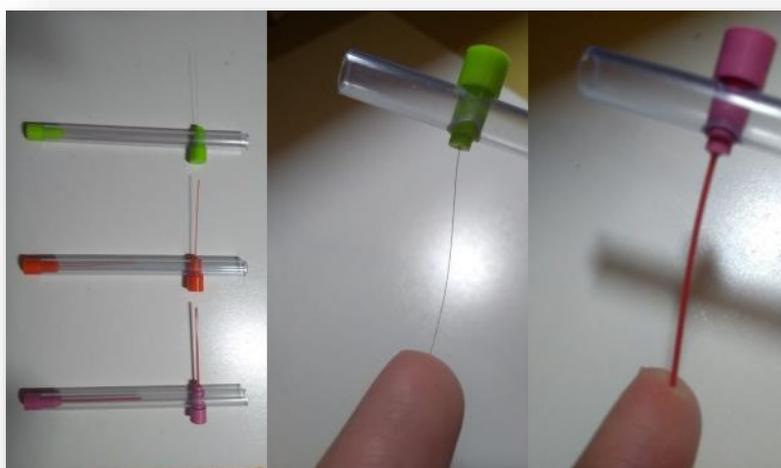


Figura 58 - Avaliação pelos monofilamentos Semmes-Weinstein.  
Fonte: Autora.

A amostra foi composta por sete indivíduos com surdocegueira. Entre os voluntários, três são mulheres e quatro são homens. A idade média é de  $47,75 \pm 4,19$  anos para homens e  $42 \pm 5,57$  anos para mulheres.

Três protótipos Ziba foram testados e foram chamados de protótipos 1, 2 e 3. Os testes foram realizados ao longo de seis dias, dois dias para cada protótipo totalizando 60 medições por voluntário sendo seis medições para cada dedo, totalizando 420 medições.

Em cada dedo, sucessivamente, foi fixado um acelerômetro triaxial e a medição das vibrações emitidas foi coletada durante por um período de um minuto, tempo mínimo necessário para coletar dados confiáveis para os cálculos analíticos das vibrações. A figura 59 mostra a instrumentação usada em um dos voluntários da amostra.



Figura 59 - Posicionamento do acelerômetro triaxial para a medição das vibrações.

Fonte: Autora.

Os equipamentos utilizados foram um acelerômetro cúbico triaxial portátil modelo Delta Tron 4524-B-001 da fabricante Brüel & Kjær e um analisador de sinal dinâmico Phothon II da fabricante LDS-Dactron, ambos com certificados de calibração devidamente atualizados. Para a sistematização dos dados, foi utilizado um notebook Dell Latitude E6430 I5 8gb 320gb HD Notebook com o *software* IBM SPSS Statistics.

### 3.7 Medidas antropométricas das mãos

Com o objetivo de criar critérios de projeto que contemplem o conforto durante o manuseio e a ergonomia das interfaces teclado e *joystick* Caeski, foram realizadas medidas antropométricas das mãos de adultos e de crianças. Para o dimensionamento do tamanho dos botões e do dispositivo, foram consideradas nove medidas, visando a abrangência do alcance dos dedos nas teclas, tanto por parte de crianças com menores medidas antropométricas, quanto por parte de adultos com maiores medidas antropométricas.

A amostra foi composta por 105 adultos com idade mínima de 18 anos e máxima de 93 anos, sendo 50 do gênero masculino e 55 do gênero feminino. Com relação às crianças, uma amostra de 104 crianças com idade mínima de 5 anos e máxima de 11 anos, sendo 51 do gênero masculino e 53 do gênero feminino.

Todos os participantes da pesquisa e os responsáveis pelas crianças assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (COEP-UFMG), sob o registro CAAE: 09925612.9.0000.5149.

Segundo Silva Neto (2018), o paquímetro é um instrumento de medição que apresenta larga aplicação na medição em geral devido a sua versatilidade e precisão. Portanto, o paquímetro é um instrumento que pode ser usado para medir distâncias de pequenos objetos ou estruturas anatômicas como as medidas das mãos, a partir da determinação de referências de medição. Nesse estudo, as medições das mãos foram realizadas com um paquímetro digital de 300 mm/12” Absolute, da marca Mitutoyo. Os dados foram convertidos em centímetros durante a sistematização dos dados.

As referências de medição foram estabelecidas conforme figura 60, localizadas nas extremidades de cada dedo; nas bases dos dedos (sulcos nas regiões das dobras das articulações) das falanges proximais de cada dedo. No caso do primeiro dedo (polegar), foram demarcadas duas referências, anterior e lateralmente na região da articulação metacarpofalangeana. Além disso, no segundo e no quinto dedos, nas cabeças dos ossos do metacarpo. Outra referência foi demarcada medialmente na linha do punho, na região do osso semilunar do carpo.

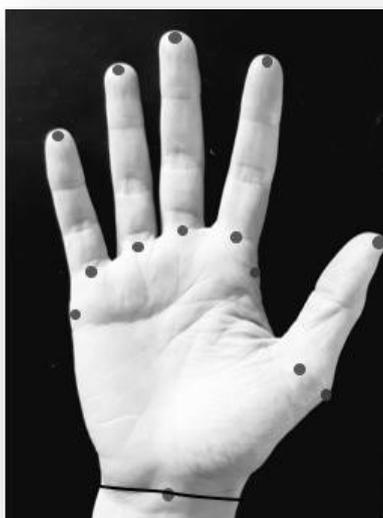


Figura 60 - Referências fixas para posicionamento das pontas do paquímetro nas mãos.  
Fonte: Autora

Foram medidas nove referências na mão esquerda (indicadas com a letra E) e, simetricamente, nove referências na mão direita (indicadas com a letra D). A ordem das medidas encontra-se indicadas na figura 61. Estas referências foram baseadas nos estudos de Paschoarelli (2010).

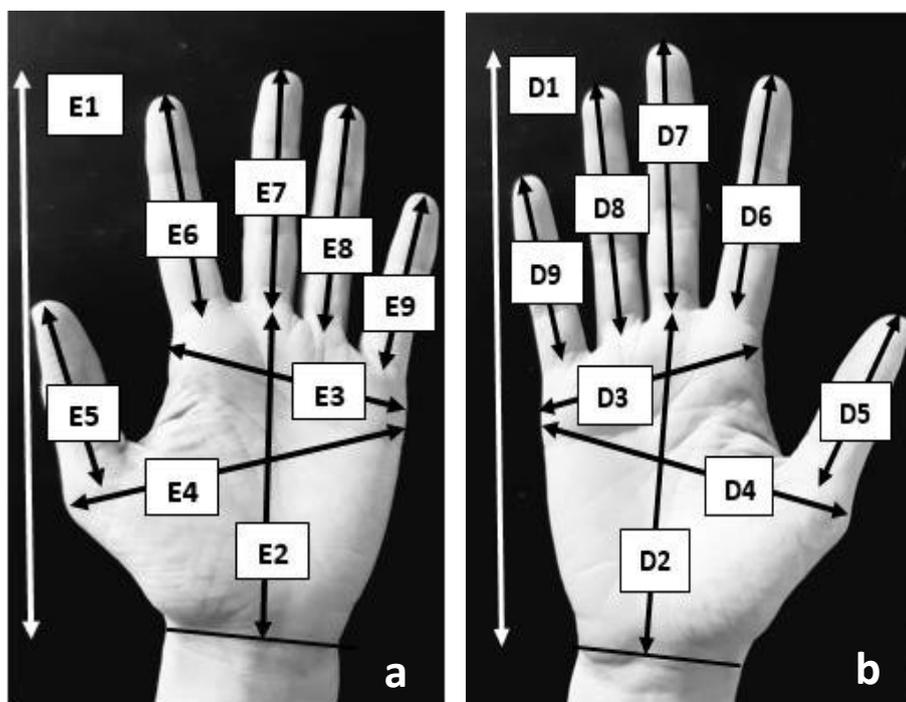


Figura 61 - Referências das medidas antropométricas da mão esquerda (a) e da mão direita (b) realizadas com paquímetro em cada indivíduo da amostra.

Fonte: Autora.

As referências anatômicas de cada medida são:

- E1/D1 - Comprimento da mão (comprimento do dedo médio + comprimento da palma): Parte medial do punho, na região do osso semilunar a ponta do dedo médio;
- E2/D2 - Comprimento da palma: Parte medial do punho, na região do osso semilunar ao sulco na base do dedo médio;
- E3/D3 - Largura da mão: Parte média das articulações metacarpofalangeanas;
- E4/D4 - Largura da palma: Parte média da articulação metacarpofalangeana do quinto dedo a protuberância da articulação metacarpofalangeana do polegar;
- E5/D5 - Comprimento do polegar: Ponta do dedo polegar (desconsiderando a unha) ao sulco da base do dedo polegar (articulação metacarpofalangeana do polegar);
- E6/D6 - Comprimento do dedo indicador: Ponta do dedo indicador (desconsiderando a unha) até o sulco da base do dedo indicador (articulação metacarpofalangeana do dedo indicador);
- E7/D7 - Comprimento do dedo médio: Ponta do dedo médio (desconsiderando a unha) até o sulco da base do dedo médio (articulação metacarpofalangeana do dedo médio);
- E8/D8 - Comprimento do dedo anelar: Ponta do dedo anelar (desconsiderando a unha) até o sulco da base do dedo anelar (articulação metacarpofalangeana do dedo anelar);
- E9/D9 - Comprimento do dedo mínimo: Ponta do dedo mínimo (desconsiderando a unha) até o sulco da base do dedo mínimo (articulação metacarpofalangeana do dedo mínimo).

Após a coleta dos dados, as medidas de cada dedo das amostras das crianças e dos adultos passaram pelo teste de normalidade de Shapiro-Wilk, com a utilização do *software* Action (ACTION STAT PRO, 2021). Comprovando a possibilidade da análise paramétrica, pode-se determinar as medidas médias com os respectivos desvios-padrão e intervalos de confiança como parâmetro para a definição do tamanho dos botões do dispositivo abrangendo, inclusive, as medidas da mão mínima e da mão máxima. Tais resultados serão apresentados neste trabalho.

### 3.8 O desenvolvimento do aplicativo Caeski

Para o desenvolvimento do aplicativo, foi utilizada uma plataforma do Google de desenvolvimento de aplicativos denominada Firebase (KHAWAS E SHAH, 2018). Para inserir as funções do aplicativo, foi utilizada a linguagem de programação Java. Algumas funções foram implementadas utilizando como base em um código simplificado do Whatsapp (TAKENAKA, 2019) mas as funções: criar uma conta, lista de contatos, encontrar os contatos, bloquear contatos, lista de contatos bloqueados, hora nas mensagens e layout das mesmas mensagens foram desenvolvidas integralmente pela equipe. Inclusive, os programadores da equipe desenvolveram as conexões de Bluetooth e a resposta com o teclado realizando diversas simulações no Firebase e na programação do *firmware* dos componentes eletrônicos, feita na plataforma open-source Arduino Software (IDE), nesse caso, em linguagem C. Devido a particularidades das funções da programação, o aplicativo Caeski funciona apenas em smartphones em versões iguais ou acima do Android 11. O aplicativo não foi testado com uma amostra de usuários com surdocegueira devido a necessidade da utilização dos protótipos e a impossibilidade de transportá-los, principalmente durante o período da pandemia de Covid-19.

### 3.9 O emprego da gamificação no Caeski

Desenvolver um *game* para pessoas com surdocegueira possui duplo objetivo: inserir essas pessoas no contexto digital por meio de um *game* projetado para esse público e transformar os Exercícios de Avaliação - utilizados neste trabalho com uma amostra de 11 pessoas - em um jogo no qual o próprio usuário possa realizar a sua auto-aprendizagem de maneira leve e divertida.

Alguns participantes da amostra, ao serem comunicados de que haveria uma avaliação no último dia de testes, se mostraram apreensivos e se sentiram cobrados pelo seu desempenho, como se estivessem diante de uma prova final; apesar de ter sido enfatizado que tais exercícios não possuíam caráter avaliativo individual. Com o *game*, o sentimento de auto-cobrança poderá ser atenuado, pois não haverá a figura do intérprete e do avaliador, ou seja, o usuário poderá jogar seu jogo com privacidade, repetindo os exercícios sem ser observado e com o único objetivo de avançar as fases do jogo, no seu tempo.

A primeira etapa para a ideação de um *game* está relacionada a criação de um *storytelling*. No caso, do *game* Caeski pensou-se na temática da caverna escura com uma luz no fim do túnel e caberá ao jogador avançar as fases do jogo e adquirir moedas para sair da caverna. A ambientação, conforme figura 62 possui tons escurecidos para que os elementos do jogo sejam destacados em alto contraste.

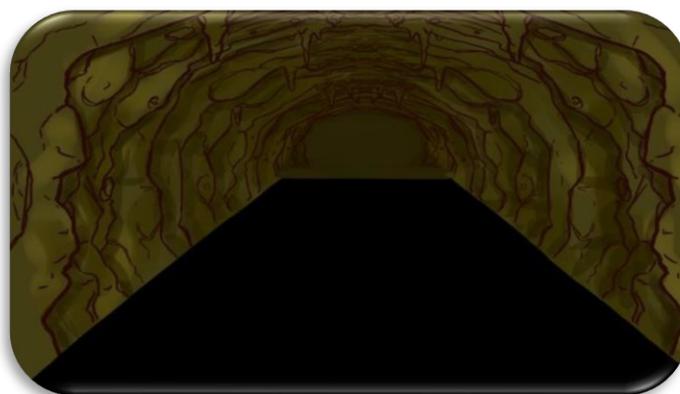


Figura 62 - Ambientação da caverna.  
Fonte: Autora

Posteriormente, foram estabelecidos objetivos claros e foram pensados os elementos do jogo. Todos os jogos possuem uma progressão quantificada e um prêmio, pois estes fatores motivam o jogador a superar as barreiras progressivas impostas pelo jogo. A cada exercício cumprido, o usuário ganhará um ponto e esta pontuação estará indicada na tela. Além disso, ao vencer as fases, o usuário adquirirá uma moeda e essa moeda conquistada aparecerá na tela. Ademais, o jogador poderá reiniciar o jogo a qualquer momento e realizar quantas tentativas desejar. O nível de dificuldade aumenta quando os números das teclas são ocultados e a velocidade se acelera, tais parâmetros podem ser regulados na tela do *game*.

Desta forma, será possível atender aos requisitos estruturais de um *game* para os jogadores com perfil empreendedor e explorador. No entanto, não atenderá os perfis socializadores e matadores, pois o ranking de pontos não estará disponível para outros jogadores uma vez que não haverá competição entre jogadores. No caso, a filosofia do *game* Caeski é a auto-superação e o auto-aprendizado, independente do tempo demandado e do número de tentativas. No seu tempo, cada jogador poderá aprender, com calma e com autonomia de escolha da melhor opção para si, progredindo no seu ritmo e quando se sentir pronto.

### 3.9.1 Testes com o game Caeski

O *game* foi testado com uma amostra de 17 pessoas com surdocegueira durante o mês de março de 2021 de maneira remota, em decorrência da pandemia de Covid-19. O *software* do *game* foi enviado por e-mail e cabia a cada participante realizar o *download* e jogar o *game* utilizando o teclado de seus computadores ao invés da interface Caeski. Para tal, foram utilizadas as teclas de 1 a 0 do teclado dos seus computadores pessoais, bem como as teclas Espaço e Enter. Após jogar o *game*, cabia aos participantes responder a um formulário do tipo Google Forms, enviado por e-mail. Para a realização destes testes, foi necessário recorrer ao auxílio de uma pessoa conhecida do participante, que foi orientada pela autora deste estudo durante reuniões *on-line*.

Para o Questionário de Avaliação do *Game* Caeski, foram formuladas as seguintes perguntas:

1. Qual o seu nome completo?
2. Qual a sua idade?
3. Você possui:
  - a. Baixa visão e baixa audição
  - b. Baixa visão e surdez total
  - c. Cegueira total e baixa audição
  - d. Cegueira total e surdez total
4. Em uma escala de 1 a 5, qual a sua opinião sobre as cores e a visualização do jogo?  
Escala: 1 - Muito inadequado, 2 - Inadequado, 3 - Neutro, 4 - Adequado, 5 - Muito adequado.
5. Em uma escala de 1 a 5, qual a sua opinião sobre a organização das informações na tela?  
Escala: 1 - Muito inadequado, 2 - Inadequado, 3 - Neutro, 4 - Adequado, 5 - Muito adequado.
6. Em uma escala de escala de 1 a 5, sendo 1 muito difícil e 5 muito fácil, o que você achou do nível de dificuldade do jogo?  
Escala: 1 - Muito difícil, 2 - Difícil, 3 - Neutro, 4 - Fácil, 5 - Muito fácil.
7. Depois que você entendeu o jogo, você acha que consegue utilizá-lo sozinho? Sim ou não?

Neste contexto, foram avaliados três aspectos do *game*: cores e visualização do jogo por usuários de baixa visão, nível de satisfação com a organização dos elementos e das informações e a opinião sobre o nível de dificuldade. Além disso, uma característica marcante do *game* Caeski é a autonomia do usuário com o *game*, por esse motivo, foi perguntado se foi possível que o usuário surdocego jogasse o jogo de forma independente. Coletar tais informações possui o intuito de balizar os primeiros aperfeiçoamentos no *game* Caeski, uma vez que esta é a primeira versão do jogo.

Os presentes testes possuíram limitações devido a pandemia, pois o *game* foi jogado sem a utilização do Caeski e foi considerada apenas a resposta do usuário que se encontrava à distância, não sendo possível realizar uma avaliação mais acurada do processo de interação com o *game*. Por esses motivos, são necessários estudos mais detalhados para obter resultados mais robustos.

Inicialmente, foi utilizada a plataforma Android Studio para o desenvolvimento do *game* versão desktop, enviada por e-mail para os participantes da amostra. Para esse formato a programação foi realizada na linguagem Java. Entretanto, em sua versão final, o *game* foi transferido para a plataforma Unity, que possui maior variedade de ferramentas específicas para o desenvolvimento de games, além do fato de o arquivo do jogo ser mais leve e compatível com dispositivos Android e IOS. No caso do *game* Unity, a programação foi realizada na linguagem C#.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, serão explicitados os resultados decorrentes dos testes de validação do dispositivo, das análises das vibrações emitidas, os resultados das medidas antropométricas das mãos e os resultados dos testes com o *game* Caeski.

### 4.1 Resultados dos testes de validação do uso do dispositivo

Durante o desenvolvimento dos testes, houve uma desistência no quarto dia de treinamento devido à indisponibilidade para dar continuidade a participação. A forma de comunicação do participante era a Libras em campo visual reduzido. Portanto, 11 pessoas fizeram o treinamento completo e os Exercícios de Avaliação.

Os exercícios dos tipos 1 a 4 correspondem à emissão e a recepção dos números. Verificou-se que 100% da amostra classificou como fácil os exercícios para a emissão de números. Por outro lado, na recepção das vibrações correspondentes aos números, um indivíduo respondeu "Não é possível identificar a vibração de algumas partes das informações" para as questões 1.2 (Você receberá vibrações correspondentes aos numerais de 0 a 9), 2.2 (Você receberá vibrações correspondentes a numerais fora de ordem (6,0,8,4,2,9)) e 3.2 (Você receberá vibrações correspondentes a três números (34, 82, 51)). Para a pergunta 4.2 (Você receberá vibrações correspondentes a três números (426, 287, 4986)), dois entrevistados responderam: "Não é possível identificar a vibração de algumas partes das informações" e deve-se notar que esse exercício envolve um maior número de dígitos.

Nos exercícios envolvendo letras, um indivíduo classificou o exercício 5.1 (Digite o alfabeto, incluindo a letra "k" após o "j", as letras "w, x, y" após o "v", e a "ç" após o "z") como nível médio de dificuldade, esse número aumentou para três indivíduos nos exercícios 6.1 (Digite as letras "s", "g", "x", "w", "l", "p") e quatro indivíduos no exercício 8.1 (Digite as sílabas "blu", "tri", "nho", "guai"). Os exercícios 6.1 e 8.1 envolvem, respectivamente, a emissão não sequencial de letras e sílabas com mais de duas letras, ou seja, com um número maior de caracteres. Para o exercício 7.1 (Digite as sílabas "mi", "fa", "to"), que envolve sílabas de duas letras, todos classificaram o exercício como fácil.

Quanto à recepção de exercícios relacionados a letras de alfabeto em sequência, um indivíduo relatou "Não identificar a vibração de algumas letras" no exercício 5.2 (Você receberá vibrações correspondentes às letras do alfabeto). Quanto ao exercício 6.2 (Você receberá vibrações correspondentes a letras de diferentes grupos ("t", "z", "k", "j", "c")). Foi possível identificar a vibração?), relacionado ao recebimento de letras não sequenciais, todos os participantes responderam "Não foi possível identificar a vibração de algumas letras". No exercício 7.2 (Você receberá vibrações correspondentes às sílabas ("ra", "gi", "do")), relacionado à recepção de sílabas de duas letras, duas pessoas responderam que era possível identificar completamente as vibrações das sílabas enviadas.

Nesse contexto, a maioria dos entrevistados considerou compreensível os exercícios de emissão e recepção dos números. Por outro lado, nos exercícios de letras, houve maior facilidade na realização dos exercícios envolvendo sílabas de duas letras (exercício 7.1) do que os exercícios de letras não sequenciais (exercício 6.1) e exercícios envolvendo sílabas de mais de duas letras. A facilidade de fazer exercício 7.1 se deve ao treinamento prévio e ao aprendizado com exercício 6.1, mas a complexidade aumentou no exercício 8.1, o que gerou relatos de dificuldade média. Portanto, considerando as dificuldades que a aprendizagem do código encerra, o treinamento deve ser planejado cuidadosamente e dimensionado para que as pessoas possam tornar-se proficientes no seu uso

No exercício 8.2 (Você receberá as vibrações correspondentes às sílabas ("por", "sob", "qua", "trans")), relacionado à recepção de sílabas de três e cinco letras, como no exercício 6.2, relacionado a recepção de letras de diferentes grupos, todos os participantes responderam "Não foi possível identificar a vibração de algumas letras".

Nos exercícios que envolvem digitação de palavras, para a emissão de palavras com sílabas de duas letras, todos os participantes consideraram o exercício 9.1 fácil (Digite as palavras "mesa" e "jogo"). No entanto, para o exercício 10.1 (Digite as palavras "janela" e "caneta"), de emissão de palavras com três sílabas de duas letras, dois entrevistados consideraram o exercício como de dificuldade média. No caso do exercício 11.1 (Digite as palavras "armário" e "lâmpada") de emissão de palavras acentuadas, dois entrevistados o classificaram como nível de dificuldade médio e três o consideraram difícil.

Na recepção de palavras, a maioria dos participantes relatou dificuldade. No exercício 9.2 (Você receberá as vibrações correspondentes a duas palavras ("copo", "bala")), que envolve o recebimento de palavras com sílabas de duas letras, seis pessoas relataram que "não identificam a vibração de algumas palavras" e uma pessoa não identificou as palavras. No exercício 10.2 (gráfico 2), que envolve receber palavras com três sílabas de duas letras, o número de pessoas que respondeu "Não foi possível identificar algumas palavras pelas vibrações recebidas" aumentou para 9 pessoas, mas nenhuma pessoa respondeu que não foi possível identificar as palavras.



Gráfico 2 - Resultados de um exercício de recepção com palavras com três sílabas com duas letras.  
Fonte: Autora

No exercício 11.2, com recepção de palavras acentuadas e de três sílabas, a maioria respondeu que "Não foi possível identificar as vibrações de algumas palavras" e duas pessoas não conseguiram identificar as palavras, segundo gráfico 3.

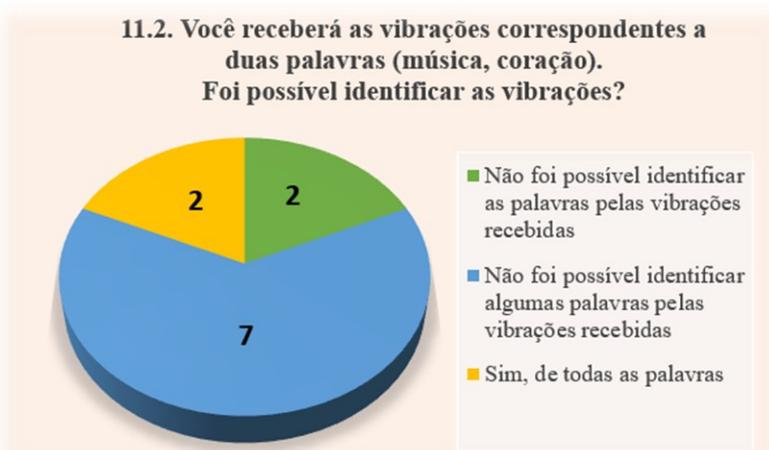


Gráfico 3 - Resultados do exercício de recepção de palavras acentuadas de três sílabas.  
Fonte: Autora.

Estas evidências demonstram a necessidade de maior ênfase e tempo de treinamento para a recepção de letras fora de sequência e para sílabas de mais de duas letras. Além disso, há necessidade de focar no treinamento da emissão e recepção de palavras de três sílabas com duas letras, especialmente palavras acentuadas.

Com relação aos exercícios que envolvem frases, no exercício 12.1 (Digite a frase: "Escolha ser feliz.") que envolve a emissão de uma sentença com três palavras, três pessoas responderam que o exercício tem dificuldade média e uma pessoa considerou difícil. O número de pessoas que a classificaram como dificuldade média aumentou para seis indivíduos para o exercício 13.1, que envolve a emissão de uma frase com mais de três palavras e com palavras acentuadas (gráfico 4).

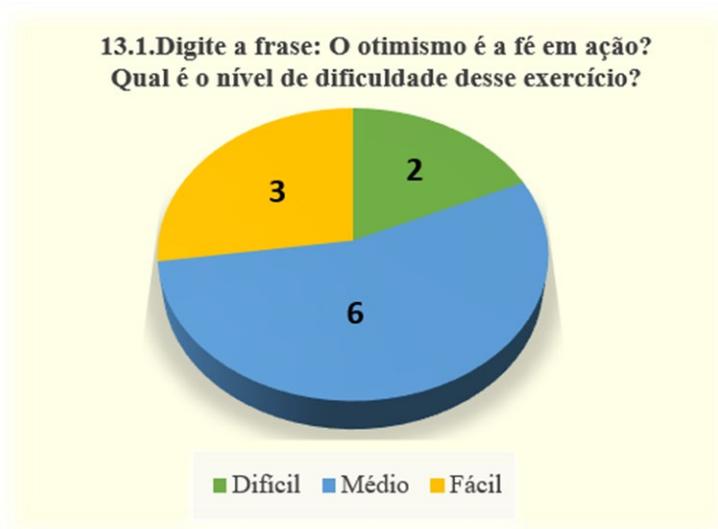


Gráfico 4 - Resultados do exercício de emissão de uma frase com mais de três palavras e com palavras acentuadas.

Fonte: Autora.

No exercício 12.2, no que diz respeito a recepção de uma frase com três palavras, a maioria relatou que "Não foi possível identificar as vibrações de algumas partes da frase" e uma pessoa respondeu que não era possível entender a sentença, segundo gráfico 5.



Gráfico 5 - Resultados de um exercício de redação de uma frase com três palavras e com pontuação.  
Fonte: Autora.

No exercício 13.2, que envolve a recepção de uma sentença com mais de três palavras, a maioria respondeu que "Não foi possível identificar as vibrações de algumas partes da frase", mas o número de pessoas que relatou não entender a sentença aumentou para duas pessoas, segundo gráfico 6.

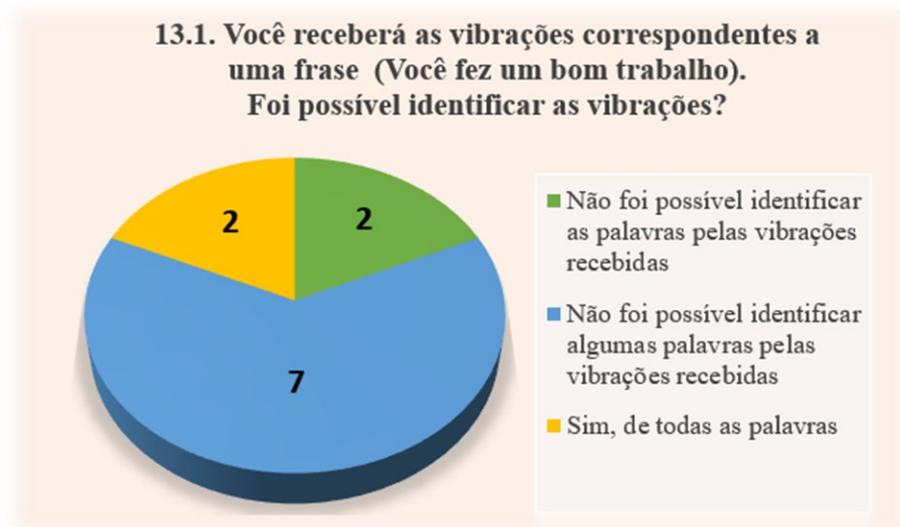


Gráfico 6 - Resultados do exercício de recepção de uma frase com mais de três palavras e com pontuação.  
Fonte: Autora.

Desta forma, com relação à emissão de frases, os resultados mostram a necessidade de focar o treinamento em frases longas com palavras acentuadas. Na recepção das frases, a maioria respondeu que era "Não é possível identificar a vibração de algumas palavras", o que demonstra a necessidade de maior ênfase nos treinamentos de recepção. Esses resultados demonstram a importância de implementar no Caeski a funcionalidade de repetir a frase que não foi compreendida em um primeiro momento. Baseado nesses resultados, a função repetir a última frase foi inserida no dispositivo, basta digitar a tecla Espaço juntamente com a tecla Enter. Ou seja, pressionando essas teclas e liberando-as juntas, a última frase enviada será repetida.

Outro fator a ser considerado seria o tempo de treinamento, foram nove dias de treinamento para compreender e exercitar toda a codificação Caeski, sendo que o último dia foi utilizado para testar os conhecimentos obtidos. Considerando as particularidades da aprendizagem individual, alguns indivíduos aprendem mais lentamente do que outros. Por isso, se tivessem mais tempo de contato com Caeski, provavelmente responderiam às perguntas com maior assertividade. Portanto, novos estudos com Caeski devem ser realizados com maior tamanho amostral e maior tempo de treinamento.

Por outro lado, os resultados mostraram que a maioria dos participantes foi capaz de compreender a codificação Caeski sem maiores dificuldades, o que demonstra a viabilidade de seu uso. Ao contrário de um participante, os outros dez participantes que completaram o treinamento relataram que usariam Caeski e que este é um dispositivo muito importante para o dia a dia da pessoa com surdocegueira.

Nesse contexto, houve uma pessoa na amostra que relatou maior dificuldade na realização dos exercícios. Em todas as respostas em que foi relatada dificuldade na emissão ou que não foi possível decodificar algumas ou todas as vibrações da recepção, foi identificada a resposta deste mesmo indivíduo. Essa pessoa possui 52 anos, estudou até o oitavo ano e relatou ter interrompido os estudos há mais de 25 anos. Além disso, não possui celular e não usa computador. Para pessoas com esse perfil, que não estudam há muito tempo e não têm contato com tecnologias, pode ser mais difícil, a princípio, utilizar o Caeski. Entretanto, apesar de esse indivíduo ter relatado que não usaria Caeski em seu cotidiano, reconhece sua importância, especialmente para os mais jovens.

## 4.2 Resultados das análises das vibrações

Todos os voluntários apresentaram sensibilidade normal na região da polpa dos dedos, ou seja, todos relataram sensibilidade ao filamento verde (0,05g). O estímulo foi realizado em todos os dedos de forma aleatória e o voluntário teve que responder qual dedo estava sendo sensibilizado com os olhos fechados, uma vez que a amostra apresenta diferentes níveis de cegueira.

Para verificar os níveis de vibração que os usuários estariam expostos, a Eq. (1) foi utilizada para obter o valor total de aceleração de vibração medido nas direções x, y e z. Com esse valor, a Eq. (2) foi usada para calcular o tempo de Dose Diária de Vibração A(8) para cada dedo do voluntário. A ordem de numeração dos dedos segue a sequência: o número 1 é o dedo mínimo da mão esquerda, e assim por diante até o dedo 5, que corresponde ao polegar da mão esquerda; o dedo 6 corresponde ao polegar da mão direita, e assim por diante até o dedo 0, que corresponde ao dedo mínimo da mão direita.

A estimativa esperada de que 10% das pessoas expostas à vibração de mãos e braços possam desenvolver a síndrome de Raynaud em um determinado número de anos foi calculada usando a equação (3). O resultado para cada dedo de cada voluntário usando os três protótipos está exposto no gráfico 7.

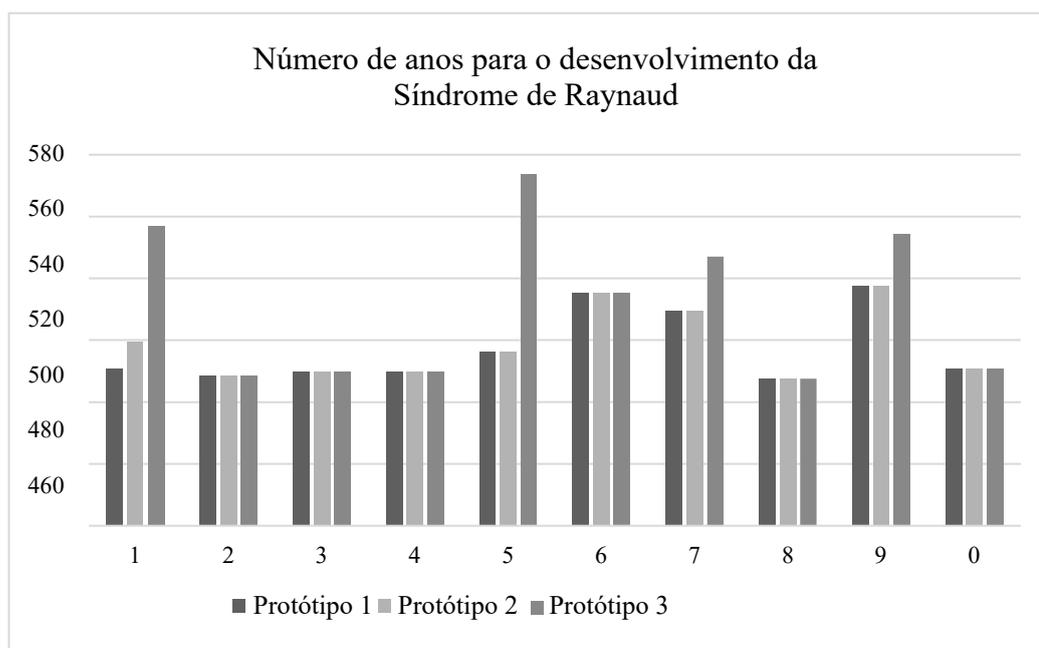


Gráfico 7 - Exposição em anos para adquirir a síndrome de Raynaud.

Fonte: Autora.

O dispositivo é seguro para uso diário, em outras palavras, para 10% das pessoas desenvolver alguma disfunção decorrente das vibrações emitidas pelo dispositivo são necessários mais de 500 anos, ou seja, cerca de 7,5 vezes a expectativa de vida mundial, para ambos os sexos. Em todas as situações, os dados estão dentro dos limites aceitáveis estabelecidos pelos padrões normativos e a probabilidade do aparecimento da síndrome de Raynaud foi maior do que a expectativa de vida relatada nas Estatísticas Mundiais de Saúde 2021 (WHO, 2019), onde, com base nos recentes riscos de mortalidade devido à pandemia COVID-19, os homens viverão em média 70.9 anos e as mulheres, 75.9 anos.

A vibração de mãos e braços é a segunda maior causa de disfunções decorrentes de vibração no corpo humano, sendo o primeiro a exposição à vibração do corpo inteiro. Enquanto a vibração transmitida ao corpo em pé ou sentado aumenta problemas de natureza geral, como desconforto, náusea e redução da eficiência do trabalho, a vibração aplicada à mão pode, além disso, produzir danos físicos localizados devido aos altos níveis de exposição. Os níveis de vibração encontrados em muitas ferramentas e dispositivos vibratórios de mão podem ser altos o suficiente para causar danos quando operados por longos períodos, incluindo distúrbios musculoesqueléticos de ombro e pescoço (CHARLES *et al.*, 2018).

O desenvolvimento da síndrome de Raynaud é aproximadamente cinco vezes mais comum em mulheres do que em homens e essa síndrome é tão grave que, em alguns casos, os indivíduos precisam deixar o emprego ou a profissão e não conseguem realizar suas atividades (CHETTER, KENT e KESTER, 1998).

A exposição cumulativa à vibração manual considerando os parâmetros magnitude de vibração, duração da exposição ao longo da vida e frequência de vibração pode desencadear o desenvolvimento da síndrome de Raynaud (HOUSE *et al.*, 2014). É importante manter níveis controlados de exposição a vibração para evitar danos neurológicos nas mãos, sugere-se, inclusive, que há uma relação dose-resposta entre exposição à vibração e dormência das mãos (EDLUND *et al.*, 2017). Em um estudo sueco, identificou-se que 21% dos funcionários de uma indústria mecânica apresentavam sintomas relacionados à exposição à vibração de mãos e braços. Além disso, foram identificados casos associados de síndrome do túnel do carpo (VIHLBORG *et al.*, 2015).

A exposição à vibração de mãos e braços em função da concentração, intensidade e tempo de exposição de dispositivos portáteis pode causar danos à saúde se não estiver dentro dos critérios de exposição segura descritos na ISO 5349-1: 2001 (ISO,2001) e Diretiva Europeia 2002/44 / CE (EUROPEAN DIRECTIVE, 2002).

Devido ao risco físico evidenciado na literatura especializada decorrente da exposição à vibração nos membros superiores, as vibrações emitidas pelo protótipo Ziba foram analisadas e possui níveis aceitáveis de acordo com as principais normas internacionais aplicáveis.

Portanto, pelas razões mencionadas, é importante considerar a nocividade de um dispositivo portátil que produz vibração desde a sua fase de prototipagem e medir os níveis de vibração. O protótipo Ziba, assim como o Caeski, podem ser utilizados com segurança em relação aos níveis de vibração emitidos por seus motores. Ressalta-se que foram utilizados os mesmos motores e a mesma estrutura de botões tanto para os protótipos Ziba, quanto para o Caeski.

#### 4.3 Resultados do desenvolvimento do circuito eletrônico

Como desdobramento das documentações realizadas durante o desenvolvimento do circuito eletrônico, foram elaboradas duas monografias de graduação decorrentes desse trabalho. A monografia “Eletrônica aplicada a um dispositivo de comunicação para surdocegos” (REZENDE, 2019) trata detalhadamente de todas as etapas de desenvolvimento do circuito eletrônico. O desenho em 3D da placa de circuito está detalhado na figura 63.

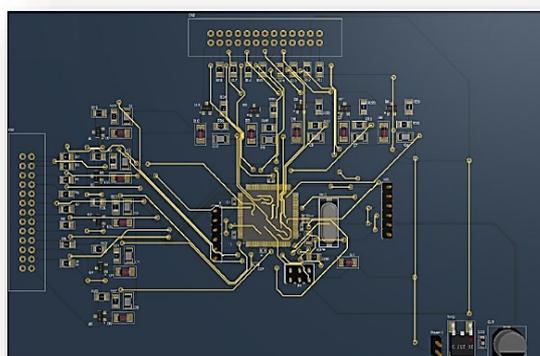


Figura 63. Representação da placa de circuito eletrônico do Caeski.  
Fonte: REZENDE, 2019

A monografia “Desenvolvimento de funcionalidades para o protótipo de um dispositivo de comunicação para surdocegos” (ARANHA, 2019) focou na programação do *firmware*, etapa necessária para a transmissão de informações no Caeski, conforme figura 64.

```
if (aux_enter == 1)
{
  aux_enter = 0;
  mensagem[contador] = '\0';
  contador = 0;
  Serial.print (mensagem);
  Serial.print ("\n");
  bluetooth.println(mensagem);
}

if (aux_apaga == 1)
{
  aux_apaga = 0;
  if (contador > 0)
  {
    mensagem[contador-1] = '\0';

    contador = contador-1;
  }
}
```

Figura 64. Trecho da programação do *firmware*. Fonte: ARANHA, 2019

#### 4.4 Resultados das medidas antropométricas das mãos e desenvolvimento do projeto dos protótipos

Após o teste de Shapiro-Wilk, foi comprovado que os dados possuem padrão de distribuição normal, conforme tabela 6. O valor W do teste de Shapiro Wilk comprova estatisticamente se uma amostra aleatória provém de uma distribuição normal, ou seja, quanto mais o valor de W se aproxima 1,0; maior a probabilidade de os dados apresentarem distribuição normal. No caso dos dados coletados, todos os valores W se aproximaram de 1,0. Além disso, os p-valores calculados são maiores que 0,05, eliminando a possibilidade da hipótese nula ( $H_0$ ), em que um valor  $p < 0,05$  demonstra que os dados não possuem distribuição normal.

ADULTOS			CRIANÇAS		
	Shapiro-Wilk (W)	p-valor		Shapiro-Wilk (W)	p-valor
<b>Mão esquerda</b>			<b>Mão esquerda</b>		
<b>E1</b>	0,987	0,436	<b>E1</b>	0,985	0,312
<b>E2</b>	0,988	0,485	<b>E2</b>	0,986	0,368
<b>E3</b>	0,992	0,823	<b>E3</b>	0,981	0,153
<b>E4</b>	0,987	0,427	<b>E4</b>	0,988	0,504
<b>E5</b>	0,983	0,203	<b>E5</b>	0,989	0,567
<b>E6</b>	0,992	0,777	<b>E6</b>	0,982	0,160
<b>E7</b>	0,981	0,136	<b>E7</b>	0,985	0,279
<b>E8</b>	0,982	0,161	<b>E8</b>	0,987	0,410
<b>E9</b>	0,986	0,358	<b>E9</b>	0,982	0,167
<b>Mão direita</b>			<b>Mão direita</b>		
<b>D1</b>	0,988	0,457	<b>D1</b>	0,979	0,099
<b>D2</b>	0,994	0,906	<b>D2</b>	0,978	0,082
<b>D3</b>	0,987	0,417	<b>D3</b>	0,984	0,230
<b>D4</b>	0,991	0,722	<b>D4</b>	0,981	0,142
<b>D5</b>	0,995	0,976	<b>D5</b>	0,990	0,634
<b>D6</b>	0,990	0,631	<b>D6</b>	0,983	0,210
<b>D7</b>	0,992	0,766	<b>D7</b>	0,980	0,125
<b>D8</b>	0,985	0,272	<b>D8</b>	0,986	0,338
<b>D9</b>	0,992	0,774	<b>D9</b>	0,981	0,145

Tabela 6 - Valores obtidos através da sistematização dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk.  
Fonte: Action Stat (2021)

Com a comprovação da distribuição normal dos dados, foi determinada a média, o desvio-padrão e o intervalo de confiança dos dados de cada dedo, conforme tabela 7. Foi utilizado um intervalo de confiança de 95% de forma a estimar a margem de incerteza.

ADULTOS							CRIANÇAS						
	Medida mínima	Medida média	Medida máxima	Desvio-padrão	Intervalo de confiança ( $\alpha=95\%$ )			Medida mínima	Medida média	Medida máxima	Desvio-padrão	Intervalo de confiança ( $\alpha=95\%$ )	
					Mínimo	Máximo						Mínimo	Máximo
<b>Mão esquerda</b>							<b>Mão esquerda</b>						
<b>E1</b>	12,17	17,76	21,13	1,71	17,44	18,09	<b>E1</b>	11,53	14,60	17,92	1,49	14,31	14,89
<b>E2</b>	8,80	10,39	12,37	0,78	10,24	10,54	<b>E2</b>	6,98	8,36	11,02	0,99	8,17	8,55
<b>E3</b>	6,41	8,15	9,90	0,66	8,02	8,27	<b>E3</b>	5,57	6,70	8,49	0,61	6,58	6,81
<b>E4</b>	8,33	10,52	12,86	0,99	10,33	10,71	<b>E4</b>	6,27	8,33	10,36	0,90	8,15	8,50
<b>E5</b>	4,90	5,89	7,61	0,48	5,80	5,98	<b>E5</b>	3,71	4,88	7,87	0,70	4,74	5,01
<b>E6</b>	5,42	7,01	8,32	0,54	6,91	7,12	<b>E6</b>	4,24	5,71	7,42	0,74	5,57	5,86
<b>E7</b>	6,56	7,68	8,88	0,57	7,57	7,79	<b>E7</b>	4,72	6,18	7,95	0,78	6,03	6,33
<b>E8</b>	5,94	7,06	8,23	0,54	6,96	7,17	<b>E8</b>	4,49	5,64	7,61	0,68	5,51	5,77
<b>E9</b>	4,98	6,46	6,83	0,76	6,31	6,60	<b>E9</b>	3,62	4,87	6,56	0,69	4,74	5,00
<b>Mão direita</b>							<b>Mão direita</b>						
<b>D1</b>	13,00	17,82	20,89	1,56	17,52	18,12	<b>D1</b>	11,52	14,53	17,76	1,55	14,23	14,83
<b>D2</b>	8,66	10,37	12,49	0,76	10,22	10,51	<b>D2</b>	6,63	8,31	10,34	0,90	8,14	8,49
<b>D3</b>	6,89	8,17	9,85	0,63	8,05	8,29	<b>D3</b>	5,66	6,79	8,36	0,59	6,68	6,91
<b>D4</b>	8,47	10,54	13,40	0,97	10,36	10,73	<b>D4</b>	6,84	8,24	10,67	0,95	8,06	8,43
<b>D5</b>	4,95	6,53	8,24	0,65	6,41	6,65	<b>D5</b>	3,93	4,86	6,39	0,66	4,73	4,99
<b>D6</b>	5,92	7,14	8,34	0,54	7,04	7,24	<b>D6</b>	4,16	5,63	7,18	0,67	5,50	5,76
<b>D7</b>	4,60	7,67	8,98	0,67	7,55	7,80	<b>D7</b>	5,16	6,20	7,86	0,74	6,06	6,34
<b>D8</b>	5,80	7,01	8,29	0,54	6,91	7,11	<b>D8</b>	4,55	5,71	7,41	0,78	5,56	5,86
<b>D9</b>	4,77	5,76	7,18	0,45	5,68	5,85	<b>D9</b>	3,64	4,84	6,24	0,67	4,71	4,97

Tabela 7 - Medidas mínimas, médias e máximas das mãos da amostra de adultos e crianças, com os respectivos desvios-padrão e intervalos de confiança.

Fonte: Autora.

Com os valores estabelecidos, foram projetados os protótipos teclado e *joystick* de acordo com as medidas coletadas. No software Solidworks®, foi desenhada a placa de circuito e alguns componentes eletrônicos como a placa dos botões com os *push-buttons* para dimensionar adequadamente o local de acomodação de tais componentes, os desenhos do projeto estão apresentados na figura 65.

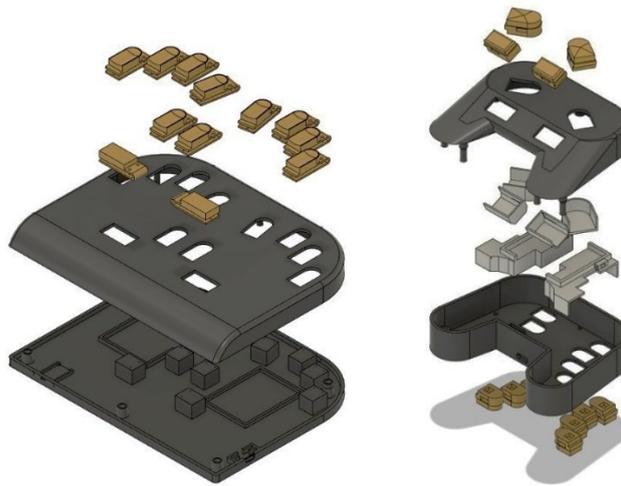


Figura 65. Projetos do teclado e do *joystick*.

Fonte: Autora.

Após a impressão dos protótipos, foram identificados os indivíduos da amostra que possuem as mãos com medidas mínimas e máximas e os indivíduos que apresentam as medidas antropométricas mais próximas dos valores das médias encontradas, um indivíduo adulto com a mão média da amostra de adultos e um indivíduo com a mão média entre a amostra de crianças. Estas pessoas foram chamadas novamente para posicionar suas mãos sobre o teclado para verificar se era possível alcançar e pressionar confortavelmente os botões do protótipo, bem como sentir as vibrações dos botões, conforme a figura 66. Os valores encontrados das medidas médias dos adultos se aproximam dos valores mensurados por Paschoarelli (2007).

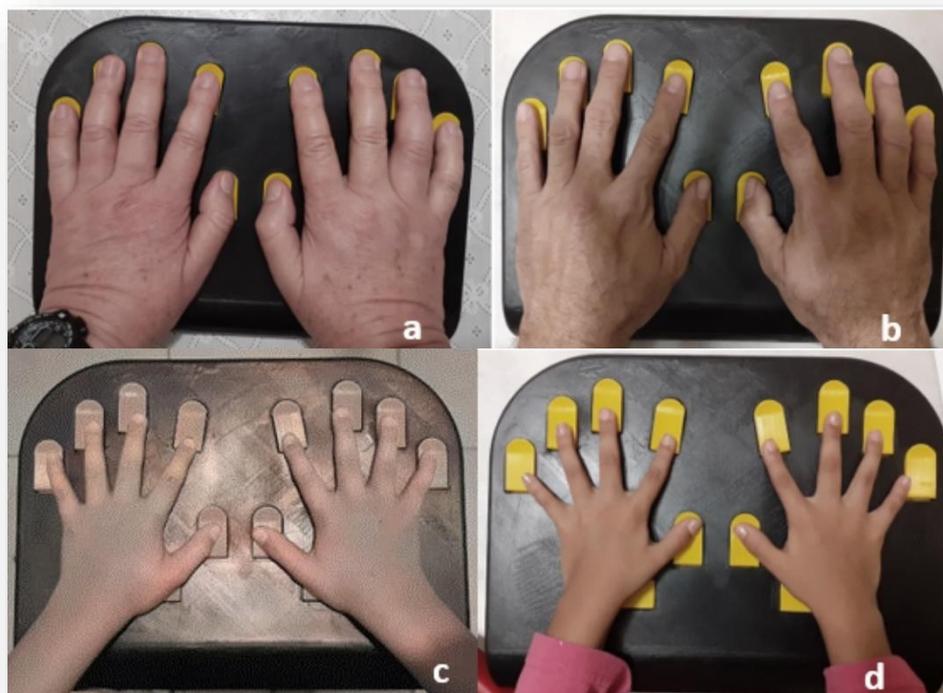


Figura 66 - Mãos da amostra analisadas da amostra que correspondem as medidas:  
(a) máxima adulto, (b) média adulto, (c) média criança e (d) mínima criança.  
Fonte: Autora.

O indivíduo da amostra que possui as medidas antropométricas máximas relatou não ter tido dificuldade para pressionar os botões e sentir as vibrações. O posicionamento das mãos e dos dedos se apresentou satisfatório. Da mesma forma, os indivíduos adulto e criança da amostra que possuem medidas antropométricas bem próximas aos valores de média calculados também relataram não ter tido dificuldade para pressionar os botões e sentir as vibrações, sendo o teclado confortável para ambos. É importante ressaltar que os botões foram projetados de tal forma que podem ser pressionados em qualquer ponto que possuem a mesma maleabilidade, conforme a figura 67. Devido a configuração do projeto do botão, independentemente do local onde o botão é pressionado, é demandada a aplicação da mesma força na extremidade superior, no caso de mãos maiores, ou na extremidade inferior, no caso de mãos menores.

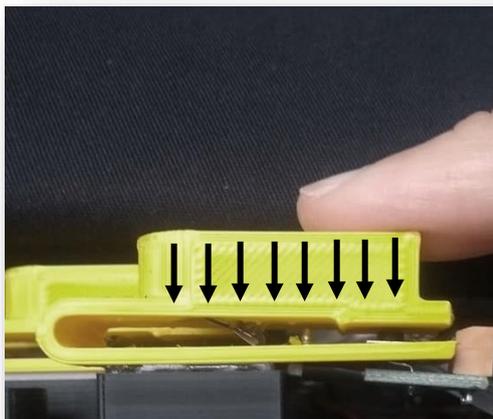


Figura 67 – Botões do Caeski.  
Fonte: Autora.

Por outro lado, o indivíduo criança da amostra que possui medidas antropométricas mínimas relatou ser necessário esticar ao máximo os dedos para alcançar os botões e teve dificuldade para pressioná-los, mas foi possível sentir as vibrações dos botões apenas pelo fato de ter conseguido tocar minimamente a parte inferior dos botões. Desta forma o protótipo não apresenta medidas adequadas para crianças que possuem mãos nessas medidas mínimas ou menores.

Ademais, o protótipo utilizado no presente estudo foi dimensionado de forma a adequar a parte eletrônica. Entretanto, o espaço ocupado pela eletrônica deve ser revisado para que se possa fazer um protótipo de tamanho menor, ou seja, uma versão para crianças. Ajustar o tamanho através do prolongamento do comprimento dos botões não é suficiente, uma vez que os dedos da criança permanecerão muito esticados, o que gera desconforto para pressionar os botões.

#### 4.5 Resultados do desenvolvimento do aplicativo Caeski

O primeiro requisito para a instalação do aplicativo Caeski é possuir um *smartphone* com sistema operacional Android em versão 11 ou superior. Atualmente, é necessário acessar um link enviado por Whatsapp, mas, futuramente, pretende-se disponibilizar o aplicativo na Play Store.

Após a instalação do aplicativo, o usuário terá acesso a uma página de cadastro, conforme figura 68, na qual deve-se preencher o nome, e-mail e senha. Além disso, deve-se marcar a opção “não sou surdocego” para que o aplicativo funcione sem a necessidade de pareamento via Bluetooth com o teclado ou *joystick*, desta forma, o aplicativo funcionará da mesma forma que o Whatsapp via internet e uma pessoa não surdocega poderá conversar com outra pessoa não surdocega ou com uma pessoa com surdocegueira com o aplicativo pareado com o dispositivo Caeski.

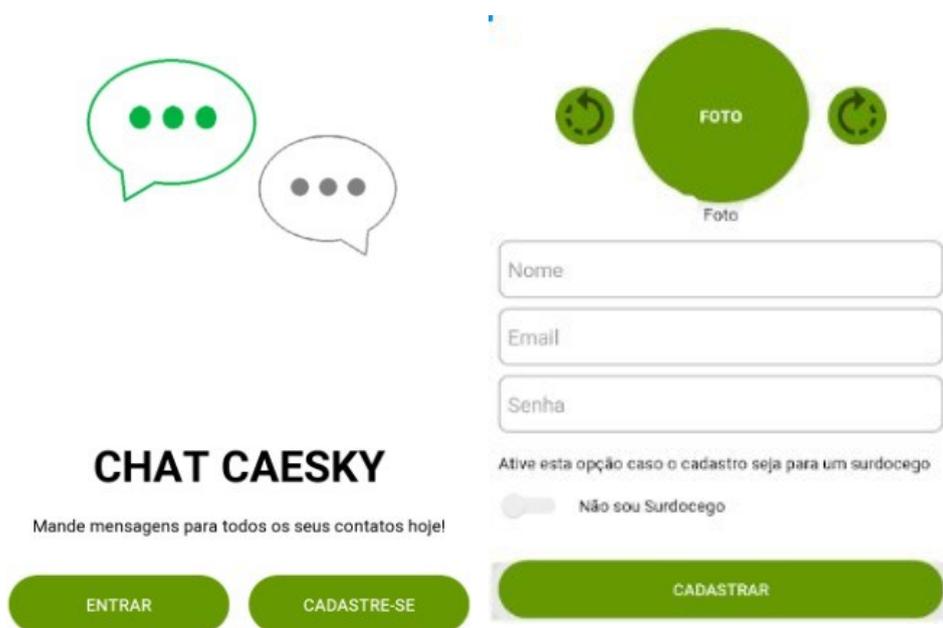


Figura 68 - Página inicial e página de cadastro do aplicativo Caeski.  
Fonte: Autora.

Após o cadastro, na tela de perfil mostrado na figura 69, as informações aparecerão com o nome digitado, a foto inserida e a opção “sou surdocego” ou “não sou surdocego” que poderá ser alterada conforme necessário.

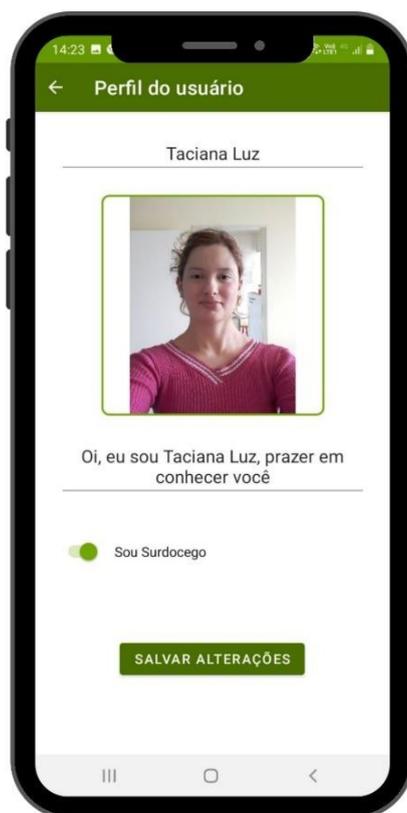


Figura 69 - Página de perfil do usuário cadastrado.  
Fonte: Autora.

Caso o usuário tenha optado pela opção “não sou surdocego”, a seguinte tela inicial e página de chat aparecerá na tela, conforme figura 70. Os contatos cadastrados que entrarem em contato primeiramente, aparecerão na tela inicial do aplicativo e o diálogo poderá ser estabelecido. Para encontrar um contato e iniciar um diálogo, há a lista de todos os contatos que foram previamente cadastrados no aplicativo, esta poderá ser acessada ao clicar no ícone circulado em vermelho.

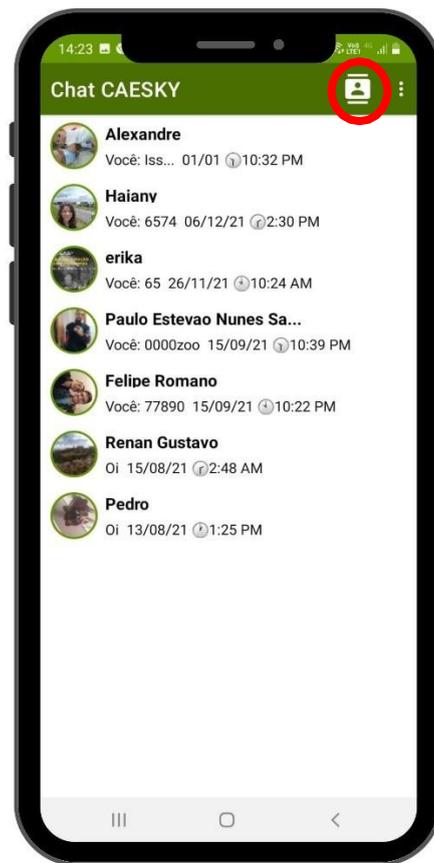


Figura 70 - Tela inicial da página de chat do usuário não surdocego.  
Fonte: Autora.

Depois de clicar no ícone indicado na figura 70, deve-se clicar no ícone circulado em vermelho na figura 71 para adicionar novos contatos. Todos os contatos que fizeram cadastro no aplicativo aparecerão e, logo, basta digitar o nome do contato desejado no ícone de busca e localizá-lo e para adicionar, deve-se clicar no ícone com símbolo de “mais” à direita, conforme figura 72.

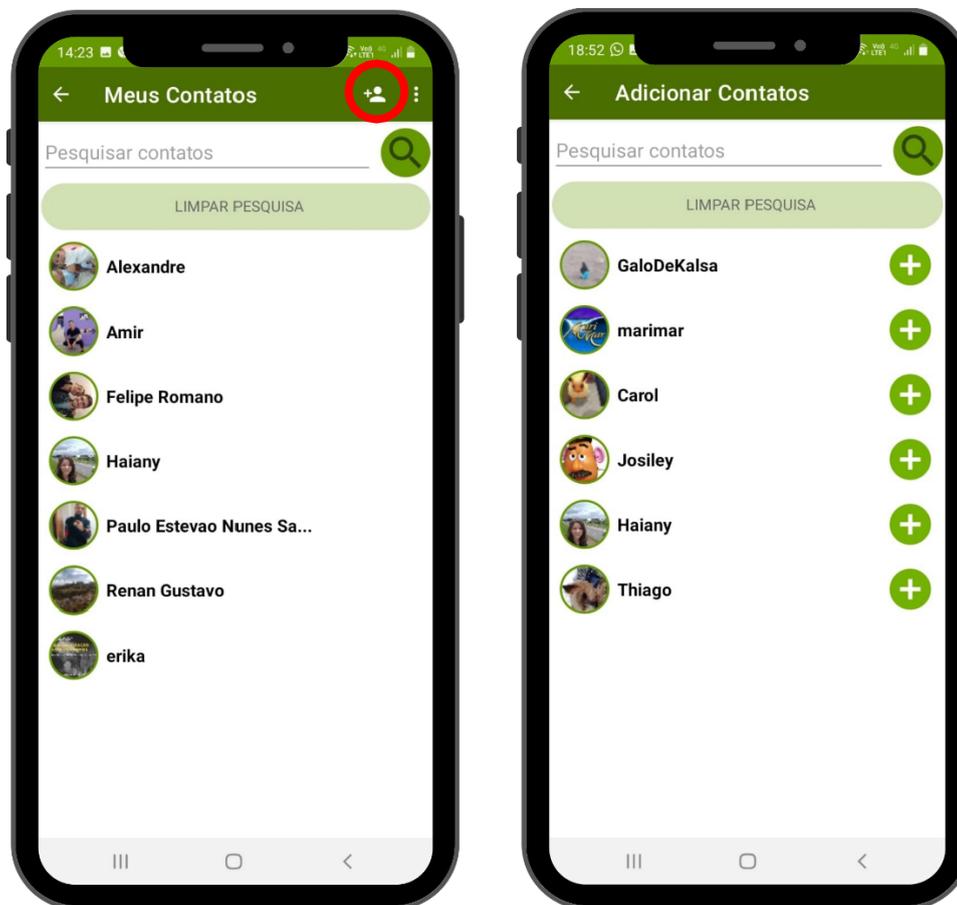


Figura 71 - Botão e página para adicionar contatos cadastrados.  
Fonte: Autora.

A página de chat poderá ser acessada a partir do momento em que for clicado no nome do contato com o qual se deseja estabelecer um diálogo, conforme figura 72 a seguir. No entanto, o contato poderá ser bloqueado ou as mensagens poderão ser apagadas ao clicar nos três pontos no canto superior direito, as opções estão indicadas em vermelho.

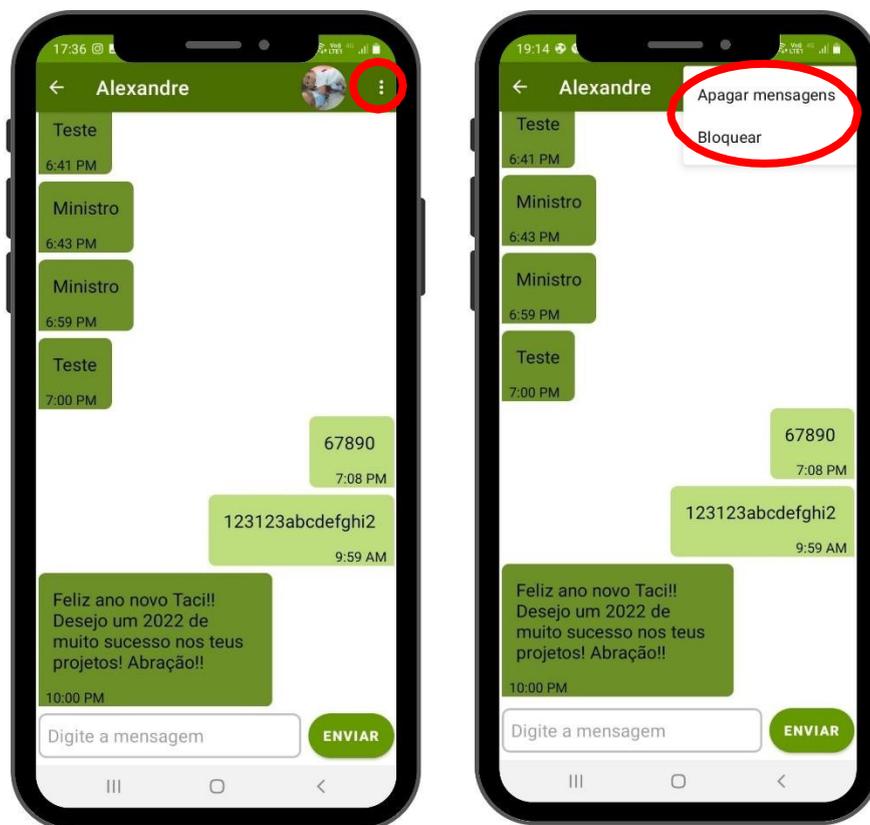


Figura 72 - Página de chat de um contato e opções de “apagar mensagens” e “bloquear”.  
Fonte: Autora.

Para os usuários que marcaram a opção “sou surdocego”, a interface aparecerá em alto contraste, com fundo preto e letras em amarelo e em maior tamanho de fonte. Além disso, será mandatório o pareamento com um dispositivo Caeski via Bluetooth para que a digitação ocorra via dispositivo, conforme figura 73. Para pareamento dos Bluetooth, deve-se clicar nos três pontos localizado no canto superior direito e localizar o dispositivo clicando em “Conectar”.



Figura 73 - Tela inicial da página de *chat* do usuário não surdocego e página de conexão do *Bluetooth*.

Fonte: Autora.

Desta forma, é possível a comunicação sem fronteiras entre uma pessoa com surdocegueira, de posse de seu dispositivo Caeski e aplicativo pareado em seu *smartphone* com outra pessoa com surdocegueira que poderá estar em qualquer lugar do mundo com seu dispositivo e aplicativo pareado, pois a comunicação entre os aplicativos de ambos os interlocutores ocorre via internet. De forma similar, caso seja um interlocutor não surdocego, basta ter apenas o aplicativo, podendo estar localizado em qualquer outra localidade, que é possível entrar em contato com uma pessoa com surdocegueira pelo aplicativo Caeski.

## 4.6 Resultados do desenvolvimento do *game* Caeski

Nesta seção, serão subdivididos os resultados relativos aos elementos estruturantes, concebidos para o *game* Caeski e os resultados das respostas dos questionários a partir do teste remoto, com uma amostra de 17 pessoas com surdocegueira.

### 4.6.1

### *Os elementos do game Caeski*

O jogo foi desenvolvido em três fases. A primeira fase, referente ao aprendizado dos números; a segunda fase, ao aprendizado das letras e a terceira fase, ao aprendizado dos símbolos. No menu principal, há as opções de sair do jogo ou de reiniciá-lo, no caso da reinicialização, todo o histórico jogado é zerado. Pelo menu, é possível selecionar para realizar apenas os jogos dos números, ou das letras, ou dos símbolos, conforme figura 74.



Figura 74 - Menu inicial do *game* Caeski, com indicação dos símbolos dos botões “Sair do jogo” e “Reiniciar o jogo”.  
Fonte: Autora.

Ao final de cada fase, uma animação mostra que o usuário está se aproximando da saída da caverna, além de receber uma moeda como recompensa. As moedas recebidas aparecem na tela das fases subsequentes. A pontuação de 1 ponto pelo cumprimento de cada exercício também é indicada no canto superior direito da tela (figura 75).



Figura 75 - Tela do *game* com indicação das moedas e da pontuação.

Fonte: Autora

Após a finalização da fase 2, referente as letras, há os chamados exercícios de força para o treino progressivo de palavras, inicia-se com a palavra “sal” e finaliza-se com a palavra “montanha” (figura 76). A sequência dos exercícios de palavras desta fase é: sal, lata, bola, mala, colher, boneca, caneta e montanha.

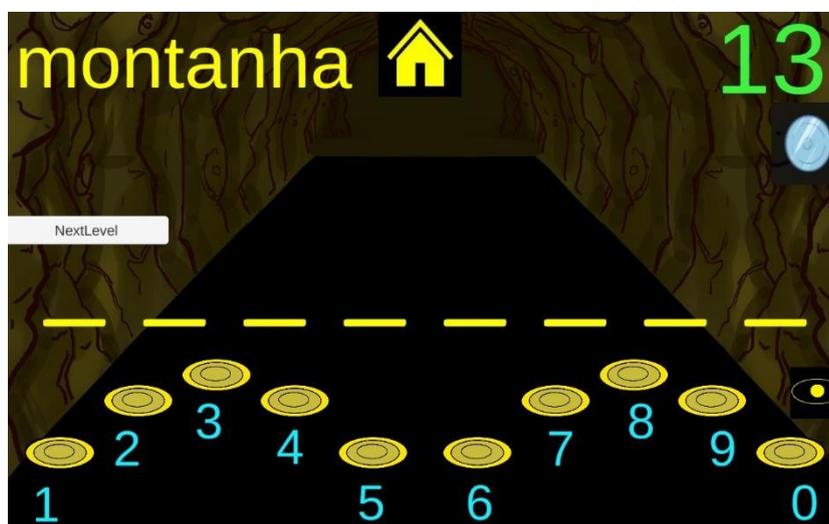


Figura 76 - Exercício de força para o treino de palavras com letras minúsculas, sem acentos e outros símbolos.

Fonte: Autora.

Na fase 3, para o treino de cada modo, há explicação prévia do número do botão do modo que deve ser mantido pressionado por 3 segundos para ser ativado, e os botões correspondentes a cada símbolo, conforme figura 77.

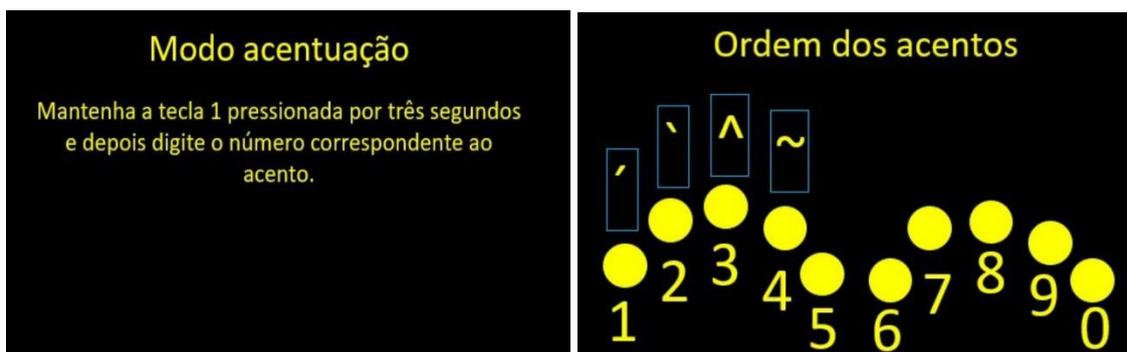


Figura 77 - Explicação sobre a ativação do modo acentuação e apresentação de seus respectivos símbolos.  
Fonte: Autora.

Para indicar a ativação do modo, a tecla de modo ativada emite sinais em amarelo, conforme figura 78. A partir desse momento, é possível escolher o símbolo desejado e, em seguida, digitar a letra a ser acentuada.



Figura 78 - Sinal de ativação do modo acentuação.  
Fonte: Autora

Após o treino dos símbolos, há exercícios de força com o uso de símbolos para treinamento, conforme figura 79. Para cada modo, há exercícios aplicados para o treino do emprego do modo.

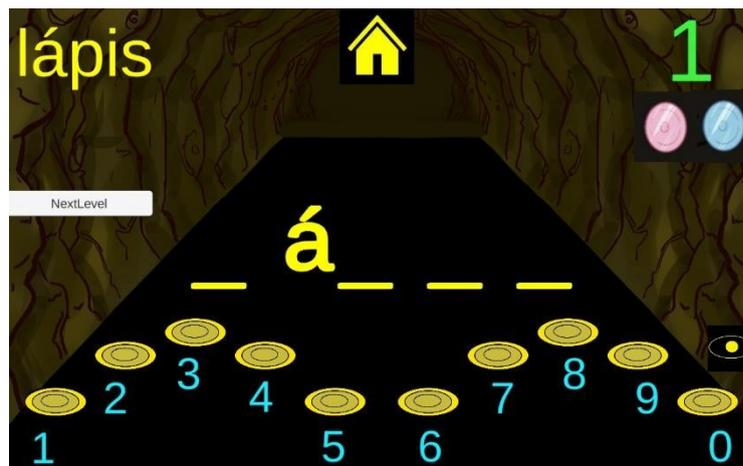


Figura 79 - Exercício de forca com palavra acentuada para treino do modo acentuação.  
Fonte: Autora.

Com o objetivo de desafiar o jogador que concluiu o *game* e treinar sua memória e agilidade, foram incluídas duas progressões: A função aumentar a velocidade do jogoe a função de ocultar os números abaixo dos símbolos dos botões dos teclados, conforme figura 80.



Figura 80 - Progressões do *game*: botões de ajuste da velocidade e botão ocultar números das teclas.  
Fonte: Autora

Para as pessoas que apresentam surdocegueira total e não conseguem visualizara tela do *game*, foi desenvolvido um material tátil em alto relevo com o conteúdo do *game*, conforme figura 81. Desta forma, esses indivíduos poderão jogar tateando esse material e jogando no teclado ou *joystick* Caeski, pois a resposta de acerto e erro ocorre na forma de vibrações. Todo o dispositivo vibra uma vez em caso de acerto e duas vezes em caso de erro, indicando que a realização do exercício deve ser repetida.



Figura 81 - Encadernação feita em alto-relevo em EVA com o conteúdo do *game*, para utilização de pessoas que possuem surdocegueira total.

Fonte: Autora.

#### 4.6.2 Resultados do questionário de avaliação do *game*

Para testar o *game*, uma amostra de 17 pessoas com surdocegueira participou da pesquisa e respondeu ao Questionário de Avaliação do *Game* Caeski. Dentre esses indivíduos, 12 são do gênero feminino e 5 são do gênero masculino, com idades que variam de 24 a 64 anos, sendo a maioria dos indivíduos com idades entre 30 e 40 anos. Com relação ao grau de surdocegueira, 9 indivíduos possuem baixa visão e surdez total e 8 indivíduos, baixa visão e baixa audição, ou seja, o total da amostra possui baixa visão, o que permitiu a visualização da tela do *game*. Portanto, o *game* não foi testado por uma pessoa que possui surdez total e cegueira total. Com relação aos resultados relativos à avaliação do *game*, mais da metade da amostra (11 pessoas) classificou as cores e a visualização do jogo como extremamente adequada, conforme o gráfico 8.



Gráfico 8 – Resultados da avaliação das cores e visualização do jogo.  
Fonte: Autora.

No que se refere ao fato de as informações estarem claras e organizadas na tela, a maioria (10 pessoas) respondeu estar extremamente adequado, conforme gráfico 9. No entanto, pode-se considerar uma melhor organização das informações no *game*, como uma barra de menu na lateral ou na parte superior da tela.

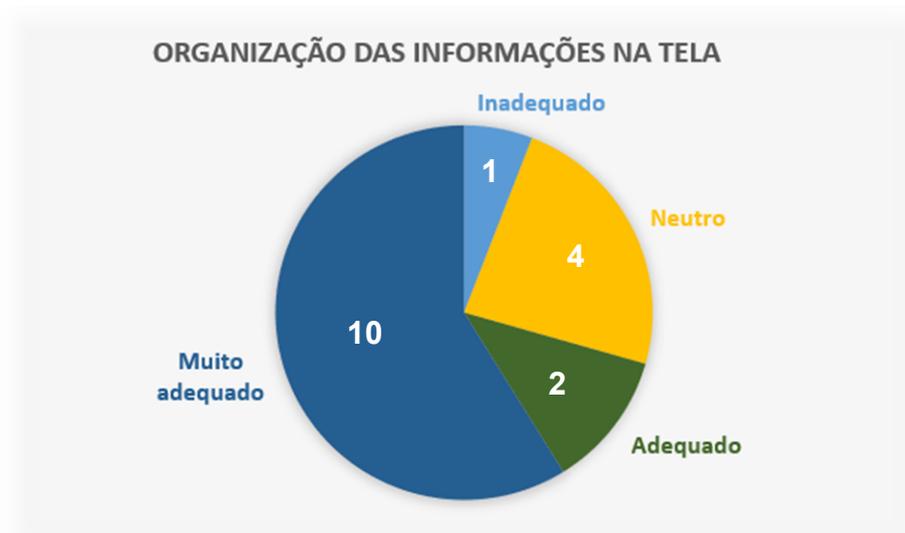


Gráfico 9 – Resultados da avaliação da organização das informações na tela do jogo.  
Fonte: Autora.

Sobre o nível de dificuldade do jogo (gráfico 10), uma pessoa o classificou como impossível de jogar, 6 pessoas classificaram atribuíram notas intermediárias e 10 pessoas o classificaram como extremamente fácil. Tais variabilidades demonstram a necessidade de analisar as progressões dos níveis de dificuldade do *game* para que possa atender as pessoas com maior dificuldade.

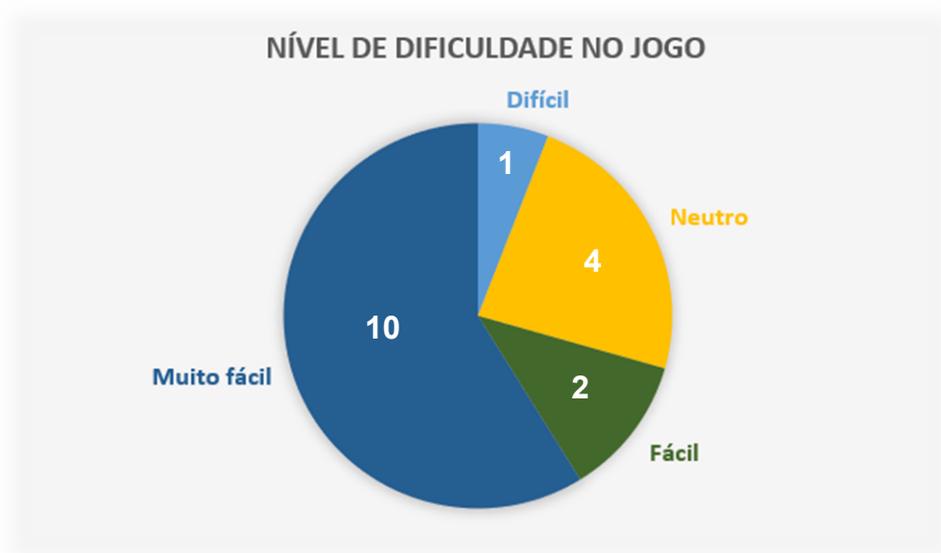


Gráfico 10 – Resultados da avaliação do nível de dificuldade do jogo.  
Fonte: Autora.

Na última pergunta, relacionada a possibilidade de jogar o jogo sozinho após o entendimento de sua dinâmica, 14 pessoas responderam que é possível jogá-lo de maneira autônoma. Uma comprovação que sinaliza a possibilidade de treinamento das combinações do Caeski pela auto-aprendizagem por meio do jogo.

## 5 CONCLUSÃO

No presente trabalho, foi apresentado o processo de desenvolvimento do Caeski, uma tecnologia assistiva que visa facilitar a comunicação de pessoas com surdocegueira. Trata-se de dois dispositivos nos formatos teclado e *joystick* com doze teclas vibratórias, associado a um aplicativo Android para *smartphone*. Este aplicativo possui interface acessível para usuários com surdocegueira que possuem baixa visão e a transmissão dos dados aplicativo-dispositivo ocorre via *Bluetooth*. Para usuários não surdocegos, sua utilização e interface são semelhantes ao aplicativo *Whatsapp*, o que permite a comunicação em qualquer lugar do mundo.

O Caeski pode ser utilizado por crianças, adolescentes, adultos e idosos com surdocegueira que possuem familiaridade ou tem interesse em usar tecnologias para se comunicar e se disponham a aprender um código específico que permita o uso do aplicativo, pois se trata de uma modalidade sensorial de comunicação.

Foi comprovado, por meio de testes de validação com uma amostra de 11 pessoas com surdocegueira, que o Caeski possui potencial para facilitar a comunicação dessas pessoas sem a necessidade de conhecimento prévio de Braille, Libras e outras formas de comunicação. Para tal, cabe ao usuário realizar um treinamento relacionado as combinações do Caeski, que possuem uma lógica sequencial. Para associar a auto- aprendizagem ao entretenimento, foi desenvolvido um *game*, que foi testado com uma amostra de 17 pessoas com surdocegueira. Dentre a amostra, 14 pessoas responderam que é possível jogá-lo de maneira autônoma, comprovando sua viabilidade. No entanto, são necessários estudos mais detalhados para confirmar ou confrontar os resultados dos testes de validação e do *game*.

Ademais, foram realizadas medidas antropométricas das mãos de 105 adultos e 104 crianças para determinar critérios de projeto para o desenvolvimento do teclado e do *joystick*. Foi verificado que as interfaces desenvolvidas se adequam às medidas antropométricas de adultos, mas é necessário desenvolver uma versão que atenda a antropometria das mãos das crianças e, para isso, deve-se realizar adequações na acomodação dos componentes eletrônicos.

Destarte, foi realizada uma análise das vibrações emitidas pelos motores de vibração no dispositivo. Os resultados demonstraram que a exposição as vibrações encontram-se dentro dos limites de segurança da norma ISO 5349:2001 (ISO,2001) e da Diretiva Europeia 2002/44/ CE (EUROPEAN DIRECTIVE, 2002). Portanto, a utilização do Caeski é segura com relação ao risco físico relacionado a exposição a vibrações.

Estudos futuros devem ser realizados com o intuito de analisar a utilização do Caeski em contextos educacionais e em ambientes de trabalho e de lazer como, por exemplo, durante compras ou iniciando uma conversa com pessoas desconhecidas em uma viagem. Como perspectivas futuras, para a comunicação imediata, a utilização do Caeski se mostra viável. No entanto, para leitura e compreensão de textos longos, a recepção excessiva de vibrações poderá ser confusa. Por esse motivo, o Caeski poderá ser associado ao uso de outros recursos de tecnologia assistiva como a Linha Braille e a Máquina Perkins, recursos assistivos mais adequados para a leitura de textos longos ou para a recepção de um volume maior de informações.

## REFERÊNCIAS

ACTION STAT PRO. Disponível em: <http://loja.portalaction.com.br/produto/action-stat-pro/>. Acesso em 19 de julho de 2021.

AGARWAL, A.K.; CHAWLA, D.; MAHETA, R.G.; TRIVEDI, A.; TRIVEDI, M.C.; TRIVEDI, S.; TRIVEDI, V. Ankle band for identifying nearest obstacles. AU2021100117A4, Apr. 08, 2021.

ALELA, R. Sign Io. Disponível em: <https://sign-io.com/#>. Acesso em: 19 de março de 2023.

ALMEIDA, C.A.F. A aquisição da linguagem por uma surdocega pré-lingüística numa perspectiva sociocognitivo-interacionista. Tese (Doutorado em Linguística) – Universidade de Brasília. Brasília, 2008.

ALMEIDA, L.S. Um estudo sobre síntese de fala para o português brasileiro. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2005.

AMARAL, BMN. “Dispositivo Combinatório Bidirecional De Comunicação”, BR10 20120025310 A2, Oct. 1, 2013.

AMARAL, BMN. Luvas de Comunicação para Surdocegos. Proposta FUNDEP- DEMEC-UFMG. Edital de Chamada Pública MCTI/SECIS/FINEP/FNDCT – Cooperação Empresa – ICT – Tecnologia Assistiva – 01/2011. Belo Horizonte, 2012.

ANDRADE-FIGUEIREDO, M.Z.; CHIARI, B.M.; GOULART, B.N.G. Comunicação em adultos surdocegos com síndrome de Usher: estudo observacional retrospectivo. CoDAS, v.25(4), p. 319-24. São Paulo, 2013.

ARANHA, L.C. Desenvolvimento de funcionalidades para o protótipo de um dispositivo de comunicação para surdocegos. Programa de Graduação em Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Minas Gerais (Monografia). Belo Horizonte, 2019.

ARIAS, M.H.R. Perfil clínico-social do indivíduo surdocego. Programa de Pós- Graduação da Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Estadual de Campinas. Área de concentração: Saúde da Criança e do Adolescente (Dissertação). Campinas, 2004.

BALUSAMY, B; DHANARAJ, RK; KUMAR, B; KUMAR, S; PARAMESWARAN,T; RANJAN, JS; SATHIYARAJ, R; SRIVASTAVA, SK. “Smart Assisting Device for Deaf-Blindness to Shop at Supermarket”, 2021101326A4, May. 13, 2021.

BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep). Resumo Técnico: Censo Escolar da Educação Básica 2006.

BONNET C, AZIZ E. Usher syndrome (sensorineural deafness and retinitis pigmentosa): pathogenesis, molecular diagnosis and therapeutic approaches. *Current Opinion in Neurology*. 2012;25 (1): 42-49.

BORISOVNA, LS; MIKHAILOVNA, SV. “Device for fine dotted braille training of blind and visually impaired children”, RU2662139C1, Jul.23,2018.

BOVE, M.; RIGGIO, M. La comunicación pre-lingüística con énfasis en la discapacidad severa. In: Conferencia Internacional para a Educação dos Surdocegos, 11.Córdoba: IADB, 1993. p. 4.

BRASIL. Subsecretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência. Comitê de Ajudas Técnicas. Tecnologia Assistiva. – Brasília: CORDE, 2009. 138 p.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. Comissão de Defesa dos Direitos das Pessoas com Deficiência. Evento: Audiência Pública Extraordinária. Reunião n. 1032/17. Disponível em:<https://www.camara.leg.br/internet/sitaqweb/textoHTML.asp?etapa=11&nuSessao=1032/17&nuQuarto=0&nuOrador=0&nuInsercao=0&dtHorarioQuarto=15:00&sgFaseSessao=&Data=9/8/2017&txApelido=DEFESA%20DOS%20DIREITOS%20DAS%20PESSOAS%20COM%20DEFICI%3%8ANCIA&txFaseSessao=Audi%3%AAncia%20P%3%BAblica%20Extraordin%3%A1ria&txTipoSessao=&dtHoraQuarto=15:00&txEtapa=>. Acesso em: 18 de março de 2023.

CÂMARA JR., J.M. Estrutura da língua portuguesa. 26ª ed. Petrópolis: Editora Vozes, 1997.

CANTIN, S; CYBIS, WA; TRUDEAU, S; PONCET, F; WITTICH, W; WANET-

DEFALQUE, M. Assessment of a Communication Assistive Technology for Individuals with Deafblindness: A Case Study. *JDBSC*. v. 5, 2019, pp. 73-95.

CAPORUSSO, N. A Wearable Malossi Alphabet Interface for Deafblind People. AVI'08 Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces. 2008. Napoli Italy.

CHARLES, L.E.; MA, C.C.; BURCHFIEL, C. C.; DONG, R. G. Vibration and ergonomic exposures associated with musculoskeletal disorders of the shoulder and neck. Saf. Health. Work, VOL.9, PP.125-132, 2018

CHETTER, I. C.; KENT, P. J.; KESTER, R. C. The Hand Arm Vibration Syndrome: a review, Cardio Surgery, vol.6, n.1, pp.1-9, 1998.

COSTA, F.A.S.; QUADRADO, A.V.M.; BRANDÃO, A.P.; LEME, B.A.P.; CARNEIRO; B.V.; CASTANHO, D.L.M.; SFAIR, L.C.; ROCHA, C.H.R. Síndrome da Rubéola Congênita: revisão de literatura. Rev Med Saude Brasilia, v. 2(1), p.46-57. Brasília, 2013.

CRISTÓFARO-SILVA, T. Fonética e Fonologia do Português: Roteiro de Estudos e Guia de Exercícios. 9a. Ed. São Paulo: Contexto, 2007.

DA CUNHA, A.H.G.B. Hidrocefalia na infância. Revista Brasileira de Neurologia e Psiquiatria, v. 18, n. 2, 2014.

DAMMEYER, J. Congenitally deafblind children and cochlear implants: effects on communication. J Deaf Stud Deaf Educ. Spring 2009;14(2):278-88.

DAMMEYER, J. Deafblindness: a review of the literature. Scandinavian Journal of Public Health, 2014; 42:554-562.

DANILOV, Y; TYLER, M. Brainport: an alternative input to the brain. J Integr Neurosci. 2005 Dec;4(4):537-50.

DEWHURST, DC. "Audiotactile vision substitution system", US2008/0058894A1, Mar. 6, 2008.

DICHEVA, D; DICHEV, C; AGRE, G; ANGELOVA, G. Gamification in Education: A Systematic Mapping Study. Educational Technology & Society. v. 18, n. 3, p. 1–14, 2015.

EDLUND, M.; BURSTRÖM, L.; HAGBERG, M.; LUNDSTRÖM, R.; NILSSON, T.; SANDÉN, H.; WASTENSSON, G. Quantitatively measured tremor in hand-arm symptoms in a Swedish mechanical industry. *Int. J. Ind. Ergon.*, vol.62, pp. 77-81,2017.

EURICA, C. “Method and device for reading, writing, and communication by deafblindusers.”, US2020193870A1, Jun. 18, 2020.

EUROPEAN DIRECTIVE. Minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (Vibration), European Directive 2002/44/EC, 2002.

FADEL, L.M.; ULBRICHT, V.R.; BATISTA, C.R.; VANZIN, T. Gamificação na Educação. São Paulo: Pimenta Cultural, 2014.300p.

FARDO, M.L. A gamificação aplicada em ambientes de aprendizagem. In: *Revista Novas Tecnologias na Educação*, v.11, n.1, p. 01-09, jul. 2013.

FROTA, S., VIGÁRIO, M., MARTINS, F. FreP: An electronic tool for extracting frequency information of phonological units from Portuguese written text. *Proceedings of the Fifth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC’06)*, Gênova, Itália. European Language Resources Association (ELRA), 2006.

GALVÃO FILHO, T. A.; MIRANDA, T. G. O professor e a educação inclusiva: formação, práticas e lugares. Salvador: Editora da Universidade Federal da Bahia - EDUFBA, 2012, p. 247-266.

GAMA, L. Surdocegueira poderá ter data nacional de conscientização. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/520278-surdocegueira-podera-ter-data-nacional-de-conscientizacao/>. Acesso em: 21 de junho de 2017.

GIACOMINI, L. Análise de um programa: “Passo a passo” orientação e mobilidade para pessoas surdocegas. Dissertação (Mestrado em Psicologia da Educação. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. 124p.

GODOY, S.A. Guia-intérprete ou instrutor mediador: percepções de uma professora especialista. In: *Anais do Congresso Brasileiro de Educação Especial. Anais eletrônicos*. Campinas, Galoá, 2014.

GOLDMAN, L.; SCHAFER, A.I. “Other Peripheral Arterial Diseases,” in Goldman's Cecil Medicine. 24th ed., New York, NY, USA: Elsevier Health Sciences, 2012, pp.288-301.

GOLLNER, U; BIELING, T; JOOST, G. Mobile Lorm Glove: introducing a communication device for deaf-blind people. In: Proceedings of the sixth international conference on tangible, embedded and embodied interaction. ACM, 2012. p. 127-130.

GOUGH, R. “A warning device for deaf-blind persons”, EP1126428A2, Aug. 22, 2001.

GRIFFIN, M. J. Handbook of human vibration. 1st ed. London (United Kingdom): Academic Press Limited; 1996. 988p.

HOUSE, R.; WILLS, M.; LISS, G.; SWITZER-MCINTYRE, S.; LANDER, L.; JIANG, D. The effect of hand–arm vibration syndrome on quality of life. Occup. Med., vol. 64,n.2, pp. 133-135, 2014.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). Human response to vibration - Measuring instrumentation - Part 1: General purpose vibration meters, ISO 8041-1, 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). Mechanical vibration. Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration – Part1: General Requirements, ISO 5349-1:2001. Mechanical vibration. Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace, ISO 5349-2: 2001.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Brasileiro de 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

JAFFE, D.L. Evolution of mechanical fingerspelling hands for people who are deaf- blind. Journal of Rehabilitation Research and Development, v.31, n.3, p.236–244. Aug. 1994.

JI, K; LI, W. “Personalized special doorbell for blind people and deaf-mutes”, CN210574136, May. 19, 2020.

JOHNSON, M; VUKICH, A; ZARAKAS, J. “Deafblind-friendly Transaction Card”, US10878302B1, Jan. 09, 2020.

KAPP, K. The Gamification of Learning and Instruction: Game-based Methods and Strategies for Training and Education. Pfeiffer, 2012.

KAPPERS, A.M.L.; PLAISIER, M.A. Hands-free Devices for Displaying Speech and Language in the Tactile Modality – Methods and Approaches”. IEEE Transactions on Haptics, 2021.

KAWAI, M; KIMURA, M; SUZUKI, T; UMATSUKA, S. “Finger Braille Device”, JP2001166684A, Jun. 22, 2001.

KHAWAS, C.; SHAH, P. Application of Firebase in Android App Development—A Study. International Journal of Computer Applications, 2018, 179, pp.49-53.

KRAMER, J.; LEIFER, L. The Talking Glove. ACM SIGCAPH Computers and the Physically Handicapped, 01 April 1988, Issue 39, pp.12-16.

LAENGER, SCJ; MCFARLAND, SR; PEEL, HH. “Method and apparatus for communicating with people”, US4074444A, Feb. 21, 1978.

LAGATI, S. Surdo-cegueira ou Surdocegueira Journal of Visual Impairment & Deafblindness, p.306, May-June 1995.

LAHTINEN, R; GROTH, C; PALMER, R. (2018). Haptic Art Experiences Described as Vocals, Sounds and Written Words by Deafblind. Multimodal Technologies and Interaction, vol. 2, no. 2, 24.

LIARTH, J.C.S.; GONÇALVES, E.A.; RIBEIRO GONÇALVES, J.O.; NEIVA, D.M.;

LEAL, F.A.M. Síndrome de Usher: características clínicas. Arq. Bras. Oftalmol. v.65, p.457-61. São Paulo, jul/ago 2012.

LIEBERMANN, R. “Devices for use by deaf and/or blind people.”, US7965196B2, Jun.21, 2011.

LIEBERMANN, R. “Touch Language”, US8523572B2, Sep. 3, 2013.

LIMA, MTR; SILVA, JR; ANDRADE, LPC; RIBEIRO, RA. “Communication Device for Deafblind Person Using Ferrogel as Tactile Transducer”, BR102017002857-7A2, Oct. 9, 2018.

LINVILL, JG. “Reading Aid for the Blind”, US3229387, Jan. 18, 1966.

LLORACH TÓ, G. Gesture Recognition and Interaction with a Glove Controller: An Approach with a Glove Based on Accelerometers. Electronic Music Unit, Elder Conservatorium University of Adelaide, 157p. Australia, 2013.

LOPEZ DE LA NAVA, S; PEREZ LLANO, JM. “Apparatus for the teaching of reading and writing based on character trails”, ES2370204A1, Dec. 13, 2011.

LOURENÇO, S.E. Guia-Intérprete para pessoa com surdocegueira: Reflexão sobre as tendências e perspectivas de sua formação. Libras em estudo: tradução/interpretação. FENEIS-SP, 2012, p.109-139.

LUZ, TR; HUEBNER, R. Communication Device for Deafblinds: testing with users for software and hardware enhancements. 24th ABCM International Congress of Mechanical Engineering. December 3-8, 2017, Curitiba, PR, Brazil.

MACGAVIN, B; EDWARDS, T; GORLEWICZ, JL. A Protactile-Inspired Wearable Haptic Device For Capturing the Core Functions of Communication. TOH.2021.3076397, IEEE Transactions on Haptics. V.14, issue 2, April-June 2021.

MAIA, S. R. A educação do surdocego – diretrizes básicas para pessoas não especializadas. Dissertação de Mestrado do Programa de Distúrbios Universidade Presbiteriana. Mackenzie, 2004.

MAIA, SR, ARAÓZ, SMM. A Surdocegueira – “Saindo do escuro”. Educação: Centro de Educação. Edição: 2001, n.17.

MARANGONI, M. “Eyeglasses provided with sensors for blind and/or deaf-blind people.”, WO9717043A1, May. 15, 1997.

MATSUDA, Y; SAKUMA, I; JIMBO, Y; KOBAYASHI, E; ARAFUNE, T; ISOMURA, T. Development of Finger Braille Recognition System. Journal of Biomechanical Science and Engineering. v.5, n.1, 2010.

MIKHAILOVICH, BD., “System For Controlling Traffic at Pedestrian Crossing”, RU2620446C1, May. 25, 2017.

MILES, B. Overview on Deaf- Blindness. DB-LINK: The National Information Clearinghouse on Children who are Deaf-Blind. Helen Keller National Center Hilton/Perkins Program Perkins School for the Blind Teaching Research Institute. Voice (800) 438-9376; TTY (800), 2008.

MOREIRA, L. O implante coclear é para você? Disponível em:  
<http://portalotorrino.com.br/implante-coclear-sonora/>. Acesso em: 27 de julho de 2015.

MUHAMAD, FB; AZIM, AKHBA; JAMALUDIN, MKJB; LATIFF, ABM; JONID, IDB; SHAH, FIBMS. “A fire disaster warning system for blind and deaf”, MYUI2019007395, Jun. 11, 2021.

NATIONAL INSTRUMENTS CORP. Expand the Power of Multisim™ Software. Disponível em:

<https://www.ni.com/pt-br/shop/electronic-test-instrumentation/application-software-for-electronic-test-and-instrumentation-category/what-is-multisim.html>. Acesso em 26 de março de 2023.

NOVOZHILOV, IA; ALEKSEEVICH, NI; ANDREEVICH, AA; SERGEEVICH, EA; ALEKSANDROVICH, NP. “Communication device of blind-deaf person”, RU2675032C1, Dec. 14, 2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Convention on the Rights of Persons with Disabilities (CRPD). New York (NY): UN; 2006. Disponível em:

<https://www.un.org/development/desa/disabilities/convention-on-the-rights-of-persons-with-disabilities.html>. Acesso em: 21 de junho de 2022.

OZIOKO, O., TAUBE, W., HERSH, M. AND DAHIYA, R. SmartFingerBraille: A Tactile Sensing and Actuation Based Communication Glove for Deafblind People. In: IEEE 26th International Symposium on Industrial Electronics, pp. 2014-2018. Edinburgo, 2017.

OZIOKO, O; HERSCH, M. Development of a Portable Two-Way Communication and Information Device for Deafblind People. *Stud Health Technol Inform.* 2015; 217:518- 25.

OZIOKO, O; NAVARAJ, W; HERSH, M; DAHIYA, R. Tacsac: A Wearable Haptic Device with Capacitive Touch-Sensing Capability for Tactile Display. *Sensors* 2020, 20, 4780.

PACCO, A.F.R.; SILVA, E.R.M. A surdocegueira no contexto escolar. *Educação, Batatais*, v. 5, n. 2, p. 141-166, 2015.

PALACIOS, PL. “Mechanical device for haptic representation 3D with elastic retention means”, ES1195059U, Oct. 24, 2017.

PALACIOS, PL. “Mechanical device for haptic representation using crossed and crisscross elements”, ES1233488U, Aug. 07, 2019.

PALACIOS, PL. “Mechanical mosaic of haptic representation by highlighting matrix elements”, ES1219550U, Oct. 25, 2018.

PASCHOARELLI, L.C.; SOUSA, B.C.; SILVA, D.C.; DA SILVA, J.C.P. A influência da variedade antropométrica entre mãos de destros e canhotos no design ergonômico de instrumentos manuais: um estudo preliminar. *Estudos em Design*, v. 15, n.1, 2007.

PASCHOARELLI, L.C.; MENIN, M.; SILVA, D.C.; CAMPOS, L.F.A.; SILVA, J.P. Antropometria da mão humana: influência do gênero no design ergonômico de instrumentos manuais. *Ação Ergonômica*, v. 5, n. 2, p. 1-8, 2010.

PARK, JS. “Bluetooth IoT keyboard that is capable of customized keyboard mapping for each user.”, WO2018056571, Mar. 29, 2018.

PETROVICH, GD. “Tactile Communication System”, RU2708107C1, Dec. 04, 2019.

RAMACHANDRAN, A.; SAFAR, L.; SASIDHARANPILLAI, S.; KIDANGAZHIYATHMANA, A.; GEORGE, B.; KEERANKULANGARA, D. Sensitivity and specificity of traditional testing methods to detect sensory impairment in the skin lesions of leprosy compared to Semmes-Weinstein monofilaments. *Lepr. Rev.*, vol.91, pp.89-99, 2020.

PRYOR, T; AZODI, N. Sign Aloud: gloves that transliterate sign language into text and speech.

LEMELSON-MIT. Disponível em: <https://lemelson.mit.edu/award-winners/thomas-prior-and-navid-azodi>. Acesso em: 19 de março de 2023.

RAMSAY, AR; RAMSAY, SA. “Tactile communication apparatus and method”, US6230135B1, May. 5, 2001.

RÊDA, R.S. Dispositivo de comunicação para surdocegos através da emissão e recepção de sinais sensíveis ao toque. Programa de Graduação em Design de Produto da Universidade do Estado de Minas Gerais (Monografia). Belo Horizonte, 2017.

REZENDE, L.P.S. Eletrônica aplicada a um dispositivo de comunicação para surdocegos. Programa de Graduação em Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Minas Gerais (Monografia). Belo Horizonte, 2019.

SAEED SR, RAMSDEN RT, AXON PR. Cochlear implantation in the deaf-blind. *Am J Otol.* 1998 Nov;19(6):774-7.

SAUNDERS, GH; ECHT, KV. An overview of dual sensory impairment in older adults: Perspectives for rehabilitation. *Trends Amplif.* v.11, 2007. pp. 243–58.

SILVA, F.B.; BAX, MP. Gamificação na educação online: proposta de modelo para a aprendizagem participativa. *Encontros Bibli: Revista Eletrônica de Biblioteconomia e Ciência da Informação*, n. 50, v. 22, p. 144-160, 2017.

SILVA NETO, J.C. *Metrologia e controle dimensional: conceitos, normas e aplicações*. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018, pp. 39-46.

SILVANO, FG.; OGUIDO, K.; SOUZA, R.I.; YOSHIOKA, V.H. Alaluva: Luva detectora de sinais em LIBRAS para auxílio na alfabetização. Relatório Técnico. Universidade Tecnológica do Paraná. Curitiba, 2016.

SHORTT, M.; TILAK, S.; KUZNETCOVA, I.; MARTENS, B; AKINKUOLIE, B. Gamification in mobile-assisted language learning: a systematic review of Duolingo literature from public release of 2012 to early 2020. *Computer Assisted Language Learning*. Ahead-of-print, 1-38, 2021.

SORRI-BAURU. Manual do Usuário: Estesiômetro SORRI® Kit para Testes de Sensibilidade Cutânea. Disponível em:

<https://manuais.smartbr.com/0000000000000087/estesiometro-kit-monofilamentos-sorri-1.pdf>.

Acesso em: 25 de março de 2023.

TAKENAKA, R.P.S. Avaliação de características de mensagens encaminhadas via WhatsApp. 2019. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

TEICHNER, O.; FORTUNATO, I. Refletindo sobre a Gameficação e suas possibilidades na educação. *Revista Brasileira de Iniciação Científica*, Itapetininga, v. 2,n. 3, p. 102-111, 2015.

TINO, CLC. Linha Braille: Contribuições para maior acessibilidade às informações verbais pelos alunos com surdocegueira. Dissertação do Programa de Mestrado em Ensino de Ciências Humanas, Sociais e da Natureza (PPGEN), da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2018.

VIHLBORG, P.; BRYNGELSSON, I.L.; LINDGREN, B.; GUNNARSSON, L.G.;

GRAFF, P. Association between vibration exposure and hand-arm vibration vibration-exposed workers. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, vol.88, n.3, pp. 305-310, 2015.

VILELA, EG. *Deafblind Education: Perspectives and Memories*. Curitiba (BR): Appris,2020.

WANG, L. “Finger ring reader for the blind”, CN106601081A, Apr. 26, 2017.

WENYU, S. “Novel deaf and dumb blind person's doorbell”, CN207199023U, Apr. 6, 2018.

WILEY, S; MEINZEN-DERR, J; STREMEL-THOMAS, K; SCHALOCK, M; BASHINSKI, SM; RUDER, C. Outcomes for Children with Deaf-Blindness With Cochlear Implants: A Multisite Observational Study. *Otology & Neurotology* 34: 507Y515, 2013.

WORLD FEDERATION OF THE DEAFBLIND. At risk of exclusion from CRPD and SDGs implementation: Inequality and Persons with Deafblindness. Oslo (NW): WFDB; 2018. Disponível em: <https://wfdb.eu/wfdb-report-2018/>. Acesso em 21 de junho de 2022 World Health Organization (WHO). World Health Statistics Overview (2019) Monitoring Health for the Sustainable Development Goals. [Online]. Available: WHO.int: IRIS File:PDF.

YUE, J; ZHOU, X; YUE, D; FAN, Y. “Mobile phone system used for blind deaf-mute person based on zigbee”, CN204334711, May. 13, 2015.

ZIBA DESIGN. Microsoft + Ziba. December 16, 2020. Disponível em:

<https://www.ziba.com/ideas/sometimes-you-just-need-to-carve-foam>. Acesso em: 08 de julho de 2022.