

EducaBrailer: Dispositivo de Baixo Custo para Inclusão e Ensino das Pessoas com Deficiência Visual e Surdocegas

Leonardo Nardi^{1,2}, Rachel Maria Campos Menezes de Moraes³, Carolina Sacramento^{2,4},
Simone Bacellar Leal Ferreira², Sara Remedios²

¹Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ)

²Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO)

³Instituto Benjamin Constant (IBC)

⁴Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz)

leonardo.nardi@ifrj.edu.br, rachelmariamoraes@ibc.gov.br,

carolina.sacramento@fiocruz.br, simone@uniriotec.br,

sara.lobato@edu.unirio.br

Abstract. *Visually impaired and deafblindness students should be included in all areas of education, with solutions that facilitate their teaching and learning process. This article presents a low-cost device for teaching Braille, developed through stages that include understanding Braille, defining and identifying the microcontroller, components, and modules, device development, algorithm coding and implementation, followed by evaluation by students with disabilities and educators through fieldwork, using opinion surveys and observation, resulting in feedback for improvements to the proposed technology.*

Resumo. *Estudantes com deficiência visual e surdocegos devem ser incluídos em todas as áreas da educação, com soluções que facilitem o ensino-aprendizagem deste público. Este artigo apresenta um dispositivo de baixo custo para ensinar braille, desenvolvido com etapas que incluem a compreensão do braille, definição e identificação de microcontrolador, componentes e módulos, desenvolvimento do dispositivo, codificação do algoritmo e implementação, seguido de avaliação por estudantes com deficiência e educadores através de trabalho de campo, utilizando pesquisa de opinião e observação, resultando em feedback para melhorias na tecnologia proposta.*

1. Introdução

Pessoas com deficiência representam 18,6 milhões de brasileiros [IBGE 2023]. De acordo com a Pesquisa Nacional de Saúde (PNS) de 2019, estima-se que 4,2% das pessoas com 18 anos ou mais tenham deficiência visual. Dentre esse grupo, 8,1% são indivíduos sem instrução ou com ensino fundamental incompleto. Para aqueles com ensino fundamental completo e médio incompleto, esse percentual é de 3,2%. Já entre os que concluíram o ensino médio ou têm nível superior incompleto, o percentual é de 2,1%. Por fim, para os que têm nível superior completo, o índice é de 1%.

O Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP) complementa esses dados, indicando que 79.262 estudantes com deficiência, transtorno

global do desenvolvimento ou superdotação estão matriculados em cursos de graduação, sendo 33% com deficiência visual e 0,43% surdocegos [INEP 2024]. Ademais, pesquisas do IBGE [IBGE 2023, IBGE 2022] indicam que indivíduos com deficiência visual, especialmente aqueles com baixa escolaridade, enfrentam muitos desafios em termos de acesso à educação, emprego e renda, o que agrava sua vulnerabilidade socioeconômica.

Neste contexto, é fundamental a busca por estratégias pedagógicas para incluir pessoas com deficiência visual e surdocegueira no meio escolar e universitário. A criação de tecnologias de baixo custo é relevante, pois possibilita que soluções acessíveis cheguem a um maior número de pessoas, especialmente no Brasil, onde 31,6% da população enfrenta situação de pobreza [Brasil 2023]. Tecnologias acessíveis e economicamente viáveis têm o potencial de democratizar o acesso a ferramentas pedagógicas, como o ensino do braille, contribuindo para a inclusão social e educacional dessas pessoas.

O braille, sistema de escrita e leitura tátil criado por Louis Braille, é uma das principais ferramentas pedagógicas para o ensino-aprendizagem de pessoas com deficiência visual e surdocegas, contribuindo para a inclusão e a formação escolar e acadêmica dessas pessoas, tornando-as mais independentes [Pimentel et al. 2016]. O processo de alfabetizar é um desafio constante para estudantes e educadores que os acompanham ao longo desse trajeto. Os docentes, ao lidar com estudantes com deficiência visual e surdocegueira, precisam mediar o processo de ensino e aprendizagem, adaptando-se às necessidades de cada um, principalmente na alfabetização do braille. O educador pode recorrer à tecnologia como um instrumento pedagógico para auxiliar no aprendizado destes estudantes [Sá et al. 2007].

Para facilitar o ensino do sistema Braille para docentes e estudantes, identificou-se a importância de integrar esse sistema a um dispositivo tecnológico desenvolvido com componentes de baixo custo. Assim, espera-se que a utilização desse dispositivo auxilie na formação educacional de pessoas com deficiência visual, que apresentam baixa escolaridade, conforme os dados do PNS 2019. Além disso, espera-se que esse equipamento tecnológico se torne um dos instrumentos pedagógicos que contribuam para o ingresso dessas pessoas no ensino superior.

Nesse sentido, o objetivo desta pesquisa foi desenvolver e avaliar um dispositivo educacional de baixo custo, que possibilite o ensino e a decodificação do sistema Braille e que apoie as pessoas com deficiência visual e surdocegas no aprendizado do braille. Assim, espera-se contribuir para a melhoria das atividades de ensino dos docentes e no aprendizado dos estudantes com deficiência visual e surdocegueira.

2. Referencial Teórico

2.1. Deficiência Visual e Surdocegueira

Entende-se por deficiência visual a condição em que há perda ou redução permanente da capacidade visual em ambos os olhos, que não pode ser corrigida através do uso de lentes, tratamento clínico ou cirúrgico [Brasil 2024]. Essa deficiência pode ser classificada em diferentes graus: baixa visão, próximo à cegueira e cegueira. [Brasil 2024].

A baixa visão é classificada em leve, moderada ou profunda [Brasil 2004, Brasil 2022], com acuidade visual variando entre 0,3 e 0,05 no melhor olho, considerando a melhor correção óptica. Em todos os casos, pode ser compensada com o uso de

lentes de aumento e lupas [Brasil 2024].

O estágio próximo à cegueira ocorre quando a pessoa ainda é capaz de distinguir luz e sombra, mas já emprega o sistema Braille para ler e escrever e utiliza recursos de voz para interagir com computadores [Brasil 2024]. A cegueira, por sua vez, ocorre quando a pessoa possui acuidade visual inferior a 0,05 [Brasil 2004]. Nesse caso, é essencial o uso do sistema Braille [Brasil 2024]. Além dessas, há a visão monocular, recentemente incluída na classificação de deficiência visual pelo Decreto 14.126/21 [Brasil 2021]. Essa condição é caracterizada pela visão normal em um olho e cegueira no outro [Ottaiano et al. 2019].

Já a surdocegueira caracteriza-se pela presença simultânea de deficiência visual e auditiva no indivíduo, podendo ser categorizada como pré-linguística ou pós-linguística. No primeiro caso, a condição surge desde o nascimento ou nos primeiros anos de vida, antes da aquisição de linguagem. No segundo caso, uma ou ambas as deficiências se manifestam após a aquisição da linguagem, seja oral ou visual [Bigate 2023].

A surdocegueira pode ocorrer em diferentes graus: com a ausência total de visão e audição ou a presença residual dos dois sentidos. Esta condição é classificada de acordo com as perdas auditivas e visuais nas seguintes categorias: surdocegueira total, onde há ausência completa de resíduos visuais e auditivos; surdez parcial com cegueira total; surdez parcial com baixa visão; e baixa visão com surdez profunda [Bigate 2023, Cambruzzi 2007, Falkoski and Maia 2020].

Nesse grupo, encontram-se formas de comunicação baseadas na Língua Portuguesa e em Libras tátil. É essencial que a pessoa com surdocegueira conte com o apoio de guia-intérprete. Este profissional medeia a comunicação, traduz e interpreta a informação, descreve o que acontece ao redor e auxilia na locomoção com segurança [Bigate 2023].

2.2. Sistema Braille

O braille caracteriza-se pelo arranjo de seis pontos em relevo, dispostos em duas colunas com três pontos cada uma. O conjunto desses seis pontos, sinal fundamental, é também conhecido como "cela braille" ou "célula braille" [Brasil 2018]. Os seis pontos que compõem o sistema Braille (1, 2, 3, 4, 5 e 6) são dispostos em três linhas (1 e 4, 2 e 5, 3 e 6) ou em duas colunas (ou filas) (coluna ou fila da esquerda: 1, 2, 3; coluna ou fila da direita: 4, 5, 6). Eles são numerados de cima para baixo e da esquerda para a direita, conforme ilustrado na Figura 1. O sistema Braille permite a formação de letras e números utilizados em textos literários em diversos idiomas, além de símbolos matemáticos, científicos, na música e na informática [Brasil 2018].

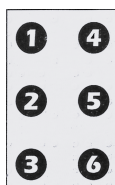


Figura 1. Sistema Braille. Crédito: Instituto Benjamin Constant.

A escrita em braille pode ser produzida utilizando reglete e punção, máquinas de datilografia braille e impressoras computadorizadas [Ferreira 2023]. Eles são conside-

rados Tecnologia Assistiva (TA), conceito que engloba produtos, serviços e tecnologias projetados para promover a funcionalidade e participação de pessoas com deficiência, proporcionando autonomia, independência e qualidade de vida. [Brasil 2015].

A reglete é uma prancha dobrável com duas placas, sendo uma delas com retângulos vazados para formar celas braille. O punção, por sua vez, é um instrumento composto por uma cabeça variável em formato e uma ponta de haste metálica pontiaguda [Ferreira 2023].

A máquina de datilografia possui sete teclas para a escrita: seis para os pontos que compõem a cela braille e uma que funciona como espaçador. Além dessas, há mais duas teclas: uma para mudança de linhas e outra para retrocesso. Dentre essas máquinas, a mais conhecida é a *Perkins Brailleur*¹ [Alvarez et al. 2015, Ferreira 2023]. A produção de textos em braille também pode ser feita com a utilização de impressoras. Com o uso de programas específicos, como o *Braille Fácil*², os textos são transmitidos do computador a uma impressora braille [Ferreira 2023].

Outro equipamento que pode ser usado para a representação de caracteres braille é a linha braille, também conhecida como *display braille*. Ele converte a informação textual de computadores ou dispositivos móveis para um equipamento que possui caracteres braille em alto relevo. O sistema utiliza um mecanismo eletromecânico para levantar e abaixar conjuntos de pontos [Ferreira 2023]. Existem também produtos comerciais para o ensino do braille, como o *Brinca Braille*³, que permite ensinar o braille de maneira lúdica, via interação por áudio e/ou tato.

3. Trabalhos Relacionados

No Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE), muitos trabalhos recentes, a partir de 2017, têm abordado soluções para o processo de ensino-aprendizagem de pessoas com deficiência visual, focando em tópicos específicos como matemática [Macedo et al. 2017, Sobral et al. 2017, Santana et al. 2017], programação [Lima et al. 2023], língua portuguesa [Sobral et al. 2017], genética [de Oliveira et al. 2020], mapas conceituais [Beal and García 2020] e ensino do sistema monetário [Mombach and Welfer 2017]. Além disso, dois trabalhos apresentaram propostas de Tecnologia Assistiva de baixo custo, como um computador pessoal [Rezende et al. 2021a] e um leitor digital que lê documentos em formato analógico ou impresso [Rezende et al. 2021b].

Especificamente sobre braille, Reis *et al.* (2018) desenvolveram um sistema que utiliza técnicas de visão computacional para facilitar a comunicação escrita entre pessoas cegas, alfabetizadas em braille, e pessoas videntes que desconhecem o sistema. Já Santana *et al.* (2019) propuseram o uso do software gratuito *Braillelearning* para simular a máquina de escrever em braille no ensino-aprendizagem deste sistema.

Considerando outras fontes, mas com foco em soluções para apoiar o ensino de braille, encontrou-se o estudo de Wagh *et al.* (2016). Os autores criaram um dispositivo autônomo de autoaprendizado de braille, que utiliza um teclado braille e um microfone

¹<https://www.perkins.org/perkins-brailleur/>

²<https://intervox.nce.ufrj.br/brfacil>

³<https://www.tecassistiva.com.br/catalogo/brincabraille/>

para entrada de áudio e produz saída em forma de fala. Apesar da eficácia técnica do dispositivo, não houve avaliação direta de usuários com deficiência visual. Já Ohtsuka *et al.* (2013) desenvolveram o *Body-Braille*, um sistema de autoaprendizado vestível para surdocegos usando micro-vibradores. Testado por 14 participantes sem deficiência, que simularam surdocegueira com venda nos olhos e fones de ouvido, os resultados mostraram uma taxa de reconhecimento de 74,1% dos caracteres braille.

Lopez *et al.* (2018), por sua vez, focaram na criação e avaliação de um protótipo em papel de um dispositivo para ensino do braille, envolvendo um processo de co-design com pessoas com deficiência visual e um professor de braille. Os resultados destacaram a importância do *feedback* contínuo dos usuários finais para a criação de Tecnologia Assistiva eficazes e aceitas. Recentemente, Hoskin *et al.* (2024) desenvolveram o *BrailleBunny*, um dispositivo destinado a promover a alfabetização em braille para crianças com deficiência visual. O dispositivo oferece *feedback* auditivo e tátil em tempo real e foi testado com 25 participantes, sendo 18 deles pessoas com deficiência. Embora tenha sido concebido para apoiar a alfabetização em países em desenvolvimento, os participantes com deficiência no estudo eram de um país desenvolvido: o Canadá. Os autores reconheceram limitações como alto custo inicial, necessidade frequente de substituição de baterias e fragilidade de algumas partes do dispositivo, ainda assim, o *feedback* dos usuários indicou que eles gostaram da tecnologia.

Em relação ao estado da técnica, representado por patentes registradas no Instituto Nacional da Propriedade Intelectual (INPI), foram encontradas quatro patentes que abordam dispositivos braille. Dentre as patentes concedidas, destaca-se a de registro BR 102012016432-9 [Silva *et al.* 2012], que descreve um dispositivo autônomo capaz de capturar textos de folhas e livros por meio de fotografia e decodificá-los em braille, sendo apresentados em um computador. Outra patente relevante é a de número BR 102015005245-6 [de Campos *et al.* 2015], que apresenta um dispositivo onde um processador requisita dados de um medidor eletrônico através de uma interface de comunicação. Em seguida, decodifica as informações, gerando os respectivos caracteres em braille que são verbalizados por um alto-falante, exibidos em um *display* LCD e impressos em células braille. Nessas células, os caracteres são gerados por um transdutor piezoelétrico que aciona as hastes para cima e para baixo.

Além dessas, há a patente de número BR 102016006849-5 [Mizrahi *et al.* 2016], que descreve um dispositivo mecatrônico para gerar caracteres braille integrando sistemas assistidos por computador. Estes caracteres são gerados e controlados por meio de motores de passo, atuadores, placa-mãe de computador, teclas de continuidade, entre outros dispositivos. Por fim, há uma patente não concedida, mais alinhada à proposta deste artigo, registrada como BR 102019026906-5 A2 [Ito 2019]. Essa patente propõe um dispositivo para ensinar braille através do acionamento de componentes eletromecânicos, reproduzindo caracteres braille em um computador ou celular.

O dispositivo apresentado neste artigo diferencia-se das propostas da literatura científica e das patentes apresentadas por abranger tanto a deficiência visual (cegueira e baixa visão) quanto a surdocegueira, e por focar na educação, algo que não é comum na maioria das patentes nacionais. Além disso, é um dispositivo de baixo custo que não depende de computadores ou dispositivos móveis para funcionar, e oferece três modalidades de interação: visual, auditiva e tátil.

4. Método de Pesquisa

Para alcançar o objetivo proposto neste estudo, as seguintes etapas foram necessárias:

1. *Compreensão do sistema de escrita e leitura braille*: realizado em duas fases: (a) conhecer a história e a importância deste sistema no ensino e formação das pessoas com deficiência visual, a partir de pesquisa de literatura *ad-hoc*; (b) entender o sistema de escrita e leitura Braille, a partir do curso de Introdução as Técnicas de Leitura e Escrita no Sistema Braille, ministrado por professora especialista e cega, no Instituto Benjamin Constant (IBC)⁴, uma Instituição especializada no ensino do braille e de outras temáticas envolvendo a formação continuada de indivíduos que atuam na educação inclusiva ou em outros segmentos.
2. *Definição e identificação do microcontrolador, dos componentes e módulos*: foi escolhido o microcontrolador *Arduino*⁵ devido à sua popularidade, além de possuir componentes e módulos fáceis de localizar, montar, transportar e que proporcionam uma estrutura acessível, com baixo consumo de processamento e custo. Nesta etapa, foi feita uma análise para determinar o adequado papel de cada componente e módulo, voltado ao ensino do braille.
3. *Desenvolvimento do dispositivo*: foi produzido em um laboratório adaptado na casa do primeiro autor deste estudo. A produção se deu por meio da conexão dos componentes e módulos ao microcontrolador *Arduino*, sem realizar qualquer soldagem em um primeiro momento, já que outros aspectos precisavam ser considerados, como o desenvolvimento do algoritmo embarcado e posterior teste com usuários.
4. *Codificação e implementação do algoritmo*: desenvolvido em linguagem C, específica do microcontrolador *Arduino*, com o suporte do Ambiente de Desenvolvimento Integrado (em inglês, *Integrated Development Environment: IDE*) *Arduino IDE*, tendo como função gerenciar o controle do microcontrolador e de todo processo de funcionamento dos componentes e módulos.
5. *Avaliação do dispositivo*: foi realizada a partir de um trabalho de campo, utilizando pesquisa de opinião e observação da interação de docentes e estudantes com deficiência visual e surdocegos com o dispositivo em eventos promovidos no IBC. Esta interação permitiu a coleta de informações sobre a facilidade de uso tátil, funcionamento e compreensão dele pelos usuários, bem como sobre o desempenho (tempo de resposta) e a qualidade da interação com o dispositivo.

Detalhes sobre a arquitetura do dispositivo proposto e a avaliação empreendida serão apresentados nas Seções 5 e 6, respectivamente.

A principal limitação desta pesquisa foi a ausência de um ambiente controlado durante a avaliação do dispositivo. Este ambiente permitiria a utilização de abordagens qualitativas padronizadas, possibilitando a coleta de mais dados dos participantes e, conseqüentemente, um maior aprofundamento e representatividade dos indivíduos. No entanto, essa abordagem exigiria a submissão a um Comitê de Ética em Pesquisa.

5. EducaBrailer: Dispositivo de Baixo Custo para Ensino do Braille

O dispositivo foi registrado no INPI sob número BR1020240080483. O custo de produção foi de cerca de R\$130 para os componentes e módulos e R\$200 com gastos de marcena-

⁴<https://www.gov.br/ibc/pt-br>

⁵<https://www.arduino.cc/>

ria, totalizando R\$330, podendo ser reduzido, caso seja produzido em larga escala por instituições de ensino. Suas características serão apresentadas nas subseções a seguir.

5.1. Tecnologia do Dispositivo

O dispositivo aplica-se ao ensino e a decodificação do sistema de escrita e leitura braille para pessoas videntes, com baixa visão (levando em consideração os diversos tipos), cegas e surdocegas. Isto permite que o dispositivo atenda a todas as pessoas, com deficiência ou não, de diversos tipos de escolaridade, promovendo a inclusão. O processo de ensino e aprendizagem se dá por meio da interação de estudantes e educadores com a tecnologia, conforme ilustrado na Figura 2.

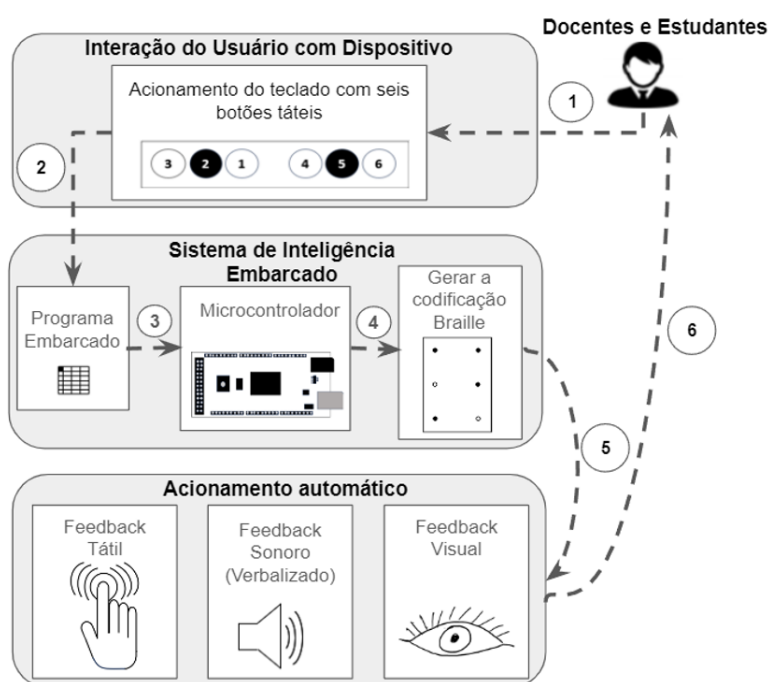


Figura 2. Visão Geral da Tecnologia. Fonte: dos autores

5.2. Características do Dispositivo

O ensino-aprendizagem ocorre por meio da interação conjunta do docente e estudante (1) que se dá através do acionamento do teclado composto por seis botões táteis dispostos linearmente. Após interação dos usuários, (2) o programa embarcado recebe e processa os dados oriundos do acionamento dos botões. Em seguida (3), o microcontrolador, gerenciado pelo algoritmo, é ativado e dá início ao controle lógico dos componentes e módulos. Posteriormente (4), o caractere braille é gerado logicamente (codificado). E, na sequência, este caractere é transmitido aos respectivos componentes e módulos físicos (5), que são ativados concomitantemente e se encarregarão de gerar os *feedbacks* visual, sonoro (verbalizado) e tátil. Por fim, em (6), as informações decodificadas (*feedbacks*) são apresentadas ao docente e estudante.

O dispositivo é estruturado em visão externa e interna. A externa (engloba a interação do usuário com o dispositivo e o acionamento automático) é composta por:

caixa de MDF com três divisórias, seis botões táteis, conjunto de seis diodos emissores de luz (em inglês, *Light-Emitting Diode*: LED), amplificador ajustável conectado a dois alto-falantes e conjunto de seis micros servos motores táteis. A interna (que engloba o sistema de inteligência embarcado) é constituída pelo microcontrolador *Arduino 2560*, resistores, leitor de cartão de memória MP3, conjunto de capacitores e resistores. O microcontrolador, componentes e módulos, bem como suas funções, estão na Tabela 1.

Tabela 1. Apresentação do microcontrolador, componentes, módulos do dispositivo e suas funções

Nome	Tipo do item	Visão	Função
Botões táteis	Componente	Externa	Corresponder a numeração da cela braille.
LEDs	Componente	Externa	Exibir a combinação dos caracteres braille (<i>feedback</i> visual).
Amplificador ajustável	Módulo	Externo	Transmitir a verbalização do som (<i>feedback</i> sonoro) amplificada a dois alto-falantes.
Alto-falantes	Componente	Externo	Reproduzir o <i>feedback</i> sonoro.
Micros servos motores táteis	Componente	Externo	Permitir às pessoas com deficiência visual e surdocegas perceberem a combinação dos caracteres braille (<i>feedback</i> tátil).
Arduino 2560	Microcontrolador	Interno	Ativar e controlar os componentes e módulos.
Ledor MP3	Módulo	Interno	Ler, processar e verbalizar a combinação de caracteres braille.
Resistores	Componente	Interno	Atenuar a corrente elétrica para evitar que os LEDs, leitor MP3 e o Arduino queimem.
Capacitores	Componentes	Interno	Garantir leitura estável e precisa no acionamento dos botões táteis.

A placa eletrônica *Arduino Mega 2560* foi escolhida devido à sua ampla disponibilidade de conexões GPIOs (*General Purpose Input/Output*), o que possibilita o controle de uma diversidade de componentes eletrônicos e conjuntos de módulos.

Todos os componentes e módulos apresentados foram encapsulados em uma caixa de madeira, com três divisórias, duas delas representando uma cela braille composta por seis LEDs e seis motores táteis. A caixa central é composta por dois alto-falantes separados a uma certa distância com módulo amplificador. Esta caixa é fixada em uma base de mesmo material que contém o teclado com os seis botões táteis. Este conjunto é apresentado na Figura 3-a.

Os botões táteis do dispositivo seguiram o mesmo princípio de numeração das teclas da máquina *Perkins Braille* [Alvarez et al. 2015], porque as pessoas com deficiência visual estão acostumadas com este tipo de organização e operação tátil. A representação numérica dos botões do dispositivo pode ser vista na Figura 3-b.

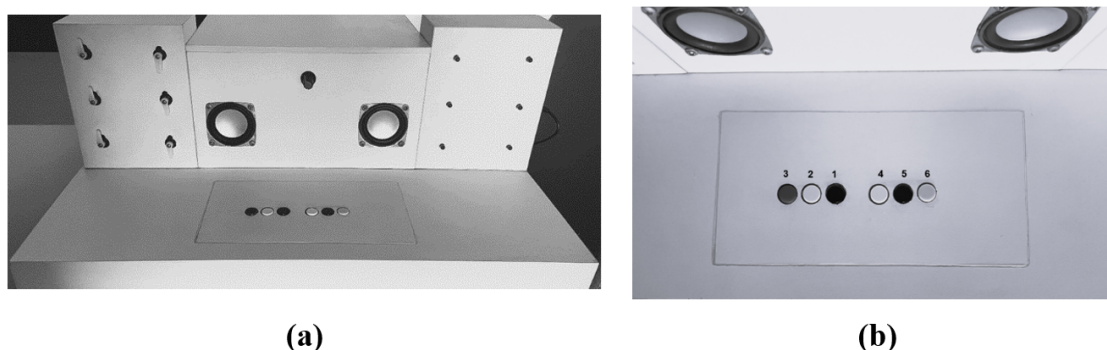


Figura 3. (a) Visão frontal do dispositivo (b) Visão superior do dispositivo, com representação numérica dos botões táteis, seguindo a máquina *Perkins Brailier*. Fonte: dos autores

O funcionamento do dispositivo ocorre pelo acionamento dos botões táteis. Por exemplo, ao pressionar o terceiro botão tátil da esquerda para a direita (o de número 1), o LED e o micro servo motor localizados no canto superior esquerdo são acionados, em ambas as celas braille, juntamente com o som produzido que informa: **”letra A, ponto 1”**. Para produzir as demais letras do alfabeto braille, basta combinar o acionamento dos botões táteis, respeitando a sua numeração correspondente aos pontos da cela braille (Figura 1). Dessa forma, é possível ver, sentir e ouvir no dispositivo, o símbolo correspondente do alfabeto braille.

5.3. Implementação do Algoritmo

Para o controle e gerenciamento do microcontrolador Arduino foi desenvolvido um algoritmo em linguagem C embarcado neste microcontrolador. O fluxograma do funcionamento do algoritmo é apresentado na Figura 4.

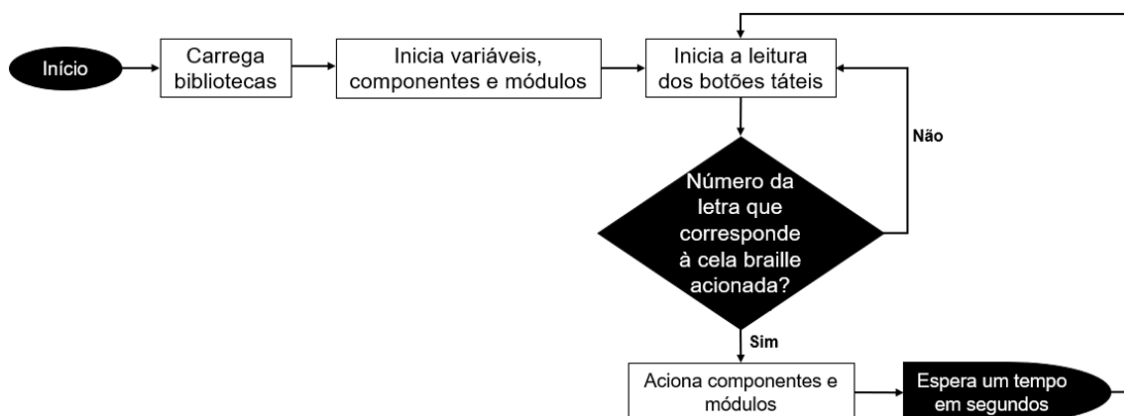


Figura 4. Fluxograma do funcionamento do algoritmo. Fonte: dos autores.

O algoritmo inicia a execução, carregando as bibliotecas e iniciando as variáveis necessárias. Estas atividades são responsáveis por habilitar as funções dos componentes e módulos, bem como estabelecer a comunicação do microcontrolador entre eles. Posteriormente, o programa inicia a leitura dos botões táteis em função do acionamento mecânico do utilizador.

Com base na(s) leitura(s) dos botões táteis, verifica-se a combinação numérica correspondente a letra transcrita para o braille. Caso a correspondência seja verdadeira, os componentes e módulos são acionados por intermédio do microcontrolador e o utilizador recebe, como saída, os *feedbacks* que correspondem aos estímulos visual, sonoro e tátil. Esses estímulos duram segundos e varia em função da quantidade de pontos braille de cada caractere acionado. Após esse tempo, nova leitura dos botões táteis é iniciada. Caso ocorra um acionamento indevido dos botões, ou seja, não exista correspondência numérica entre os caracteres braille, é efetuada novamente a leitura dos botões.

6. Avaliação do Dispositivo

A avaliação do dispositivo foi realizada por meio de observação e de pesquisa de opinião, para obter um melhor entendimento da interação de pessoas com deficiência visual e surdocegueira com o dispositivo tecnológico em dois eventos distintos: na Semana Nacional de Ciência e Tecnologia (SNCT) [IBC 2023] e na oficina “Códigos & Circuitos com Arduino: Programação em C para *Makers*”, ambos promovidos pelo Instituto Benjamin Constant.

O primeiro evento ocorreu nos dias 17, 18 e 19 de outubro de 2023. O dispositivo foi exposto em uma mesa e manuseado por cinco cegos, quatro surdocegos e nove videntes, especialistas na temática da deficiência visual, incluindo educadores guias-intérpretes que trabalham com reabilitação e ensino de estudantes com surdocegueira. Esses educadores estavam acompanhados pelos educandos surdocegos. Já o segundo evento ocorreu no dia 16 de maio de 2024, com a participação de uma professora da área da Computação, especialista na temática da deficiência visual, e sete estudantes de primeiro período do curso técnico de Desenvolvimento de Sistemas: dois com baixa visão e cinco cegos.

Em ambos os encontros, não foram coletados dados demográficos dos professores ou estudantes participantes, apenas o tipo de deficiência destes (baixa visão, cegueira e surdocegueira), bem como a opinião das pessoas em relação ao dispositivo. Os encontros foram iniciados pela apresentação do dispositivo: apenas a indicação de que ele era direcionado ao ensino do braille e que se assemelhava a máquina *Perkins Brailier*. Em seguida, os estudantes com deficiência visual e surdocegos (com apoio de profissionais guias-intérpretes), além de professores especialistas, cegos ou não, decidiram experimentar a tecnologia. Eles quiseram conhecer o equipamento por meio da percepção tátil. Notaram, como primeira impressão, que de fato o dispositivo continha um conjunto de botões táteis, similares a máquina *Perkins Brailier*. Isso os deixou em uma situação confortável, já que relataram como algo do seu conhecimento. Entenderam o propósito do dispositivo e iniciaram a interação.

Durante a interação com o equipamento, todos os estudantes (com baixa visão, cegos e surdocegos), além dos professores cegos apresentaram *feedbacks* positivos sob diversos aspectos. Eles relataram que a interação e a utilização do dispositivo foram fáceis e intuitivas. Os botões seguiam bom alinhamento e boa ordenação numérica, respeitando o acionamento correto do caractere braille.

Outros pontos positivos percebidos pelos estudantes cegos e com baixa visão, foram as percepções visual (baixa visão) e sonora que se mostraram fáceis, transparentes, compreensíveis e síncronas entre si e com a percepção tátil, o que deu a eles o entendimento correto do caractere braille acionado pelos botões e contribuiu para uma ex-

periência satisfatória. Além disso, todas as pessoas avaliaram positivamente o design do dispositivo, assim como a textura, o tamanho e o formato do conjunto de peças utilizadas na composição da tecnologia.

Um ponto de atenção relatado pelos estudantes cegos e surdocegos foi a percepção tátil, que não se mostrou transparente e compreensível, devido à não abrangência tátil nos dois motores da última linha da cela braille (correspondente aos pontos 3 e 6). Outro ponto relatado tanto pelos discentes quanto pelos docentes cegos e videntes foi que o áudio produzido pelo *feedback* sonoro estava um pouco baixo (mesmo ajustado no volume máximo do módulo amplificador), embora tenham informado que isso não impactou negativamente na compreensão sonora.

Dentre os educandos e docentes cegos, observou-se que alguns interagiram com a tecnologia muito rapidamente, enquanto outros permaneceram por mais tempo. Aqueles que testaram o dispositivo por mais tempo, acionaram todas as letras do alfabeto para perceber a sincronia entre os *feedbacks* sonoro e tátil. Já os estudantes com baixa visão e professores videntes tiveram a mesma percepção dos docentes e estudantes cegos em relação à interação com o equipamento. Eles notaram o retorno visual (com LEDs), além dos *feedbacks* sonoro e tátil. Isso foi positivo, pois demonstrou a eficácia da tecnologia.

Os alunos e professores que interagiram com a tecnologia, tanto na exposição quanto na oficina, concordaram que o equipamento contribui facilmente para o ensino-aprendizagem do braille. Eles informaram que a tecnologia se mostrou promissora em comparação a outras tecnologias já utilizadas por eles, como *Brinca Braille* [Tecassistiva 2024]. Destacaram que o aparelho pode ajudar a relembrar pontos de algum caractere braille esquecido.

Como o método de observação adotado e a avaliação da tecnologia não foram aplicados em um ambiente controlado (já que ocorreram em uma exposição e oficina), não se utilizou nenhuma métrica, como a contagem da duração do tempo de uso de cada pessoa com ou sem deficiência visual e surdocega na interação com o equipamento. Além disso, nenhum dado dos participantes foi registrado.

Os docentes e estudantes sugeriram algumas modificações no equipamento, baseadas em suas experiências. As limitações tecnológicas e sugestões de melhoria são apresentadas na próxima seção.

7. Resultados

Dentre os pontos de atenção identificados na avaliação está a não abrangência tátil nos dois últimos motores (correspondentes aos pontos 3 e 6). Isso gera um problema e um desconforto para os estudantes com deficiência visual e principalmente para aqueles com surdocegueira que dependem apenas do tato, o que impossibilita que eles sintam determinados caracteres braille formados através dos pontos 3 e 6. Como sugestão para resolver este problema, os docentes e estudantes propuseram que a caixa representando a cela braille com os motores tenha uma inclinação de aproximadamente 60°. Dessa forma, os estudantes com deficiência visual e surdocegueira poderiam posicionar as mãos corretamente nesses motores, garantindo uma percepção tátil efetiva.

Para resolver esta limitação do dispositivo, propõe-se ajustar o ângulo de inclinação de 60° para todas as caixas, não apenas a de percepção tátil, tornando o dispo-

sitivo homogêneo. Isto poderia evitar problemas futuros na utilização da tecnologia pelas pessoas com deficiência. Além disso, trazendo conforto aos estudantes durante o uso do equipamento.

Outra sugestão de melhorias dada pelos participantes foi a inclusão de dois plugues fêmeas de saída de áudio para fones de ouvido: um para educadores e outro para discentes. A ideia é permitir que o docente acompanhe o estudante no aprendizado do braille, além de contornar o problema do baixo volume sonoro em locais com pouca ou nenhuma acústica. Isso garantirá o isolamento acústico, diminuindo ruídos externos que possam atrapalhar o processo de ensino-aprendizagem.

Mais uma sugestão apresentada pelos professores videntes e pelos estudantes com baixa visão foi a substituição dos LEDs vermelhos por LEDs azuis. Segundo eles, a cor azul oferece um contraste melhor e mais suave, apesar dos LEDs vermelhos ainda permitirem a visualização dos caracteres braille. As propostas apresentadas foram modeladas e adicionadas ao modelo do dispositivo, conforme a Figura 5.

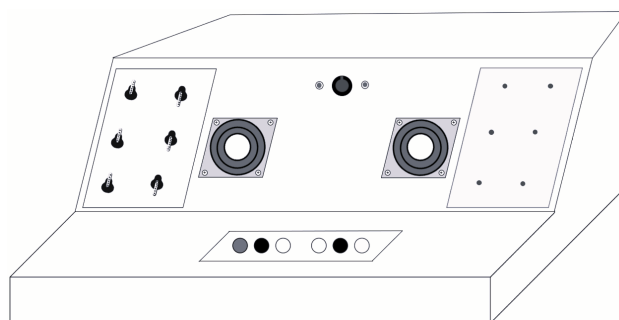


Figura 5. Modelo conceitual do dispositivo com os ajustes. Fonte: dos autores

Observa-se que os resultados apresentados pelos docentes e estudantes mostram a relevância do uso do equipamento nas escolas, contribuindo para a formação das pessoas com deficiência na educação inclusiva.

8. Conclusão

O desenvolvimento de um dispositivo educacional de baixo custo para o ensino do braille representa um passo significativo para promover a independência e a inclusão de estudantes com deficiência visual e surdocegos na educação. Construído com componentes e módulos que facilitam a interação de estudantes e educadores, o dispositivo proposto permite o ensino e a aprendizagem do braille para diversos perfis de discentes.

Com base nas contribuições de potenciais usuários na avaliação, destaca-se que o dispositivo é acessível e inclusivo, o que possibilita o ensino do braille sem dificuldades. Por ser de baixo custo, não oferece barreira social, gerando um impacto positivo em todas as camadas da sociedade. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi alcançado. Apesar disso, o dispositivo necessita de melhorias. Em trabalhos futuros, serão feitas as devidas atualizações e correções com base no *feedback* dos participantes. Além disso, serão feitos ajustes e reestruturações em todo o hardware como uma forma de tornar a tecnologia menor, mais leve e com mais ergonomia, com perspectiva de substituir o MDF por material mais barato. Posteriormente, será conduzida uma nova avaliação, em ambiente controlado, com usuários com deficiência visual e surdocegos.

Referências

- Alvarez, F. C., Podoliako, P. J. C., and Padilla, A. B. (2015). Iris - mensajería instantánea para personas con ceguera en dispositivos móviles con pantalla táctil. *Sinergia e Innovación*, 3:42. Disponível em: <https://revistas.upc.edu.pe/index.php/sinergia/article/view/407>. Acesso em: 27 jun. 2024.
- Beal, F. and García, L. (2020). Introduzindo mapas conceituais para estudantes com cegueira via recursos tangíveis. In *Anais do XXXI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, pages 682–691, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbie/article/view/12824>. Acesso em: 27 jun. 2024.
- Bigate, T. F. (2023). Libras tátil e efeitos de sentidos: algumas considerações a respeito das condições de produção. In do Amaral Ribeiro, A., Braz, C. R. I., and de Aguiar Barbosa, F., editors, *Vivências em língua portuguesa: leitura, língua não materna e ensino*, pages 132–138. UERJ. Disponível em: https://felin.pro.br/wp-content/uploads/2024/03/FELIN_2022_Ebook_04_VF_site.pdf. Acesso em: 27 jun. 2024.
- Brasil (2004). Decreto nº 5.296 de 2 de dezembro de 2004. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5296.htm. Acesso em: 27 jun. 2024.
- Brasil (2015). Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146. Acesso em: 27 jun. 2024.
- Brasil (2018). *Grafia Braille para Língua Portuguesa*. Elaboração: Dos Santos, Fernanda Christina; De Oliveira, Regina Fátima Caldeira.
- Brasil (2021). Lei nº 14.126, de 22 de março de 2021. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14126.htm. Acesso em: 27 jun. 2024.
- Brasil (2022). Decreto nº 11.063, de 4 de maio de 2022. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/d11063.htm. Acesso em: 27 jun. 2024.
- Brasil (2023). Pobreza cai para 31,6. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/38545-pobreza-cai-para-31-6-da-populacao-em-2022-apos-alcancar-36-7-em-2021>. Acesso em: 27 jun. 2024.
- Brasil (2024). Deficiência visual. Disponível em: <https://www.desenvolvimentosocial.pr.gov.br/Pagina/Deficiencia-Visual>. Acesso em: 27 jun. 2024.
- Cambruzzi, R. d. C. S. (2007). Análise de uma experiência de atitudes comunicativas entre mãe e adolescente surdocega: construção de significados compartilhados. Dissertação de Mestrado. UFSCAR. Programa de Pós-Graduação em Educação Especial.
- de Campos, F. P. V., Paschoalin, T. C., and Fernandes, D. (2015). Dispositivo mostrador eletrônico remoto com informações audiovisuais e em braille para redes inteligentes. BR 102015005245-6. Depósito: 04 fev. 2015. Concessão: 03 mar. 2022.

- de Oliveira, M., Amaral, G., Scheneider, J., Merlin, B., Fülber, H., and de Oliveira Veras, A. A. (2020). Bioblu app: Tecnologia assistiva para auxiliar o ensino de genética clássica a deficientes visuais. In *Anais do XXXI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, pages 772–781, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbie/article/view/12833>. Acesso em: 27 jun. 2024.
- Falkoski, F. C. and Maia, S. R. (2020). *Surdocegueira congênita: comunicação com o uso de recursos de comunicação alternativa*. Editora CRV.
- Ferreira, E. d. M. B. (2023). Apostila de sistema braille simbologia básica aplicada à língua portuguesa linha braille: Telas nas pontas dos dedos. rbc news. In *Revista Brasileira para Cegos / MEC/Instituto Benjamin Constant*, volume único. Impressão em braille.
- Hoskin, E. R., Pinder, S. D., and Davies, T. C. (2024). Development of braillebunny: a device to enhance braille learning. *Disability and rehabilitation. Assistive technology*, 19:1610–1625. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37368974>. Acesso em: 27 jun. 2024.
- IBC (2023). I semana de ciência e tecnologia - instituto benjamin constant. Disponível em: <https://www.even3.com.br/snct-ibc-2023>. Acesso em: 27 jun. 2024.
- IBGE (2022). *Pessoas com deficiência e as desigualdades sociais no Brasil (folheto)*. IBGE. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101964_informativo.pdf. Acesso em: 18 ago. 2024.
- IBGE (2023). Pessoas com deficiência têm menor acesso à educação, ao trabalho e à renda. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37317-pessoas-comdeficienciatem-menor-acesso-a-educacaoaotrabalho-earend>. Acesso em: 18 ago. 2024.
- INEP (2024). Resumo técnico do censo da educação superior 2022. Disponível em: https://download.inep.gov.br/publicacoes/institucionais/estatisticas_e_indicadores/resumo_tecnico_censo_educacao_superior_2022.pdf. Acesso em: 27 jun. 2024.
- Ito, D. R. (2019). Dispositivo para aprendizado alfabeto braille. 102019026906-5 A2. Depósito: 17 dez. 2019.
- Lima, C., Marcon, M., Ortoncelli, A., and Beal, F. (2023). Desenvolvimento de uma interface tangível de usuário para auxílio de estudantes cegos em conteúdos de disciplinas da computação. In *Anais do XXXIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, pages 972–982, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbie/article/view/26727>. Acesso em: 27 jun. 2024.
- Lopez, R. M., Pinder, S. D., and Claire Davies, T. (2019). Co-designing: Working with braille users in the design of a device to teach braille. In Ahram, T. Z. and Falcão, C., editors, *Advances in Usability, User Experience and Assistive Technology*, pages 798–807, Cham. Springer International Publishing. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-94947-5_78. Acesso em: 27 jun. 2024.
- Macedo, R., Pereira, C., Fernandes, A., Santana, K., and Santos, A. (2017). Blinds, education and mathematics: Objeto de aprendizagem sobre as operações básicas da

- matemática com o uso dos recursos de síntese e reconhecimento de voz. *Anais do XXVIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*. Disponível em: <http://milanesa.ime.usp.br/rbie/index.php/sbie/article/view/7573>. Acesso em: 27 jun. 2024.
- Mizrahi, S. E., Cícero, J. R., Guerra, G., and de Souza Lourenço, E. G. W. A. (2016). Dispositivo mecatrônico e método para geração de caracteres em braille. BR 102016006849-5. Depósito: 29 mar. 2016. Concessão: 25 jan. 2022.
- Mombach, J. and Welfer, D. (2017). Aplicativo identificador de cédulas para apoio ao ensino do sistema monetário brasileiro a pessoas com deficiência visual. *Anais do XXVIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*. Disponível em: <http://milanesa.ime.usp.br/rbie/index.php/sbie/article/view/7635>. Acesso em: 27 jun. 2024.
- Ohtsuka, S., Tomizawa, T., Hasegawa, S., Sasaki, N., and Harakawa, T. (2013). Introduction of a wireless body-braille device and a self-learning system. *2013 IEEE 2nd Global Conference on Consumer Electronics, GCCE 2013*, pages 407–409. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6664872>. Acesso em: 27 jun. 2024.
- Ottaiano, J. A. A., de Ávila, M. P., Umbelino, C. C., and Taleb, A. C. (2019). *As condições de saúde ocular no Brasil 2019*. Conselho Brasileiro de Oftalmologia, 1ed edition.
- Pimentel, A. X., de Paula, H. N., dos Santos de Paula, J. H., Marciano, M. M., and Hissa, R. M. (2016). Célula mecatrônica tateável para interpretação de caracteres braille de texto digitalizado ou sonoro para portadores de deficiência visual. In *XIII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia*.
- Reis, J., Nascimento, R., Pereira, J., and Matta, M. (2018). Sistema computacional no auxílio da inclusão da pessoa com deficiência visual no âmbito educacional. *Anais do XXIX Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*. Disponível em: <http://milanesa.ime.usp.br/rbie/index.php/sbie/article/view/8054>. Aesso em: 27 jun. 2024.
- Rezende, A. L., Jesus, C., Nogueira, A., Pereira, I., Neto, A. S., Costa, G., and Souza, M. (2021a). Tecnologia assistiva minder: possibilidades de um computador de baixo custo na inclusão sociodigital de sujeitos não videntes. In *Anais do XXXII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, pages 586–597, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Rezende, A. L., Jesus, C. P., Nogueira, A., Pereira, I., Neto, A. S., Costa, G., and Souza, M. (2021b). Leitor digital autônomo de baixo custo m-reader: Tecnologia assistiva como possibilidade de inclusão sociodigital dos sujeitos com deficiência visual. In *Anais do XXXII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, pages 552–563, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbie/article/view/18086>. Acesso em: 27 jun. 2024.
- Santana, K., Pereira, C., Fernandes, A., Santos, A., and Macedo, R. (2017). Blinds, basic education: jogo digital inclusivo para auxiliar o processo de ensino-aprendizagem das pessoas com deficiência visual. *Anais do XXVIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*. Disponível em: <http://milanesa.ime.usp.br/rbie/index.php/sbie/article/view/7616>. Acesso em: 27 jun. 2024.

- Santana, K., Pereira, C., and Santana, B. (2019). Braillearning: Software para simular a máquina de escrever em braille. *Anais do XXX Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*. Disponível em: <http://milanesa.ime.usp.br/rbie/index.php/sbie/article/view/8838>. Acesso em: 27 jun. 2024.
- Silva, L. A., Zander, C. E., Silva, I. J. I. D., Ruperti, E. S., Nascimento, J. C. R. D., Encinas, R. S., Filho, U. A. E., Oliveira, F. J. D., Savi, R., Olyntho, R. M., Otte, M., Santos, M. C. D. D., Ribeiro, J. G. M., and Maciel, W. M. M. (2012). Dispositivo portátil ótico-mecânico para transcrição de textos em braille e áudio. BR 102012016432-9. Depósito: 03 jul. 2012. Concessão: 09 mar. 2021.
- Sobral, F., Umeres, L., Schanoski, W., Bartelmebs, R., and Assis, M. (2017). A utilização de role playing games digitais como ferramenta complementar no processo de aprendizagem de crianças deficientes visuais. *Anais do XXVIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*. Disponível em: <http://milanesa.ime.usp.br/rbie/index.php/sbie/article/view/7592>. Acesso em: 27 jun. 2024.
- Sá, E. D. d., Campos, I. M. d., and Silva, M. B. C. (2007). *Atendimento Educacional Especializado*. Ministério da Educação.
- Tecassistiva (2024). Brinca braille. Disponível em: <https://www.tecassistiva.com.br/catalogo/brincabraile>. Acesso em: 27 jun. 2024.
- Wagh, P., Prajapati, U., Shinde, M., Salunke, P., Chaskar, V., Telavane, S., and Yadav, V. (2016). E-braille-a self-learning braille device. *2016 22nd National Conference on Communication, NCC 2016*. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7561162>. Acesso em: 27 jun. 2024.