

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SÃO
PAULO – CAMPUS CUBATÃO

CURSO TÉCNICO EM INFORMÁTICA

BEATRIZ GONÇALVES ANDREETA
ISABELLI FERREIRA DA SILVA
MARIANA PRATA LEITE
MELISSA ALVES DOS SANTOS

**Falta de acesso de conteúdo literário para pessoas cegas: criação de um célula
braille digital acessível**

Cubatão

2024

Sumário

Introdução.....	4
1. Materiais e Métodos.....	5
2. Recursos e Tecnologias Disponíveis.....	7
3. Propostas de Melhoria.....	12
4. Resultados e Discussão.....	15
5. Conclusão.....	21

Resumo: Existe uma carência de acesso à literatura e à alfabetização para pessoas cegas. O objetivo deste trabalho é propor uma solução prática com o desenvolvimento de um protótipo de dispositivo computacional de baixo custo para facilitar o acesso à leitura em braille. Com base na análise de artigos e projetos semelhantes, foi desenvolvido um protótipo utilizando Arduino e outros componentes eletrônicos. O projeto apresentou sucesso nas etapas realizadas até agora e está no processo de transição para a utilização de solenoides. O trabalho continua em andamento e o objetivo final é alcançar um dispositivo acessível que respeite as normas técnicas, possibilitando seu uso como ferramenta inclusiva e de apoio em aulas para pessoas com deficiência visual.

Palavras-chave: acessibilidade; arduino; braille; baixo-custo; literatura; tecnologia.

The lack of access to literature contest to blind people: creation of a digital braille cell accessible

Abstract: There is a lack of access to literature and literacy resources for blind individuals. The objective of this work is to propose a practical solution by developing a low-cost computational device prototype to facilitate access to Braille reading. Based on the analysis of articles and similar projects, a prototype was developed using Arduino and other electronic components. The project has shown success in the stages completed so far and is currently transitioning to the use of solenoids. The work is ongoing, with the ultimate goal of creating an accessible device that adheres to technical standards, enabling its use as an inclusive and supportive tool in classes for visually impaired individuals.

Keywords: accessibility; arduino; braille; low-cost; literature; technology.

Introdução

O sistema braille, desenvolvido por Louis Braille no início do século XIX (Jiménez, J. et al., 2009), teve sua universalização pela UNESCO em 1950, e seu reconhecimento como uma "linguagem vital de comunicação" em 2005. Assim, destaca-se a importância contínua do braille na promoção da equidade e do acesso à informação, sendo sua criação um dos marcos mais significativos na história da acessibilidade para pessoas com deficiência visual.

Consistindo em um conjunto de 63 sinais formados a partir de uma matriz de seis pontos, a cela, ou célula, braille (Brasil, 2018) permite a leitura e escrita por meio do toque, transformando a maneira como os cegos interagem com o mundo ao seu redor.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Brasil possui mais de 45 milhões de pessoas com deficiência, e a maioria têm deficiência visual, o que representa quase 36 milhões de pessoas. Contudo, apenas cerca de 5% da literatura no mundo está transcrita para braille.

Dito isso, a criação de tecnologias assistivas acessíveis é essencial para promover a inclusão de pessoas com deficiência visual na sociedade digital moderna, já que a leitura por meio dos símbolos é indispensável para o desenvolvimento do intelecto (Eugenio; Carvalho; de Freitas, 2023). Desde 1980 existem os displays braille, porém os preços são exorbitantes e inacessíveis para a maioria da população.

Neste contexto, o presente trabalho propõe a criação de uma célula braille digital de baixo custo para promover a autonomia e inclusão das pessoas cegas. Para isso, foram somadas ideias vistas em outros projetos semelhantes, no entanto, com a ambição de algo não alcançado até então: uma célula braille acessível que respeite as normas técnicas do tamanho dos pontos.

1. Materiais e Métodos

A pesquisa teve início com a avaliação da necessidade, por meio de um levantamento teórico com bibliografias relevantes sobre o tema, com o objetivo de validar a importância da realização do projeto. De acordo com Moreira (2023), a substituição de livros físicos e em braille por tecnologias de leitura de texto, como audiobooks, pode restringir o desenvolvimento completo do indivíduo, visto que a leitura favorece o pensamento crítico, aprimora as habilidades de escrita e estimula a imaginação. Entretanto, o braille apresenta várias limitações no acesso, já que o material físico, além de ser caro, é volumoso e pesado, dificultando o transporte (Santos et al., 2016).

Como parte do processo, foram consultados pedagogos especializados em educação especial e estudantes cegos no ensino médio, que aprovaram a relevância e o desenvolvimento do projeto. Assim, a importância do projeto foi confirmada, uma vez que se espera como resultado a solução das questões identificadas.

Foi realizado, então, um estudo do “estado da arte” para aproveitar os aspectos positivos de dispositivos semelhantes, buscando maior eficácia no desenvolvimento do nosso próprio dispositivo. Esse estudo foi conduzido por meio da leitura de artigos sobre o tema, resultando no fichamento de 5 artigos com base nas seguintes perguntas:

1. Quais componentes de hardware foram empregados no desenvolvimento desses projetos?
2. Como foi estruturado o design dos dispositivos apresentados?
3. Quais tipos de atuadores foram integrados nos dispositivos analisados?
4. Qual software ou linguagem de programação foi utilizada para viabilizar o funcionamento desses dispositivos?
5. Quais facilidades foram identificadas durante o desenvolvimento desses projetos?
6. Quais foram as principais dificuldades enfrentadas na implementação desses dispositivos?
7. Esses dispositivos estão atualmente em uso? Se não, qual o motivo da não adoção dessas tecnologias?
8. Qual foi o custo total do projeto?
9. Resumo conciso de como esses dispositivos funcionam na prática.

Após as respostas às perguntas com base nos artigos analisados, iniciou-se o processo de criação de um protótipo virtual, e, devido ao sucesso obtido, foram dados os primeiros

passos para o desenvolvimento do dispositivo tátil para leituras digitais. Nesse processo, foram utilizados os materiais listados a seguir:

Software:

Arduino IDE;

Visual Studio Community;

Tinkercad;

VSPE;

Hardware:

Arduino Mega;

LEDs;

Resistores;

Protoboard pequena;

Computador;

Cabo USB;

Cabos machos;

Módulos semáforo de LED;

2. Recursos e Tecnologias Disponíveis

2.1 Ferramentas de Acesso à Literatura em Braille

O acesso à literatura em Braille é essencial na promoção da inclusão social, educacional e cultural de pessoas com deficiência visual. As ferramentas que viabilizam esse acesso podem ser divididas em duas categorias principais: as tradicionais, que possuem um caráter mais manual e artesanal, e as tecnológicas, que utilizam avanços eletrônicos para ampliar as possibilidades de leitura.

De um lado, as ferramentas tradicionais incluem materiais como livros impressos em Braille, que são produzidos em equipamentos específicos, como máquinas de escrever em Braille. Essas máquinas, embora eficazes para a produção de conteúdo tátil, apresentam limitações, como o grande volume físico dos materiais produzidos e os altos custos associados à impressão em larga escala. Além disso, esses livros não permitem atualizações ou correções de conteúdo, o que exige reimpressões completas em caso de revisões, tornando o processo mais trabalhoso e menos sustentável a longo prazo. E o material produzido desta forma é ainda muito limitado, existindo apenas pouquíssimas editoras de livros em braille no Brasil.

Por outro lado, as ferramentas digitais trazem uma resposta à necessidade de ampliar o acesso à literatura e tornar a leitura em Braille mais prática e acessível. Dispositivos como as linhas braille oferecem uma abordagem inovadora, permitindo que o conteúdo seja armazenado digitalmente e acessado de forma portátil, além de possuir a vantagem de integrar a leitura em Braille com outras tecnologias assistivas, como sintetizadores de voz e leitores de tela, promovendo uma experiência mais personalizada.

Ademais, a tecnologia digital possibilita a redução de custos a longo prazo, uma vez que elimina a necessidade de impressão física e permite o compartilhamento instantâneo de arquivos. Isso permite que qualquer tipo de conteúdo possa ser acessado e as obras disponíveis não fiquem limitadas a interesses acadêmicos ou comerciais.

Ambas as categorias de ferramentas desempenham papéis importantes na acessibilidade literária, possuindo vantagens e limitações em cada abordagem. No entanto, será destacado que as possibilidades que as tecnologias assistivas permitem para leitores cegos.

2.2 Materiais em Braille nas Instituições (Escolas)

A acessibilidade educacional para pessoas com deficiência visual é um direito fundamental garantido pela Constituição Brasileira e por legislações específicas como a Lei Brasileira de Inclusão (Lei nº 13.146/2015). Entretanto, a realidade nas escolas e instituições revela um cenário de desafios significativos relacionados à disponibilidade de materiais em Braille.

Atualmente, as principais instituições que realizam a transcrição e impressão de materiais em Braille são a Fundação Dorina Nowill para Cegos e o Instituto Benjamin Constant. Estas entidades, em colaboração com o Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) e o Ministério da Educação (MEC), têm desempenhado um papel essencial na promoção da acessibilidade para leitores cegos e com baixa visão, por meio de recursos adaptados. Ainda assim, essa demanda permanece aquém do necessário, como destacado pela Organização Nacional de Cegos do Brasil (ONCB).

De acordo com o último censo do IBGE, mais de 6,5 milhões de brasileiros possuem deficiência visual severa, sendo 582 mil cegos e 6 milhões com baixa visão. Apesar desse número expressivo, a ONCB denuncia a escassez ou ausência de livros didáticos em Braille e outros materiais pedagógicos adaptados na rede escolar. Tal lacuna compromete não apenas a qualidade da educação, mas também o direito à inclusão plena.

A logística inadequada e a falta de planejamento na adaptação e transcrição dos conteúdos são apontadas como as principais causas desse problema. Relatos de atrasos crônicos na entrega dos materiais didáticos em Braille evidenciam falhas estruturais que colocam em risco a efetividade das políticas públicas voltadas à educação inclusiva. Essas falhas são frequentemente denunciadas por organizações como a Laramara – Associação Brasileira de Assistência à Pessoa com Deficiência Visual.

Para o sociólogo Beto Pereira, presidente da ONCB e consultor em inclusão, acessibilidade e diversidade, o desafio vai além da entrega física dos materiais. Trata-se de garantir um compromisso sistêmico com a igualdade de oportunidades, reconhecendo que a alfabetização e o acesso ao conhecimento são direitos fundamentais de cada criança e adolescente, independentemente de suas condições físicas.

A mobilização de entidades como o MEC e o Conselho Nacional dos Direitos da Pessoa com Deficiência (Conade) tem buscado mudanças concretas, incluindo a adoção de prazos mais rígidos e a priorização do preparo de materiais adaptados. Tais iniciativas, no

entanto, requerem maior comprometimento político e administrativo para assegurar uma implementação eficaz. A inclusão escolar no Brasil, enquanto princípio fundamentado em legislações como o Decreto nº 7.611, de 17 de novembro de 2011, ainda enfrenta desafios consideráveis em sua implementação prática. Este decreto estabelece diretrizes claras para garantir que os sistemas educacionais atendam às necessidades de todos os alunos, disponibilizando materiais adaptados que respeitem suas diferenças. No entanto, a realidade observada em muitas escolas revela que o processo de inclusão escolar permanece em desenvolvimento.

Apesar do compromisso formal com a inclusão, há uma lacuna significativa entre o que as políticas públicas prometem e o que é efetivamente entregue. Um exemplo disso é a falta de materiais pedagógicos em Braille e outros recursos adaptados que deveriam atender estudantes com deficiência visual. Essa carência é especialmente preocupante nas escolas localizadas em áreas mais remotas ou com infraestrutura precária, onde tais recursos frequentemente não chegam.

Essa situação gera um cenário em que a equidade educacional é comprometida, resultando em barreiras para a plena participação e aprendizagem dos estudantes com deficiência. Para reverter esse quadro, é essencial que as instâncias responsáveis fortaleçam os mecanismos de logística, planejamento e monitoramento na entrega de materiais adaptados. A garantia do acesso a recursos pedagógicos adequados não é apenas uma questão técnica, mas um elemento fundamental para consolidar o direito à educação inclusiva.

O desenvolvimento do processo de inclusão escolar exige, portanto, um compromisso contínuo e ações efetivas que vão além do discurso. Somente assim será possível transformar o ideal de inclusão em uma realidade palpável para todos os alunos, independentemente de suas condições.

Em suma, a luta pela disponibilização de materiais didáticos em Braille reflete um esforço mais amplo em direção a uma sociedade inclusiva, que valorize a diversidade e assegure a igualdade de condições para todos. A superação desses desafios é uma responsabilidade coletiva que exige ações imediatas e coordenadas. Cada dia de atraso na oferta de materiais em Braille representa não apenas uma barreira educacional, mas também uma violação dos direitos de milhares de estudantes brasileiros.

2.3 Softwares e Aplicativos

Entre as ferramentas tradicionais para a escrita Braille estão a reglete e a punção. A reglete funciona como uma guia para a marcação dos pontos, enquanto a punção é utilizada para perfurá-los no papel. Apesar de simples, essas ferramentas continuam sendo amplamente utilizadas por sua acessibilidade, especialmente em contextos escolares ou domésticos.



FIGURA 1. Exemplo de reglete e punção. Fonte: Ministério da Educação (2024).

No que se refere às novas tecnologias, existem opções variadas de recursos para acessibilidade ao acesso à leitura para pessoas cegas. Contudo, considerando o salário mínimo previsto para 2025 de R\$1.509,00 (Mugnatto, 2024), as tecnologias mais avançadas para leitura tátil como a linha braille possuem custos exorbitantes para os cidadãos brasileiros. Além disso, considerando as instituições escolares, torna-se inviável adquirir uma quantidade razoável de dispositivos, e materiais didáticos em braille num todo, para pessoas cegas. Sendo demonstrado essas informações de forma mais detalhadas na tabela 1:

Nome	Tátil / Auditivo	Gratuito/ Pago	Custo Aproximado
Linha Braille	Tátil	Pago	± 20 mil reais
Livros em Braille	Tátil	Pago	± 50 reais
Leitor de tela	Auditivo	Gratuito, sendo pago	Não se aplica

		o dispositivo	
Orcam MyEye	Auditivo	Pago	± 24 mil reais

TABELA 1. Informações sobre dispositivos de leitura para pessoas cegas

3. Propostas de Melhoria

A inclusão de tecnologias assistivas no cotidiano das pessoas com deficiência visual é um ponto crucial para promover maior autonomia e acesso à informação. O presente trabalho busca ampliar as tecnologias assistivas disponíveis no mercado para pessoas com deficiência visual, cegueira ou baixa visão e, para tal, avaliou-se a necessidade através de um levantamento teórico com a bibliografia sobre as ferramentas de acesso a literatura em Braille e consultas práticas a fim de comprovar a relevância da realização desse projeto.

3.1 Ampliação de Recursos Acessíveis

Como ressaltado por Moreira (2023), a substituição dos livros físicos e em Braille por tecnologias de leitura de texto, como audiobooks, limita o desenvolvimento pleno do indivíduo, uma vez que a leitura é capaz de fomentar o pensamento crítico, aprimorar as habilidades de escrita e potencializar o uso da imaginação. No entanto, o sistema Braille, embora insubstituível em diversos aspectos, apresenta limitações consideráveis, especialmente no que diz respeito à acessibilidade ao material físico. Segundo Santos et al. (2016), o custo elevado da produção de materiais transcritos, o volume e o peso dos livros em Braille dificultam seu transporte e disponibilidade. Ainda, a maioria das traduções realizadas tem um enfoque educacional, deixando de atender plenamente às diversas necessidades dos leitores com deficiência visual, cegueira ou baixa visão. Essa problemática é evidente no cotidiano dos estudantes do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Campus Cubatão (IFSP-CBT), onde há uma grande disparidade no acervo da biblioteca. Enquanto os livros comuns oferecem uma ampla variedade de gêneros, como romance, terror e ficção, os exemplares em Braille estão restritos a obras clássicas e materiais educacionais.

Ademais, o contato com pedagogos especializados e estudantes com deficiência visual do IFSP-CBT demonstrou a pertinência de tecnologias que utilizem o Braille não apenas como ferramenta de leitura, mas também como método de alfabetização. Assim, a proposta deste projeto inclui o desenvolvimento de um dispositivo que integre a transcrição de textos, atividades de leitura e de aprendizado em Braille, adaptando-se às necessidades específicas dos usuários, onde a modernização dessa tecnologia, aliada ao desenvolvimento de dispositivos eletrônicos acessíveis, pode superar limitações práticas e financeiras, viabilizando o aprendizado e desenvolvimento pleno de forma mais dinâmica e eficiente.

Sendo assim, faz-se necessário destacar que a ampliação de recursos acessíveis exige

uma abordagem integradora, que combine a preservação do Braille tradicional com inovações tecnológicas. Essa combinação garante não apenas a inclusão plena, mas também uma forma de educação e acesso à informação que respeite as particularidades de cada indivíduo. Assim, espera-se que este projeto contribua para a superação das barreiras atuais, promovendo uma verdadeira inclusão social e educacional.

3.2 Criação de um Dispositivo Leitor Digital em Braille

Em busca de superar as limitações dos livros físicos em Braille, que, embora essenciais para a inclusão de pessoas cegas, possuem características que dificultam seu uso cotidiano. Foi realizada a criação de uma célula braille eletrônica, buscando oferecer uma solução mais eficiente e prática, alinhada às demandas da sociedade contemporânea.

Desta forma, o projeto desenvolvido fundamenta-se na utilização de tecnologias de baixo custo, como o Arduino e outros componentes eletrônicos. Esse dispositivo é projetado para reproduzir caracteres táteis, um por um, sendo utilizado LEDs em sua fase inicial e, posteriormente, solenoides.

Assim, a abordagem foi pensada para garantir que o equipamento seja acessível financeiramente e fácil de operar, viabilizando sua adoção por instituições de ensino e bibliotecas.

O desenvolvimento do dispositivo incluiu as etapas: análise do estado da arte, realização de protótipos e estruturação do dispositivo.

- A análise do estado da arte realizada pela revisão de projetos similares, que permitiram identificar os desafios mais comuns e as soluções viáveis nesse tipo de tecnologia.
- A criação do protótipo inicial foi simulado em plataformas como o Tinkercad. E posteriormente realizada a estrutura utilizando-se ferramentas de software como Arduino IDE para controle do Arduino e LEDs, e Visual Studio para criação de uma interface para envio do arquivo a ser lido.
- Após os testes iniciais, iniciou-se a transição para o uso de hardware mais robusto, incluindo solenoides para movimentação dos pontos Braille. Por mais que os

solenoides ainda não estejam no tamanho apropriado, possibilitam a visualização da utilização do dispositivo de maneira mais adequada do que os LEDs.

Todas as etapas de desenvolvimento são mais detalhadas em sequência.

4. Resultados e Discussão

A consulta com os pedagogos responsáveis pelo atendimento especializado e com a estudante com deficiência do primeiro ano do ensino médio atestaram a pertinência do projeto. Além disso, trouxe outras aplicações, como a utilização do dispositivo para a alfabetização em braille, pela criação de um programa com atividades personalizadas para que pessoas cegas possam praticar com o dispositivo.

A análise dos artigos referenciados, revelou que a maior problemática dos projetos desenvolvidos foi a definição de atuadores adequados para a criação de um hardware que respeite a restrição de 2 mm para o diâmetro de cada ponto contido na célula braille. Esse desafio é fundamental, pois a precisão na formação dos pontos braille é essencial para garantir uma leitura tátil clara e eficiente. A necessidade de um ponto de 2 mm implica uma série de desafios, uma vez que os atuadores devem ser pequenos o suficiente para operar dentro dessa limitação, mas também precisam fornecer força suficiente para mover os pontos de maneira precisa e rápida.

Desse modo, conclui-se que a dimensão dos atuadores impõe restrições físicas significativas à produção do dispositivo. Atuadores maiores podem ser mais potentes, mas não conseguem atender à necessidade de compactação do dispositivo, aumentando o tamanho e comprometendo a eficiência da experiência de leitura. Por outro lado, atuadores muito pequenos podem não ser capazes de gerar a força necessária para mover os pontos braille com a precisão e clareza necessárias, tornando o dispositivo difícil de usar ou impreciso.

Autor e ano	Principais Vantagens	Principais Desvantagens	Custo Total
Marques Filho; Chaves; de Oliveira, 2024	O propósito do dispositivo era o ensino do braille, então não possuía a necessidade de uma leitura rápida, nos permitindo focar no desenvolvimento de um dispositivo acessível para iniciantes, sem pressa de	Foi necessário a elaboração de um <i>software</i> que permita boa interação com o usuário, essa criação de um <i>software</i> eficiente e intuitivo para interação com o usuário se revelou	Aproximadamente R\$876,00.

	leitura, sendo ideal para pessoas em fase inicial de alfabetização.	desafiadora, pois exigiu programação cuidadosa para garantir que o dispositivo respondesse adequadamente ao toque do usuário e escolha dos solenoides	
Santiago <i>et al.</i> , 2020	Os micromotores escolhidos permitiram ao dispositivo alcançar semelhança com os modelos comerciais, proporcionando maior qualidade na experiência de leitura, como as soluções já existentes no mercado, mas com um custo mais acessível.	Devido às limitações na velocidade de movimentação dos pontos braille, o dispositivo não é ideal para usuários que necessitam de leitura contínua e rápida, como no caso de textos mais longos.	Custo total de R\$1527,00. No entanto, com recursos disponíveis na oficina de produção, o valor será reduzido para R\$278,00.
Rocha <i>et al.</i> , 2019	O custo foi relativamente baixo, tendo em comparação os modelos presentes no mercado que ultrapassam a margem de 10 mil.	Foram detectadas algumas divergências entre a solução proposta com apenas uma célula e a leitura tradicional em braille, podendo causar estranheza na experiência de leitura em comparação com a leitura tradicional em braille, que utiliza várias células em paralelo. Essas	Os autores não relatam, mas a parte eletrônica citada chega ao total de R\$105,36.

divergências podem dificultar a adaptação de usuários que já estão familiarizados com o método tradicional de leitura braille.

Cho <i>et al.</i> , 2006	A possibilidade de controlar a movimentação dos pontos braille de forma precisa e eficiente usando motores lineares piezoelétricos, permitindo que os pontos braille se ajustem de forma exata e rápida, proporcionando uma experiência de leitura tátil com boa resolução e conforto.	O tamanho e custo do controlador de dispositivos devido às voltagens relativamente altas para operar os motores piezoelétricos, o que resulta no aumento do tamanho e custo do sistema.	Não há informações disponíveis sobre o custo total do projeto.
Torres; Ramirez, 2019	O programa foi facilmente adaptado para outros atuadores.	Encontrar solenoides adequados, que atendam às restrições de tamanho e força necessárias para a movimentação dos pontos braille, se mostrou uma tarefa difícil.	O custo total do projeto, registrado no documento, foi de R\$129,67.

A partir das pesquisas realizadas, foi possível desenvolver um esboço da estrutura inicial idealizada do protótipo, com o intuito de proporcionar uma visualização mais clara e precisa do projeto em suas primeiras etapas. Este esboço ilustra a configuração planejada do dispositivo, destacando a célula braille como um componente central. A célula braille do dispositivo será projetada para servir como apoio ao dedo do usuário, permitindo-lhe sentir os

pontos elevados que representam os caracteres do sistema braille. O dispositivo foi concebido de forma que os pontos braille possam se modificar dinamicamente conforme o texto recebido, proporcionando uma experiência interativa e eficiente para o usuário. A mudança dos caracteres em braille será acionada de acordo com os dados de entrada, permitindo que o dispositivo traduza texto escrito de maneira tátil, facilitando a leitura para pessoas cegas ou com deficiência visual.



FIGURA 2. Esboço do protótipo

Em seguida, iniciou-se o desenvolvimento do projeto por meio de uma simulação virtual utilizando a plataforma Tinkercad. Essa etapa foi crucial para testar a viabilidade do design e a integração dos componentes antes da construção física do protótipo. A simulação permitiu visualizar o funcionamento do dispositivo em um ambiente controlado, ajustando aspectos como o posicionamento dos LEDs e a resposta do sistema às entradas de texto.

Após a consolidação da ideia e a validação do design virtual, foi implementado o código Arduino em C++, que formou a base da programação do dispositivo. Esse código foi desenvolvido para receber mensagens via console, ou seja, o usuário pode digitar o texto que deseja transcrever. O código converte essas mensagens em caracteres braille, que são então representados por um conjunto de 6 LEDs dispostos em uma configuração estrutural semelhante a uma célula braille tradicional, com 3 LEDs em uma linha e 2 na outra, totalizando 6 pontos.

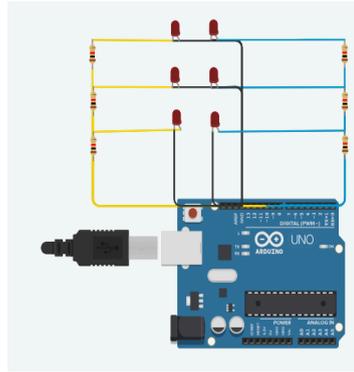


FIGURA 3. Protótipo Virtual no Tinkercad

Em continuidade, foi realizado o uso do *software* Visual Studio Community para a criação de um formulário que recebesse um arquivo .txt e a enviasse para o Arduino, o qual exibe a mensagem em braille pelos LEDs, utilizando conexão serial para essa comunicação. Dessa forma, o desenvolvimento da proposta dividiu-se em duas etapas, *software* e *hardware*.

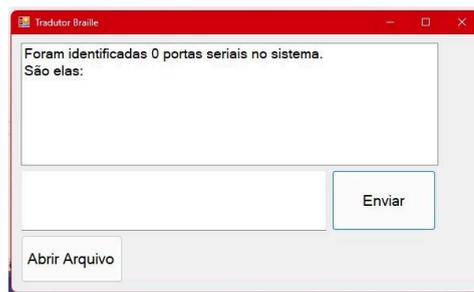


FIGURA 4. Formulário que envia um arquivo .txt para o Arduino por meio do computador

O desenvolvimento do hardware foi focado na utilização dos LEDs como elementos principais para a representação tátil dos caracteres em braille. O processo de implementação envolveu a programação dos LEDs para acenderem de forma sequencial, letra por letra, conforme o caractere braille recebido pelo programa. Cada letra ou símbolo em braille foi mapeado para um conjunto específico de LEDs, que acendem de acordo com a disposição dos pontos braille correspondentes.

A transição entre as letras é controlada de maneira que, durante a mudança de uma letra para outra, o código de controle permanece o mesmo, pois o solenoide utilizado no sistema possui apenas dois estados: ligado (HIGH) e desligado (LOW), assim como os LEDs. Esse controle binário simplificado facilita a implementação do sistema, garantindo que a mudança de caracteres seja realizada de forma eficiente, sem a necessidade de comandos complexos.

O uso de solenoides com esses dois estados facilita a construção e operação do dispositivo, embora também impusesse limitações no controle da complexidade das transições.

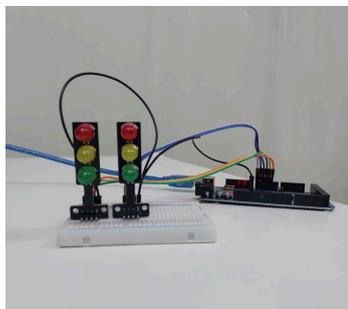


FIGURA 5. Protótipo físico em funcionamento

5. Conclusão

5.1 Síntese dos Resultados

Em suma, foi identificada a relevância do sistema Braille como um elemento essencial para a inclusão de pessoas com deficiência visual no Brasil, bem como o desacato enfrentado por esta população devido à escassez de materiais acessíveis e à exclusão social persistente. Os dados apresentados ao longo do trabalho reforçam a urgência dessa problemática, evidenciando que milhões de brasileiros com deficiência visual carecem de recursos adequados para alfabetização e acesso à informação.

No que diz respeito ao desenvolvimento do dispositivo, o projeto resultou em um protótipo que, embora ainda não funcional, apresentou resultados promissores nas etapas realizadas até o momento. A lógica de funcionamento do sistema já está definida e validada, sendo baseada em receber arquivos de texto e reproduzir cada caractere em braille no dispositivo.

A principal missão é adequar o tamanho dos atuadores e demais componentes, como a migração dos solenoides para dimensões apropriadas, garantindo que o dispositivo esteja em conformidade com os padrões ergonômicos e funcionais do sistema Braille.

5.2 Recomendações Finais

Durante o desenvolvimento do protótipo, foram identificados diversos desafios que, embora não solucionados integralmente, oferecem oportunidades significativas para aprimoramentos futuros. Um dos principais obstáculos enfrentados foi o elevado consumo energético dos solenoides, que demandam aproximadamente 700 mA cada. Para atender a essa necessidade, foi implementada uma interface de potência capaz de suprir a corrente necessária, uma vez que a placa Arduino utilizada não possui capacidade suficiente. No entanto, essa solução compromete a portabilidade do dispositivo. Recomendamos, portanto, a investigação de alternativas mais eficientes, como o uso de solenoides de menor consumo ou de atuadores que possam desempenhar a mesma função com maior eficiência energética.

Outro aspecto a ser abordado em futuras iterações é a miniaturização do protótipo. A célula Braille desenvolvida, composta por seis solenoides dispostos em forma matricial, apresenta dimensões consideravelmente maiores do que uma célula Braille efetiva, dificultando sua aplicabilidade prática. A redução do tamanho do dispositivo é crucial para

que ele atenda aos padrões ergonômicos e seja mais compatível com o uso diário por pessoas com deficiência visual.

Ademais, a conectividade do sistema limita sua versatilidade, visto que o software desenvolvido está disponível apenas como um executável para computadores. A criação de um aplicativo mobile seria um avanço significativo, uma vez que dispositivos móveis oferecem maior portabilidade e facilitam a interação do usuário com o protótipo. Essa adaptação também permitiria que o sistema fosse utilizado de maneira mais acessível em ambientes diversos.

Outro ponto que merece atenção é o modelo de solenoides utilizado. O movimento atual dos solenoides é de retração ("pull") para o interior do dispositivo, enquanto o objetivo inicial era que o movimento fosse de projeção ("push") para o exterior. Essa característica comprometeu inicialmente a funcionalidade esperada do protótipo, mas que foi logo superada. Sugere-se, portanto, a substituição dos solenoides por modelos que atendam a essa especificação ou o desenvolvimento de um mecanismo adicional que permita corrigir essa limitação.

Além disso, o uso de uma única célula Braille representa uma restrição importante para a funcionalidade do dispositivo. Embora essa configuração não seja suficiente para representar caracteres mais complexos, como pontuações, números e símbolos, o protótipo ainda se mostra útil como ferramenta educacional. Para iniciantes no aprendizado de Braille e para fins de alfabetização interativa, o dispositivo apresenta grande potencial, especialmente ao permitir uma introdução prática e acessível ao sistema.

Contudo, para usuários com maior proficiência no Braille, o dispositivo pode não atender a todas as suas necessidades. Futuros desenvolvimentos devem explorar a possibilidade de módulos expansíveis que integrem múltiplas células Braille, ampliando assim a gama de aplicações do dispositivo.

Por fim, embora o protótipo atual apresente limitações, ele estabelece uma base sólida para futuras pesquisas e aprimoramentos. Com as melhorias sugeridas, o dispositivo pode evoluir para uma solução mais eficiente, portátil e abrangente, contribuindo significativamente para a democratização do acesso à leitura para pessoas com deficiência visual.

Referências Bibliográficas, Recursos Online e Materiais Adicionais

BRASIL. CÂMARA DOS DEPUTADOS. **PROJETO DE LEI N.º 444-A**. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra%3Bjsessionid=5C29ECC104820C556FA6476BC0432282.node2>. Acesso em: 02 jan. 2025.

BRASIL. Planalto. Presidência da República. **LEI Nº 4.169, DE 4 DE DEZEMBRO DE 1962**. Presidência da República Casa Civil Subchefia para Assuntos Jurídicos. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/l4169.htm>. Acesso em: 04 jan. 2025.

BRASIL. GOVERNO FEDERAL. **Grafia Braille para a Língua Portuguesa: 3º edição**. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/docman/dezembro-2018-pdf/104041-anexo-grafia-braille-para-lingua-portuguesa/file>>. Acesso em: 04 jan. 2024.

BRASILIAN JOURNALS. **Desenvolvimento de um dispositivo para aprendizagem do sistema Braille**. Disponível em: <<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/66885>>. Acesso em: 02 abr. 2024.

CELTA. **Manual de confecção Celta**. Disponível em: <<https://celta.ufscar.br/wp-content/uploads/2020/04/Manual-de-confec%C3%A7%C3%A3o-Celta.pdf>>. Acesso em: 02 abr. 2024.

EDUCAÇÃO E PSICOLOGIA. **Projeto de uma cela Braille de baixo custo**. Disponível em: <<https://educacaoepsicologia.emnuvens.com.br/edupsi/article/view/189>>. Acesso em: 02 abr. 2024.

EUGENIO, Erika Lima de Melo; CARVALHO, Martha Milene Fontenelle; FREITAS, Ramiro Ferreira de. **Reconhecendo o mundo com as mãos: o sistema Braille como ferramenta de leitura e escrita**. *Revista Contemporânea*, v. 3, n. 7, p. 7839-7862, 2023. ISSN 2447-0961. DOI: 10.56083/RCV3N7-028. Disponível em:

<<https://ojs.revistacontemporanea.com/ojs/index.php/home/article/view/1150>>. Acesso em: 2 set. 2024.

IEEE. **Development of a Braille display using piezoelectric linear motors.** Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4108999>>. Acesso em: 02 abr. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010:** nota técnica 01/2018. Nota técnica 01/2018. 2018. Disponível em: <https://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/metodologia/notas_tecnicas/nota_tecnica_2018_01_censo2010.pdf> Acesso em: 02 jan. 2025.

JIMÉNEZ, J. et al. **Biography of louis braille and invention of the braille alphabet. Survey of ophthalmology**, v. 54, n. 1, p. 142–9, 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0039625708001860>> Acesso 22 ago. 2024.

MOREIRA, R. E. C. **A formação leitora e a deficiência visual: reflexões sobre o acesso à literatura braille.** Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/27529>>. Acesso em: 16 jul. 2024.

MACIEL, Maria Regina Cazzaniga. **Portadores de deficiência: a questão da inclusão social.** 2000. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/spp/a/3kyptZP7RGjjkDQdLFgxJmg/>>. Acesso em: 04 jan. 2025.

SANTOS, V. et al. **Meios de acesso à literatura para pessoas com cegueira: Braille ou Áudio-livro?** Revista Educação Especial, v. 29, n. 55, p. 337, 9 ago. 2016. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/educacaoespecial/article/view/10522/pdf>> Acesso 22 ago. 2024.

UFRGS. **Ensinando a identificação de caracteres Braille utilizando dispositivos móveis e um display Braille.** Disponível em: <<https://seer.ufrgs.br/renote/article/view/99429>>. Acesso em: 02 abr. 2024.