

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**

Thaina Vançan Capasciutti

**Desenvolvimento de equipamento para auxiliar no
processo de memorização do Sistema Braille para a língua
portuguesa**

São Carlos

2022

Thaina Vançan Capasciutti

**Desenvolvimento de equipamento para auxiliar no
processo de memorização do Sistema Braille para a língua
portuguesa**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecatrônica, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheira Mecatrônica.

Orientadora: Profa. Dra. Máira Martins da Silva

**São Carlos
2022**

FOLHA DE AVALIAÇÃO

Candidato: Thaina Vançan Capasciutti

Título: Desenvolvimento de equipamento para auxiliar no processo de memorização do Sistema Braille para a língua portuguesa

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo
Curso de Engenharia Mecatrônica.

BANCA EXAMINADORA

Professora Dra. Máira Martins da Silva (Orientador)

Nota atribuída: 10,0 (dez, zero)

Máira M. da Silva

(assinatura)

Professora Dra. Luciana Montanari

Nota atribuída: 10,0 (dez)

Luciana Montanari

(assinatura)

Professor Dr. Leopoldo P. R. de Oliveria

Nota atribuída: 10,0 (dez, zero)

[Assinatura]

(assinatura)

Média: 10,0 (dez, zero)

Resultado: Aprovada

Data: 14 / 01 / 2022.

Este trabalho tem condições de ser hospedado no Portal Digital da Biblioteca da EESC

SIM ☒ NÃO ☐ Visto do orientador

Máira M. da Silva

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

C236d	Capasciutti, Thaina Vançan Desenvolvimento de equipamento para auxiliar no processo de memorização do Sistema Braille para a língua portuguesa / Thaina Vançan Capasciutti; orientadora Máira Martins da Silva. São Carlos, 2022. Monografia (Graduação em Engenharia Mecatrônica) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2022. 1. Arduino. 2. Sistema Braille. 3. Tecnologia Assistiva. I. Título.
-------	--

*A todas as pessoas que ainda têm sua autonomia e liberdade negada pelo descaso daqueles
que estão no poder.*

AGRADECIMENTOS

Agraço à minha família pela construção dos meus princípios e valores. Em especial minha mãe, Vera, que precisou pausar sua vida profissional para estar presente na criação das três filhas.

À Bruna, companheira e melhor amiga, por todas as experiências vividas, o apoio trocado e o incentivo em todos os momentos.

Ao Matheus e o Daniel por todo o companheirismo nessa experiência maluca de graduação e pela amizade da faculdade para a vida.

Ao CAASO pelas oportunidades de iniciação científica, intercâmbio e diferentes extracurriculares.

Às amigas que fiz e experiências que vivi na Gaperia e no WiE.

À Secretaria Acadêmica da Engenharia Mecatrônica, agradeço por todas as mudanças positivas que me aconteceram, todos os momentos marcantes, desafios superados e sorrisos dados. Gratidão a todas as pessoas que se doam pelo grupo ou que já colaboraram para que a secretaria se tornasse o que é hoje: incrível.

“Para pensar soluções para uma realidade, devemos tirá-la da invisibilidade”
Djamilla Ribeiro

RESUMO

Capasciutti, T. V. **Desenvolvimento de equipamento para auxiliar no processo de memorização do Sistema Braille para a língua portuguesa.** 2022. 69p.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2022.

O acesso à informação possibilita o conhecimento dos direitos e deveres e desenvolve o pensamento crítico, a autonomia pessoal e a possibilidade de ascensão profissional a todos os cidadãos. O Sistema Braille é uma técnica de leitura e escrita que atende pessoas com deficiência visual, permite a autonomia do leitor e carrega a universalidade do alfabeto ocidental e multidisciplinariedade com os sinais matemáticos, musicais, informáticos etc. Sua desvantagem é que os sinais precisam ter seu valor simbólico ensinado e o aprendizado do braille envolve um treinamento extenso e sistemático para o leitor alcançar a capacidade de discriminação tátil dos caracteres. Esse treinamento exige tempo e constante contato do aluno com o código braille por meio de atividades repetitivas. Isso faz do reconhecimento e aprendizagem dos caracteres, um processo lento e cansativo que necessita de apoio constante dos professores. Uma das formas para reduzir essas desvantagens do aprendizado do braille é a utilização de recursos, ferramentas e tecnologias assistivas, pois são itens facilitadores de aprendizagem, estimulam os estudos e favorecem a inclusão dos alunos com deficiência visual no ensino regular. Este trabalho relata a elaboração de um protótipo de equipamento para auxiliar o processo de memorização dos caracteres no Sistema Braille. O protótipo (desenvolvido com placa Arduino Uno, motores de passo, botões e módulo MP3) proporciona sinais braille em alto relevo e permite a consulta com resposta sonora de uma configuração de pontos inserida pelo usuário em um sistema de chaves táteis.

Palavras-chave: Arduino. Sistema Braille. Tecnologia Assistiva.

ABSTRACT

Capasciutti, T. V. **Development of a device to assist in the process of memorizing the Braille System for the portuguese language.** 2022. 69p.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2022.

The access to information enables the knowledge of rights and duties and develops critical thinking, personal autonomy, and the possibility of professional ascension to all citizens. The Braille System is a reading and writing technique that people with visual impairments can use. Definitely, it promotes autonomy and independence for a class of people with disabilities. Its multidisciplinary approach combines the universality of the western alphabet with mathematical, musical, computer, and other signs. Nevertheless, learning braille is not easy since its symbols must be taught. The reader should learn how to distinguish the characters tactilely during the learning activity, which requires time and constant contact with the braille code through repetitive activities. The learning process of character recognition is slow, tiring and it needs continuous support from the teachers. One of the ways to reduce these disadvantages in learning braille is the use of resources, tools, and assistive technologies, as they facilitate learning, stimulate studies, and favor the inclusion of students with visual impairment in regular education. This work reports the development of a device prototype to help the process of memorization of the Portuguese alphabet characters in the Braille System. The prototype was developed with an Arduino Uno board, stepper motors, buttons, and MP3 module. It provides braille characters with raised dots and plays a sound in response to a dot configuration entered by the user.

Keywords: Arduino. Braille System. Assistive Techonology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Disposição dos pontos na cela ou célula braille de acordo com a Grafia Braille para Língua Portuguesa (BRASIL, 2006)	30
Figura 2 – Configuração dos pontos nas séries da Ordem Braille de acordo com a Grafia Braille para Língua Portuguesa (BRASIL, 2006)	31
Figura 3 – Configuração dos pontos nas celas braille do alfabeto ocidental minúsculo de acordo com a Grafia Braille para Língua Portuguesa (BRASIL, 2006)	32
Figura 4 – Divisão da cela braille por colunas	40
Figura 5 – Representação tridimensional da construção de uma cela braille a partir de dois prismas octagonais	40
Figura 6 – Valor binário e decimal para cada combinação de pontos de uma coluna	41
Figura 7 – Exemplo do sinal braille "t" representado por valores binários e decimais de acordo com suas colunas	41
Figura 8 – Acoplamento de chave de fim de curso e ponteiro no motor. Em (a) o contato da chave está aberto. Com o movimento do eixo, o ponteiro aciona a chave de fim de curso e fecha seu contato (b) indicando que o motor está na face desejada	45
Figura 9 – Estrutura do algoritmo de funcionamento	46
Figura 10 – Circuito divisor de tensão para os botões	47
Figura 11 – Circuito divisor de tensão para as chaves de fim de curso	48
Figura 12 – Circuito divisor de tensão para as entradas analógicas A0 e A1.	49
Figura 13 – Conexão dos componentes eletrônicos	50
Figura 14 – Modelo para impressão do prisma octagonal	51
Figura 15 – Dimensões do prisma octagonal	52
Figura 16 – Pontos em relevo em uma face do prisma octagonal	52
Figura 17 – Vista superior do protótipo e a fonte usada para alimentação	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Recursos de Tecnologia Assistiva de acordo com o tipo de deficiência .	36
Tabela 2	– Relação alfabeto minúsculo com sinal braille e separação por colunas .	42
Tabela 3	– Lista de componentes utilizados neste projeto	43
Tabela 4	– Sequência de ativação dos pinos do driver ULN2003 para movimentação do motor 28BYJ-48	44
Tabela 5	– Resistência equivalente do circuito, Corrente máxima, Tensão consumida, tensão no ponto A0, valor lido pela função analogRead, faixa de comparação e funcionalidade para cada chave no circuito divisor de tensão dos botões.	47
Tabela 6	– Resistência equivalente do circuito, Corrente máxima, Tensão consumida por R1, tensão no ponto A1, valor lido pela função analogRead, faixa de comparação e funcionalidade para cada chave no circuito divisor de tensão das chaves de fim de curso.	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DV	Deficiência visual
EPcD	Estatuto da Pessoa com Deficiência
NA	Normalmente aberta
NF	Normalmente fechada
OMS	Organização Mundial da Saúde
PcDV	Pessoa com deficiência visual
TA	Tecnologia assistiva

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	Justificativa e Objetivos	25
1.2	Estrutura do trabalho	26
2	DESENVOLVIMENTO	27
2.1	Definições Teóricas	27
2.1.1	Pessoas com Deficiência	27
2.1.2	Deficiência Visual	27
2.2	Técnicas de Leitura para PCdV	28
2.3	Sistema Braille	29
2.3.1	Caracteres do Sistema Braille de acordo com a Grafia Braille para Língua Portuguesa	29
2.4	Alfabetização para PCdV	32
2.4.1	Ensino do braille	33
2.5	Tecnologia Assistiva	35
2.6	Recursos e Ferramentas para o Ensino e Uso do Braille	37
3	MATERIAIS E MÉTODOS	39
3.1	Requisitos do equipamento	39
3.2	Metodologia	39
3.3	Descrição dos componentes	43
3.3.1	Arduino Uno	43
3.3.2	Motor de passo 28BYJ-48 e Driver ULN2003	43
3.3.3	Chaves de fim de curso	44
3.3.4	Chaves	44
3.3.5	Módulo MP3	45
3.4	Montagem e programação	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
4.1	Estrutura	51
4.2	Resultados	54
5	CONCLUSÃO	55
	REFERÊNCIAS	57

APÊNDICES **61**

APÊNDICE A – CÓDIGOS ARDUINO 63

1 INTRODUÇÃO

A Organização Mundial da Saúde (OMS), no seu Plano de Ação Mundial sobre deficiência 2014-2021 (WHO, 2014), considera a palavra *deficiência* como um termo “guarda-chuva” para limitações de atividade, incapacidades e restrições de participação com aspectos negativos na interação entre uma pessoa (com uma determinada condição de saúde) e seus fatores ambientais e pessoais. Sendo, portanto, um fenômeno biológico e social que deve ser reconhecido como uma questão de saúde pública e de direitos humanos, pois pessoas com deficiência experienciam barreiras físicas, discriminação, desigualdade de acesso à serviços, à saúde e à educação, tendo sua autonomia negada e restringida.

Além disso, a OMS afirma que a questão da deficiência deve ser uma prioridade para o progresso de países em desenvolvimento, como o Brasil, já que a pobreza aumenta a incidência de deficiências na população, e os estigmas e as barreiras postas à população com deficiência perpetuam a pobreza. Porque, segundo o documento, as barreiras no acesso à saúde, educação e emprego contribuem e aumentam as desigualdades e desvantagens presentes na vida de pessoas com deficiência (PcD).

De acordo com o censo demográfico de 2010 (IBGE, 2010), de 190.755.799 brasileiros, 45.606.048 apresentavam algum grau de deficiência física (visual, auditiva e motora) ou mental, representando 23,91% da população do país. Considerando apenas as respostas de grande dificuldade ou incapacidade ¹ para as deficiências físicas, tinha-se 10.174.925 respostas ².

No Brasil, a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência) foi instituída em 06 de julho de 2015 com a Lei Nº 13.146 (BRASIL, 2015). Esse ato oficializou a necessidade e obrigação do Estado e da sociedade em garantir e promover o exercício dos direitos da pessoa com deficiência em condições de igualdade a fim de assegurar sua inclusão social e a proteção contra qualquer forma de discriminação.

De acordo com o artigo 2º do Estatuto da Pessoa com Deficiência (EPcD), o termo *pessoa com deficiência* se refere “aquela com impedimento de longo prazo de natureza física, mental intelectual ou sensorial, o qual em interação com um ou mais barreiras, pode obstruir a sua participação plena e efetiva na sociedade [...]” (BRASIL, 2015, p. 1). Essas barreiras são definidas no documento como qualquer comportamento ou obstáculo que limite total ou parcialmente o exercício dos direitos da pessoa com deficiência. Inclusive

¹ Para a pesquisa da existência e severidade de deficiência visual, auditiva e motora na população, a seguinte classificação foi utilizada: “Não consegue de modo algum”, “Grande dificuldade”, “Alguns dificuldade” e “Nenhuma dificuldade”.

² Não foi explicitado que as pessoas incluídas em mais de um tipo de deficiência foram contadas apenas uma vez.

ao direito de acessibilidade, que garante a possibilidade de viver de forma independente e com autonomia e segurança para sua participação social.

Nesse estatuto, em resumo, o conceito de acessibilidade é definido como a possibilidade de acesso e alcance para utilização de espaços, edificações, transportes e informação com segurança e autonomia. Mesmo com as orientações, obrigações e importância dada à questão da deficiência pelo governo brasileiro, o problema não é resolvido, pois sendo acessibilidade a garantia de igualdade de oportunidades, ela não necessariamente representa a inclusão, já que esta não pressupõe apenas a oferta de acesso, mas também a adequação e qualidade da acessibilidade (BATALIOTTI, 2017; PEZZUTO; CAMARGO, 2012).

A inclusão tem o objetivo de garantir a qualidade de vida de todo e qualquer cidadão (SILVA, 2016) e reconhece e valoriza a diversidade como característica da natureza humana (VILELA, 2013). A inclusão, baseada no princípio da equidade, legitima as diferenças e oferece condições distintas para garantir o usufruto da igualdade de direitos e equiparação de oportunidades às pessoas de acordo com suas condições e contextos sociais (VELDEN; LEITE, 2013; CIANTELLI, 2015). Sendo responsabilidade da sociedade se reorganizar para que a oportunidade de acesso seja dada a todos cidadãos, de forma adequada e independente de suas especificidades (CIANTELLI, 2015).

Entretanto, o processo de inclusão é relativamente novo (VELDEN; LEITE, 2013) e há um histórico de desigualdade social no país que resulta na segregação de grupos minoritários e afeta sua esfera educacional, cultural e de saúde (SILVA, 2016). Os paradigmas sobre deficiência, que à associam à ideia de “falha” ou “desvio” do padrão, resultaram na exclusão e marginalização das pessoas com deficiência e restringiram a sua participação na sociedade (CIANTELLI, 2015). Assim, a concretização da inclusão se torna um problema social que depende da mudança de valores, estigmas para extinguir a discriminação e, portanto, exige o empenho da sociedade como um todo (PEZZUTO; CAMARGO, 2012).

Uma das formas de incluir um indivíduo em seu meio social é através da educação e o acesso pleno à informação, pois são os veículos de transmissão de cultura, de conhecimento sobre direitos e deveres, de desenvolvimento do pensamento crítico e da autonomia pessoal (VELDEN; LEITE, 2013; VITORINI, 2015). Numa sociedade letrada, a transmissão de conhecimento é predominantemente feita através de produções escritas (DUTTON, 2021; SANDES, 2009), desse modo, o acesso à informação se caracteriza como um meio de inclusão e a alfabetização se torna indispensável ao indivíduo (SANDES, 2009).

Apenas garantir a acessibilidade, ou seja, o acesso de um indivíduo à escola, não garante a inserção e inclusão desse aluno no espaço escolar (VELDEN; LEITE, 2013). É necessário adaptar as práticas pedagógicas e oferecer condições de aprendizagem diversas para criar um ensino heterogêneo com estímulos adequados para alunos com deficiências (REGANHAN; BRACCIALLI, 2007; VITORINI, 2015). Para isso, os estabelecimentos de ensino desde a educação básica até a educação superior e o corpo docente preci-

sam desenvolver metodologias que auxiliem a disponibilização de um acesso com mais equidade e autonomia aos meios de aprendizagem (REGANHAN; BRACCIALLI, 2007; ZAMPROGNO, 2019; VERUSSA, 2009).

Uma das formas de promover esse espaço mais inclusivo e com autonomia é com a utilização de recursos e tecnologias assistivas (POKER; NAVEGA; PETITTO, 2012). No caso de pessoas com deficiência visual, essas ferramentas deixam de ser facilitadores e se tornam imprescindíveis para sua escolarização (ALVES; SILVA, 2012), a começar pelo seu processo de alfabetização que tradicionalmente é realizado com o uso do Sistema Braille (MARUCH; STEINLE, 2008).

Ao passo que há a obrigação do Estado em oferecer recursos que maximizem a autonomia das pessoas com deficiência (BRASIL, 2015) e que há a expectativa de adaptação e utilização dessas ferramentas por parte dos professores (VERUSSA, 2009), têm-se a realidade da falta de disponibilização desses recursos e a falta de capacitação do corpo docente (VERUSSA, 2009).

Portanto, cabe à comunidade acadêmica explorar, estudar e desenvolver recursos e tecnologias mais baratas e de fácil utilização, para reduzir as restrições financeiras que impedem a disponibilização em massa pelos órgãos governamentais e para que o sucesso da utilização dessas ferramentas não dependa das habilidades e do conhecimento de quem as usam.

1.1 Justificativa e Objetivos

Com a priorização da leitura como meio de transmissão de conhecimentos em uma sociedade letrada, a apropriação da linguagem escrita pela pessoa com deficiência visual (PcDV), além de partilhar da cultura escrita com os videntes, também promove a elaboração do pensamento, enriquecendo a sua atividade intelectual (DUTTON, 2021). O Sistema Braille é a forma tradicional para alfabetização da pessoa com deficiência visual (MARUCH; STEINLE, 2008) e o primeiro contato com esse sistema, geralmente acontece na escola, e segundo Dutton (2021, p. 6) “caso o aluno com deficiência visual não aprenda a ler (braille) na escola, provavelmente não aprenderá fora dela”, mostrando a relevância do estímulo a aprendizagem desse sistema.

Entretanto, os estudantes com deficiência visual não são incentivados a praticar a leitura e escrita em braille nas escolas (MARUCH; STEINLE, 2008) e isso se torna um problema, pois durante o aprendizado dos caracteres e sinais gráficos em braille, é comum a dificuldade para perceber e diferenciar pelo tato o comportamento dos pontos salientes (em relevo) que compõem esse sistema, exigindo do aluno um grande investimento de tempo para progredir sua capacidade motora com processos repetitivos e prolongados (DUTTON, 2021) e uma atenção prolongada do professor.

Considerando a necessidade de exercícios repetidos e a promoção de maior autonomia para pessoas com deficiência visual durante o aprendizado do Sistema Braille, seja ele na escola ou durante a vida adulta, este trabalho se propõe a desenvolver um equipamento para auxiliar o processo de automatização dos exercícios de decodificação dos caracteres desse sistema.

Para isso, o dispositivo deve ser capaz de fornecer os sinais braille em alto relevo, permitir a escrita de um caractere em alto relevo e reproduzir o nome do sinal. Além disso, a utilização do equipamento não deve depender nem de um aparelho celular nem do auxílio de uma pessoa sem deficiência visual.

1.2 Estrutura do trabalho

Este trabalho é organizado em 5 capítulos. O capítulo 2 contém as definições teóricas deficiência visual, a apresentação dos fundamentos do Sistema Braille e as técnicas de leitura e alfabetização disponíveis para PcDV. Ainda nesse capítulo, o conceito de tecnologia assistiva é definido e há a exemplificação de recursos e ferramentas usados para o ensino do braille.

O capítulo 3 explica os requisitos e a abordagem adotada para o desenvolvimento do protótipo e os materiais utilizados.

No capítulo 4 serão mostrados os resultados do projeto em comparação com os objetivos definidos.

Por fim, o capítulo 5 contém as considerações finais sobre o equipamento junto com sugestões de melhorias e implementações para trabalhos futuros.

2 DESENVOLVIMENTO

Este capítulo apresenta a interpretação adotada no trabalho para o significado de deficiência visual e tecnologia assistiva. Além disso, há a explicação dos fundamentos do Sistema Braille e as técnicas de leitura e alfabetização disponíveis para pessoas com deficiência visual.

2.1 Definições Teóricas

2.1.1 Pessoas com Deficiência

No artigo 2º do Estatuto da Pessoa com Deficiência, define-se o termo pessoa com deficiência como:

[...] Àquela que tem impedimento de longo prazo de natureza física, mental intelectual ou sensorial, o qual, em interação com uma ou mais barreiras, pode obstruir sua participação plena e efetiva na sociedade em igualdade de condições com as demais pessoas. (BRASIL, 2015, p. 1)

2.1.2 Deficiência Visual

De acordo com a Faculdade de Ciências Médicas da UNICAMP, a deficiência visual (DV) é dividida em dois grupos: a cegueira e a baixa visão. O primeiro termo é usado para perda total da visão, enquanto o segundo se refere à função visual comprometida, mas que é potencialmente capaz de ser usada para a execução de tarefas (FACULDADE DE CIÊNCIAS MÉDICAS, [20-]).

Sob o ponto de vista educacional, a pessoa com cegueira necessita do Sistema Braille ou sistemas de leitura de texto em computadores para seu processo de aprendizagem, enquanto pessoas com baixa visão, além dos sistemas mencionados, podem utilizar recursos didáticos e equipamentos especiais para ler impressos (FACULDADE DE CIÊNCIAS MÉDICAS, [20-]) como lupa, cadernos para escrita ampliada (SÁ; CAMPOS; SILVA, 2007).

A deficiência visual não é uma condição única e invariável (NUERNBERG, 2010) e sua variação é definida a partir do que se enxerga a determinada distância (acuidade visual) e da amplitude da área alcançada pela visão (campo visual) (CONDE, 2016).

Segundo o Houaiss e Villar (2008, p 770), entre as definições da palavra “vidente”, há a “aquele que é capaz de ver”. Portanto, assim como feito por Zamprogno (2019), IBC (2020), FaÇanha (2012), este trabalho utiliza “vidente” para se referir às pessoas sem cegueira ou baixa visão.

No Brasil, de acordo com os resultados do Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2010), 6.562.910 pessoas declararam não conseguir de modo algum ou ter grande dificuldade para enxergar e apenas o estado de São Paulo representava 1.203.353 dessas respostas.

2.2 Técnicas de Leitura para PCdV

A leitura pode ser realizada por pessoas com deficiência visual de três maneiras: Sistema Braille, audiolivros ou leitores (SANDES, 2009). Além da preferência particular de cada leitor sobre as formas de leitura, há questões materiais e socioeconômicas que interferem nas vantagens e desvantagens de cada técnica (SANDES, 2009; SÁ; CAMPOS; SILVA, 2007).

Braille: única técnica de leitura que atende pessoas com deficiência visual e auditiva, permite a autonomia do leitor pois independe de um indivíduo vidente (SANDES, 2009). É uma das técnicas mais completas e dinâmicas, já que traz a universalidade do alfabeto ocidental e multidisciplinariedade com os sinais matemáticos, musicais, informáticos etc. (BRASIL, 2006; SANDES, 2009). A desvantagem do sistema braille é que os sinais precisam ter seu valor simbólico ensinado (OLIVEIRA, 2013; ROCHA et al., 2019), com a grande quantidade de símbolos e combinações diferentes que possuem significados diversos dependendo do contexto em que se encontram, o aprendizado do braille se torna uma tarefa de treinamento extenso e sistemático para alcançar a capacidade de discriminação tátil dos caracteres por parte do leitor (IBC, 2020; OLIVEIRA, 2013; FAÇANHA, 2012).

Audiolivros/sintetizadores de voz: o uso de computadores por pessoas com deficiência visual é revolucionário (SÁ; CAMPOS; SILVA, 2007) e são importantes para o desenvolvimento cultural com a possibilidade de navegação na internet e acesso aos mais diversos conteúdos como jornais diários (FAÇANHA, 2012). Entretanto, atrelado ao alto nível de tecnologia e sofisticação de softwares de síntese de voz está o preço alto desses recursos (FAÇANHA, 2012). Além da necessidade de possuir um equipamento reproduzidor de áudio para os audiolivros ou a aquisição de um computador, outra desvantagem dessa técnica de leitura é a existência de situações rotineiras possíveis apenas através da leitura tátil como sinais em elevadores, cardápios, medicamentos, caixas eletrônicos, urna eletrônica (SANDES, 2009).

Ledores: Ledor é o termo técnico usado para denominar pessoas videntes que realizam a leitura do material para as pessoas com deficiência visual (FAÇANHA, 2012), nesta situação, apesar da interação social, não há a independência e autonomia do indivíduo com deficiência.

Considerando os pontos apresentados, conclui-se que o aprendizado do Sistema Braille é um importante recurso de leitura e caminho para a inclusão da pessoa com deficiência visual, já que atende pessoas com deficiência visual e auditiva, garante a inde-

pendência e autonomia do leitor (SANDES, 2009) e é imprescindível para a alfabetização das pessoas com DV (MARUCH; STEINLE, 2008). Além disso, mesmo com a redução na utilização desse sistema por consequência do avanço tecnológico, o braille pode ser considerado com mesma função ao lápis e papel, não sendo eliminado com o uso de computadores e celulares (SANDES, 2009), na realidade, as novas tecnologias contribuem para a valorização do Sistema Braille já que facilitaram a transcrição e impressão de textos para o braille (MARUCH; STEINLE, 2008).

2.3 Sistema Braille

O Sistema Braille é o método de escrita e leitura tátil inventado por Louis Braille em 1825. Louis ficou cego aos três anos de idade devido à uma infecção em seus olhos (IBC, 2020). Esse sistema é o mais adotado no mundo para escrita em relevo e engloba símbolos literais, matemáticos, químicos, fonéticos, musicais e informáticos (BRASIL, 2006).

No Brasil, o sistema é utilizado desde 1854 e foi normatizado pelo Ministério da Educação com a publicação do documento Grafia Braille para a Língua Portuguesa aprovado pela portaria nº 2.678 de 24 de setembro de 2002, contribuindo para a unificação da grafia braille nos países cuja língua oficial é portuguesa e favorecendo o intercâmbio entre pessoas com deficiência visual e instituições de diferentes países (BRASIL, 2006). Na aplicação do sistema para a Língua Portuguesa, a maioria dos símbolos recebeu seu significado original (BRASIL, 2006), com isso, a universalidade se torna característica inerente ao braille, permitindo a leitura e escrita em relevo em todas as línguas que usam o alfabeto ocidental (IBC, 2020).

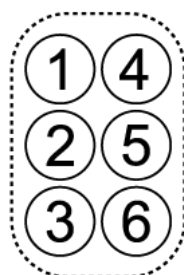
O documento, disponível em tinta e em braille, é utilizado por professores, transcritores, revisores e usuários do Sistema Braille e instrui o emprego adequado dos símbolos, desde os caracteres e pontuações até a disposição e formatação do texto (BRASIL, 2006).

2.3.1 Caracteres do Sistema Braille de acordo com a Grafia Braille para Língua Portuguesa

O Sistema Braille é formado por 63 sinais simples e o espaço vazio, totalizando 64 sinais. Cada sinal é uma combinação de um conjunto de pontos em relevo dispostos em uma matriz 3x2 chamada de cela ou célula braille. Esses pontos são identificados na cela com a numeração que segue a ordem de cima para baixo e da esquerda para a direita, ou seja, a primeira coluna da matriz contém os pontos 1,2,3 e a segunda tem os pontos 4,5,6 (Fig. 1). Sinais que ocupam apenas uma cela braille são denominados de simples, a combinação de dois ou mais sinais simples é chamada de sinal composto.

Para representar um sinal e indicar os pontos em relevo é possível escrever os números de forma consecutiva e crescente, celas vazias são identificadas com o numeral 0. Exemplo: Letra ‘u’ = (136) $\begin{smallmatrix} \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet \end{smallmatrix}$, letra ‘s’ = (234) $\begin{smallmatrix} \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet \end{smallmatrix}$, letra ‘p’ = (1234) $\begin{smallmatrix} \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet \end{smallmatrix}$, ‘usp’ = (136

Figura 1 – Disposição dos pontos na cela ou célula braille de acordo com a Grafia Braille para Língua Portuguesa (BRASIL, 2006)



Fonte: Elaborada pela autora.

234 1234) ⠠⠠⠠⠠.

A Ordem Braille é a sequência dos 63 sinais simples do sistema distribuídos sistematicamente em 7 séries (Fig. 2).

A 1ª série, chamada de série superior, é formada por todas as combinações dos pontos superiores 1,2,4,5 que contém pelo menos um ponto saliente na primeira coluna.

A 2ª série é a combinação da série superior com o ponto 3 saliente.

A 3ª série é a combinação da série superior com os pontos 3 e 6 salientes (ou a adição do ponto 6 à 2ª série).

A 4ª série é a combinação da série superior com o ponto 6 saliente.

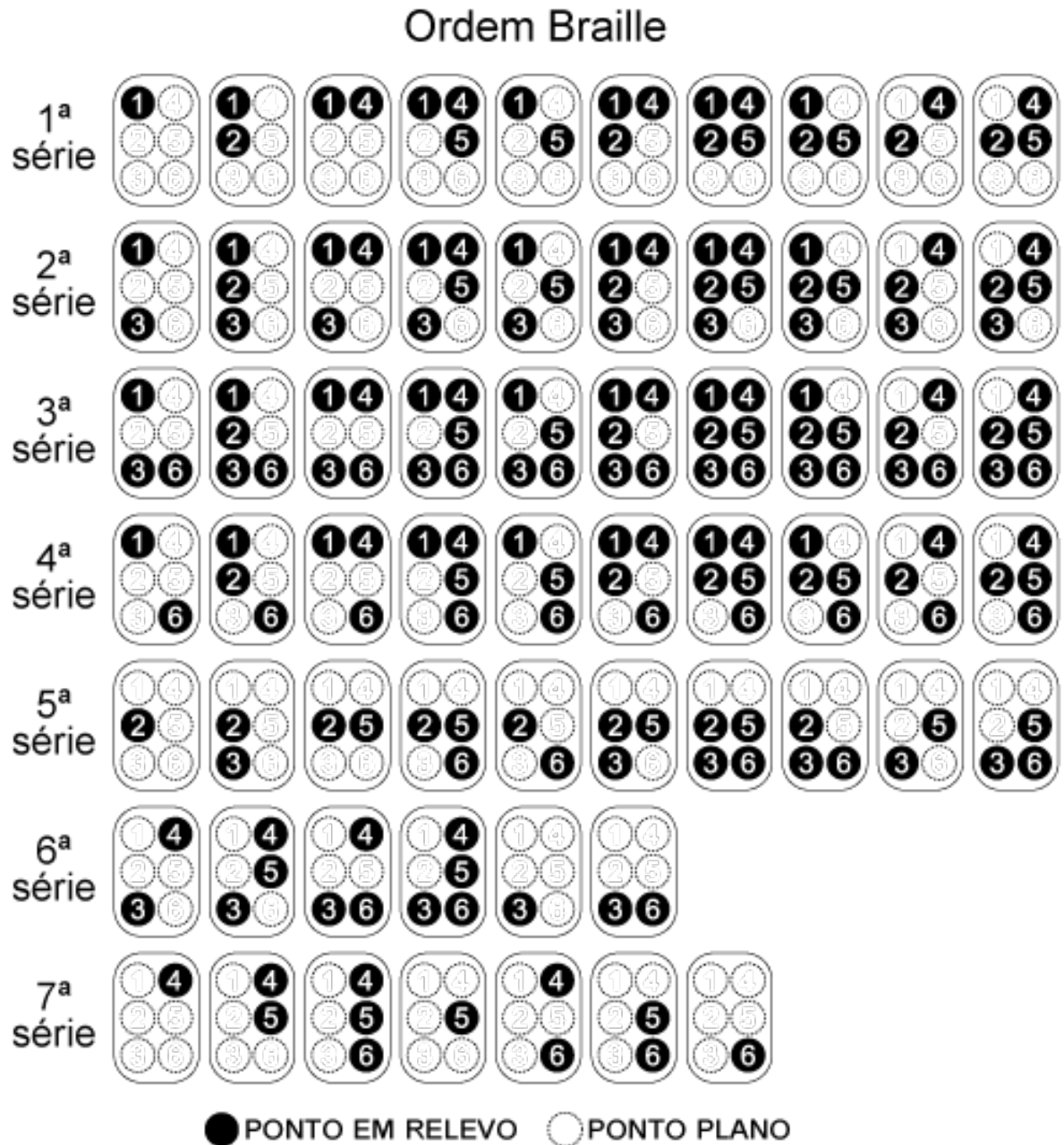
A 5ª série, chamada de série inferior, é formada por todas as combinações dos pontos inferiores 2,3,5,6 que contém pelo menos um ponto saliente na primeira coluna, exceto na posição 1.

A 6ª série é formada por todas as combinações dos pontos 3456 com o ponto 3 saliente.

A 7ª série é formada por todas as combinações dos pontos 456, ou seja, sinais sem pontos salientes na primeira coluna da cela.

O alfabeto ocidental minúsculo e o caractere 'ç' estão representados na Figura 3. Para representar letras maiúsculas é necessário o uso do sinal ⠠ (46) antes do sinal da letra, formando um sinal composto. Caso todas as letras da palavra sejam maiúsculas, utiliza-se o sinal composto (46 46) ⠠⠠ antes da palavra. Exemplo: letra 'U' = (46 136) ⠠⠠⠠, 'USP' = (46 46 136 234 1234) ⠠⠠⠠⠠⠠

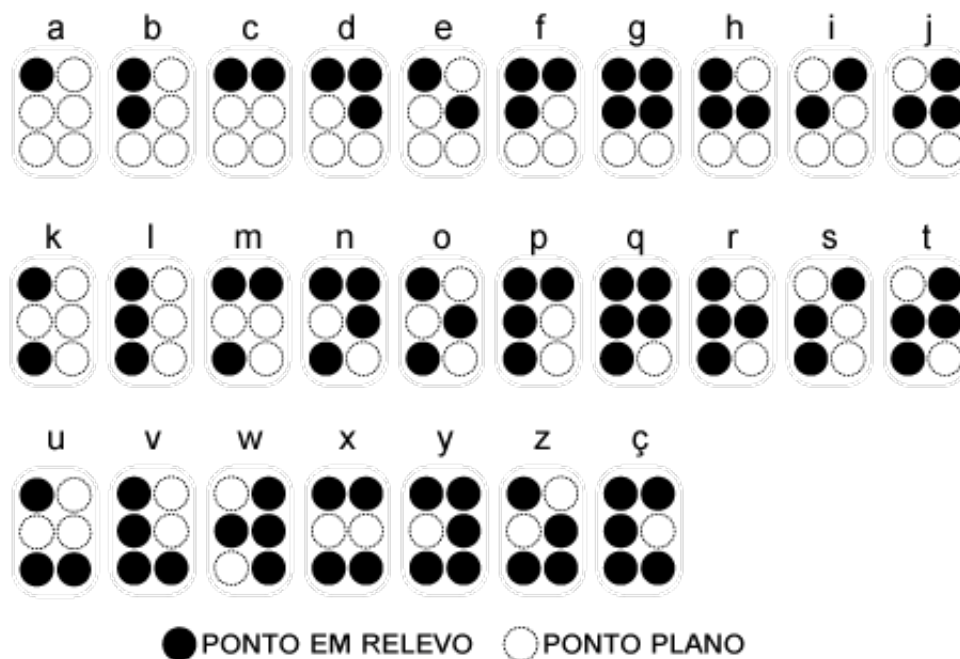
Figura 2 – Configuração dos pontos nas séries da Ordem Braille de acordo com a Grafia Braille para Língua Portuguesa ([BRASIL, 2006](#))



Fonte: Elaborada pela autora.

A leitura em braille é orientada da esquerda para direita e de cima para baixo assim como na leitura em tinta da Língua Portuguesa ([DUTTON, 2021](#)). O desenvolvimento do hábito motor da leitura em braille exige sensibilidade tátil e boa memória por parte do leitor para reconhecer os sinais do sistema ([IBC, 2020](#)).

Figura 3 – Configuração dos pontos nas celas braille do alfabeto ocidental minúsculo de acordo com a Grafia Braille para Língua Portuguesa (BRASIL, 2006)



Fonte: Elaborada pela autora.

2.4 Alfabetização para PCdV

O acesso à informação além de possibilitar o conhecimento dos direitos e deveres, também desenvolve o pensamento crítico, a autonomia pessoal e a possibilidade de ascensão profissional a todos os cidadãos (VITORINI, 2015).

Com o predomínio da produção escrita como meio de transmissão de conhecimento (DUTTON, 2021; SANDES, 2009), a alfabetização é indispensável ao indivíduo, já que garante o acesso à informação e que, além de uma forma de comunicação, também é um meio de inclusão e exclusão (SANDES, 2009), pois amplia a oferta educacional, antes destinada apenas à elite brasileira, para outras esferas sociais de modo que possibilita a especialização de mão de obra e o desenvolvimento cognitivo e social dos indivíduos (CIANTELLI, 2015; VITORINI, 2015).

A aquisição e desenvolvimento da linguagem escrita é complexa e exige um ensino formal (OLIVEIRA; BRAGA, 2013). A linguagem é um instrumento de interação com o meio físico e social que amplia o desenvolvimento da cognição e da comunicação do indivíduo (SÁ; CAMPOS; SILVA, 2007; OLIVEIRA; BRAGA, 2013), tendo consequências positivas na sua socialização, educação, autoestima e independência (OLIVEIRA; BRAGA, 2013).

Em uma sociedade que prioriza a comunicação visual (SÁ; CAMPOS; SILVA, 2007), além da disseminação de conhecimento com texto escrito, também são utilizados conteúdos gráficos como imagens, mapas, gráficos e tabelas, por sua capacidade de transmitir informações de forma organizada e rápida (ZAMPROGNO, 2019). Entretanto, o acesso a esse tipo de conteúdo exige o funcionamento do sentido da visão, o que impede parcial ou totalmente o consumo dessas informações por parte de pessoas com deficiência visual (ZAMPROGNO, 2019).

É importante apontar que a ausência da informação visual não impede a aquisição da linguagem e a qualidade desse desenvolvimento tem uma variabilidade inata independente se a pessoa enxerga ou não (OLIVEIRA; BRAGA, 2013). Ou seja, as limitações resultantes da deficiência não impactam negativamente o desenvolvimento das pessoas com deficiência visual, desde que sejam proporcionadas oportunidades adequadas de ensino e aprendizagem (OLIVEIRA, 2013), pois sua percepção cognitiva não é afetada, a pessoa apenas necessita de estímulos diferentes para seu aprendizado (VITORINI, 2015).

Assim, tem-se que alterar as práticas pedagógicas é essencial para um ensino que respeite a diversidade de alunos e estimule sua aprendizagem (REGANHAN; BRACCIALI, 2007). No caso da alfabetização de pessoas com deficiência visual, a forma tradicional é através do ensino do sistema braille (MARUCH; STEINLE, 2008), pois permite a apropriação da linguagem escrita pelo aluno, sendo imprescindível para a formação desses indivíduos na sociedade letrada, elaboração de pensamento e enriquecimento da sua atividade intelectual (DUTTON, 2021).

2.4.1 Ensino do braille

A alfabetização no Sistema Braille objetiva desenvolver a leitura com os dedos e a produção de textos em relevo (ROCHA et al., 2019) e nos estágios iniciais se baseia no método alfabético, silábico e fonético, já que o aluno do sistema consegue reconhecer apenas um sinal de cada vez (OLIVEIRA, 2013).

A discriminação tátil e a coordenação manual são as habilidades básicas para o aprendizado do Sistema Braille e devem ser treinadas extensivamente, pois a leitura e a escrita em relevo dependem de movimentos sincronizados das mãos e da percepção das diferenças da combinação de pontos (OLIVEIRA, 2013).

Assim, antes do processo de alfabetização é necessário ensinar o reconhecimento dos caracteres em braille (ROCHA et al., 2019), sendo o processo de aprendizado desse sistema anterior ou simultâneo ao processo de alfabetização (SÁ; CAMPOS; SILVA, 2007). Esta etapa preparatória é essencial para desenvolver a coordenação bimanual e a aquisição de uma motricidade fina da percepção tátil para conseguir reconhecer as combinações dos pontos em relevo e diferenciar as letras do sistema (ROCHA et al., 2019; FAÇANHA, 2012; MARUCH; STEINLE, 2008).

Há uma falsa ideia de que pessoas com deficiência sensorial possuem os outros sentidos naturalmente mais aguçados como forma de compensação, no caso da deficiência visual, associam o maior desenvolvimento da audição e do tato como um ato automático do organismo (NUERNBERG, 2010), na realidade o maior estímulo e dependência da resposta dos outros sentidos que os fazem mais aguçados. Para a percepção tátil ativa, as sequências de estímulos e toques intencionais em objetos que integram esse sistema na percepção do indivíduo (NUERNBERG, 2010). Portanto, deve-se disponibilizar atividades que estimulem o desenvolvimento da discriminação tátil e o reconhecimento das celas braille, pois essa técnica é melhorada gradualmente (OLIVEIRA, 2013; FAÇANHA, 2012).

Esse treinamento exige tempo e constante contato do aluno com o código braille e as atividades se tornam processos repetitivos e prolongados (DUTTON, 2021) tornando o processo de reconhecimento dos caracteres lento e cansativo (MARUCH; STEINLE, 2008) e requer maior atenção e apoio constante dos professores (OLIVEIRA, 2013; PEZZUTO; CAMARGO, 2012).

Uma das formas para reduzir as desvantagens do aprendizado do braille é a utilização de recursos, ferramentas e tecnologias assistivas, pois são itens facilitadores de aprendizagem, estimulam os estudos e favorecem a inclusão dos alunos com deficiência visual no ensino regular (ALVES; SILVA, 2012). Alguns exemplos de recursos são: computador com programas de leitura de texto, sorobã, impressora braille (VERUSSA, 2009).

Entretanto, em uma pesquisa realizada por Verussa (2009) em escolas de ensino fundamental que atendiam alunos com deficiência em um município do Paraná, foi observado que não há uma oferta mínima de recursos e tecnologias assistivas na rede pública de ensino. E as opções disponíveis para utilização dos professores (Jogo da Velha em E.V.A ou madeira, Dominó magnético, Resta Um em madeira e Bengala de alumínio) tinham características lúdicas ou de movimentação e não objetivavam o ensino do conteúdo escolar.

Na mesma pesquisa, Verussa (2009) também evidenciou a falta de capacitação dos professores para utilizar os recursos de Tecnologia Assistiva. Essa análise foi corroborada por Pezzuto e Camargo (2012) que ao realizar uma entrevista com professores do ensino fundamental da rede municipal de Araçatuba (SP) concluiu que há a sensação de despreparo por falta de experiência em relação ao ensino especializado. Outros autores como Alves e Silva (2012) e Peres e Petito (2012) alertaram para a falta de formação adequada dos professores para atender os alunos com deficiência, sendo essa a principal barreira no processo de inclusão.

Porém, outra barreira que deve ser analisada é a disponibilização de tecnologias. Segundo Alves e Silva (2012) se faz necessário que novas tecnologias estejam presentes nas escolas e nas casas do aluno. Para além da questão de disponibilidade, é importante pensar na autonomia, ou seja, considerar no momento do desenvolvimento de um recurso, a possibilidade de reduzir a quantidade de apoio do professor ou de uma pessoa vidente

para estimular a autonomia e independência da pessoa com deficiência (SANDES, 2009).

Unindo esses pontos com a memorização de caracteres do sistema braille lenta e cansativa (MARUCH; STEINLE, 2008), com o fato de que muitas vezes o contato com esse sistema, se apresentado ao aluno (MARUCH; STEINLE, 2008), está limitado à escola (DUTTON, 2021), pretende-se neste trabalho desenvolver um recurso para auxiliar o processo de reconhecimento de caracteres braille que consiga ser usado sem a presença de um vidente, retirando a carga de tempo do professor da rede regular e possibilitando, inclusive, o aprendizado independente de pessoas que perderam a visão após o período escolar obrigatório.

2.5 Tecnologia Assistiva

Com origem grega, a palavra tecnologia pode ser concebida como “ciência da técnica” e entendida como a solução de problemas com o uso de conhecimento científicos e estudo das técnicas e instrumentos para melhorar a vida da espécie humana (VERUSSA, 2009). Considerando as barreiras existentes para a autonomia de pessoas com deficiências como problema, tem-se a tecnologia assistiva como sua solução.

Segundo o Estatuto da Pessoa com Deficiência, o conceito de Tecnologia Assistiva (TA) é definido como:

“produtos, equipamentos, dispositivos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivem promover a funcionalidade, relacionada à atividade e à participação da pessoa com deficiência ou com mobilidade reduzida, visando à sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social”.(BRASIL, 2015, p. 1)

Portanto, a TA é uma ferramenta ou recurso que auxilia ou possibilita às pessoas com deficiência a execução de atividades que possam ser impossíveis ou de difícil realização como: comer, escrever, falar, cuidar da higiene pessoal (POKER; NAVEGA; PETITTO, 2012). Para isso, essas tecnologias devem ampliar as habilidades funcionais (FAÇANHA, 2012) e melhorar as capacidades físicas (POKER; NAVEGA; PETITTO, 2012) dessas pessoas.

Há uma enorme variedade de ferramentas e recursos assistivos (VERUSSA, 2009). A designação e utilização de uma tecnologia assistiva depende da realidade do usuário de acordo com suas necessidades funcionais, contexto e interesses (POKER; NAVEGA; PETITTO, 2012). Na Tabela 1 estão alguns exemplos de recursos assistivos de acordo com os tipos de deficiência física, visual e auditiva.

Essas ferramentas também dão oportunidade às PCDs de expor suas reais potencialidades (DELIBERATO, 2007) e amparam sua inserção e inclusão social, profissional, familiar e educacional (POKER; NAVEGA; PETITTO, 2012).

Tabela 1 – Recursos de Tecnologia Assistiva de acordo com o tipo de deficiência

Tipo de deficiência	Recursos de Tecnologia Assistiva
Física	Cadeira de rodas para locomoção Pulseira de chumbo para estabilidade motora Mesas adaptadas
Visual	Sintetizadores de voz e leitores de tela Impressoras Braille Lupa Caderno para escrita ampliada Sorobã para ensino de matemática
Auditiva	Tradutores de Libras para texto Dicionário Libras Aparelhos auditivos Legendas em vídeos

Fonte: Elaborada pela autora.

Com o rápido e crescente avanço tecnológico da sociedade, se torna cada vez mais possível o desenvolvimento de novas tecnologias assistivas para garantir mais autonomia às pessoas com deficiência (ZAMPROGNO, 2019) e de forma mais acessível. A disseminação e o incentivo ao uso de TA no sistema educacional é uma alternativa de superar barreiras de inclusão de alunos com deficiência (ZAMPROGNO, 2019) e oferecer condições de acesso, tanto acesso físico aos espaços escolares, quanto acesso ao conteúdo (VERUSSA, 2009; ZAMPROGNO, 2019). Dessa forma, a Tecnologia Assistiva contribui com sua aprendizagem e desenvolvimento de suas potencialidades de modo que suas características definidas como deficiências não sejam obstáculos e nem fatores decisivos para a participação nos trabalhos escolares e para sua emancipação pessoal e social (VERUSSA, 2009).

Assim, conclui-se que a utilização de tecnologia assistiva é fundamental para a educação inclusiva e para uma sociedade inclusiva com a oferta equitativa de acesso à escolarização, maximizando as oportunidades de aprendizagem para todos alunos ao contribuir com a superação de dificuldades funcionais (intelectual, física, sensorial, motora) e diferenças sociais para a execução de atividades escolares (POKER; NAVEGA; PETITTO, 2012; PERES; PETITO, 2012).

No caso de pessoas com deficiência visual, essas ferramentas e recursos são essenciais para sua escolarização, desenvolvimento profissional, social e pessoal (ALVES; SILVA, 2012). E a evolução tecnológica já proporcionou certa independência para situações como acesso à conteúdos digitais com softwares de síntese de voz (FAÇANHA, 2012), comunicação com outras pessoas com os recursos de acessibilidade disponíveis nos celulares e aplicativos de conversa com mensagens de voz.

Entretanto, segundo Verussa (2009), Poker, Navega e Petitto (2012) e Corrêa (2014), as habilidades de uma pessoa na utilização de uma tecnologia assistiva é um fator determinante para a qualidade do resultado dessa ferramenta, exigindo treinamento,

formação e estratégias diferenciadas. Dessa forma, para contribuir no processo de inclusão de estudantes com necessidades educacionais especiais, além de ser necessário divulgar, explorar e disponibilizar os recursos existentes (PERES; PETITO, 2012), também é preciso desenvolver novas ferramentas que favoreçam a autonomia do aluno e independa das capacidades e habilidades dele ou de seus professores na utilização do aparelho.

Considerando o aumento da incidência de deficiências conforme o envelhecimento da população (WHO, 2014), estimular essa autonomia garante a independência do aprendiz, possibilitando a população que já não frequenta mais o ambiente escolar a utilizar o recurso sem a necessidade de um professor ou outra pessoa auxiliando.

2.6 Recursos e Ferramentas para o Ensino e Uso do Braille

Como descrito na seção Sistema Braille, as primeiras etapas do ensino do braille se baseiam no reconhecimento dos sinais, após isso, há a associação dos sinais com seus valores e depois, junto com o processo de alfabetização, ocorre o ato da leitura e da escrita. Para realizar esse ensino, diferentes recursos ou tecnologias podem ser utilizados. A seguir estão elencados os principais recursos didáticos e ferramentas de utilização do sistema braille.

Celas brailles de materiais diversos: usadas principalmente para ensinar as combinações de pontos em relevo, as celas brailles que podem ser confeccionadas em E.V.A, madeira e até com materiais reciclados (tampa da garrafa, caixa de ovos) (SÁ; CAMPOS; SILVA, 2007) são acessíveis pelo seu baixo custo e a possibilidade de qualquer pessoa vidente, seguindo o documento da Grafia Braille, confeccionar esses recursos pedagógicos. A sua desvantagem está no processo de ensino, já que exige a presença do professor durante todo o processo de memorização dos caracteres.

Impressora e Textos em Braille: Com a disponibilização de softwares de transcrição de texto para braille (FAÇANHA, 2012), é possível imprimir materiais diversos e personalizados para ensinar os caracteres do sistema ou contribuir com a prática da leitura. Entretanto, para ter a vantagem de materiais personalizados, é necessário ter à disposição uma impressora braille. E caso os textos sejam utilizados no processo de pré-leitura, também é necessária a presença constante de um professor.

Punção e Reglete: usados para escrever textos em braille, a reglete é uma régua de material rígido com celas brailles dispostas horizontalmente e o punção, com ponta metálica, é usado para perfurar os pontos das células brailles na reglete. Exige muita destreza, habilidade e memória, tendo que o usuário escrever no verso da folha da direita para a esquerda (SÁ; CAMPOS; SILVA, 2007).

Display ou Linha Braille: são dispositivos eletrônicos que representam as celas brailles projetando pontos salientes por intermédio de pinos móveis e sistemas eletrome-

cânicos (SÁ; CAMPOS; SILVA, 2007; SANT'ANNA, 2008). São dinâmicos e podem ser integrados a celulares ou computadores para representar o texto disposto no monitor através de softwares de tradução para braille (SANT'ANNA, 2008). Os métodos mais usados para a movimentação dos pinos são: a utilização de cristais piezoelétricos que contrai com a aplicação de uma tensão suficiente e se curva levantando o pino e a utilização de pinos rodeados por bobinas, se comportando como uma solenóide, ou seja, a aplicação de corrente no circuito movimenta o pino (REIS¹ 2013 apud ROCHA et al., 2019). A maior desvantagem é seu alto custo e pouca oferta de produtos no país (SÁ; CAMPOS; SILVA, 2007; SANT'ANNA, 2008).

Além dos recursos mencionados acima, vale destacar três trabalhos que envolvem o ensino dos caracteres braille a partir de uma ferramenta interativa. São eles: Professor Braille por Magalhães (2021), Braille Reader Tutor por Rocha et al. (2019) e UnBraille por Santos (2017).

UnBraille – os pontos da cela braille são controlados individualmente por servomotores de acordo com a opção escolhida no aplicativo de celular capaz de rodar o aplicativo e com recursos de acessibilidade ou que uma pessoa vidente acompanhe o processo desenvolvido pelo.

Professor Braille – os pontos da cela braille são controlados individualmente por solenóides de acordo com a opção escolhida no aplicativo de celular controlado por comandos de voz desenvolvido pelo autor.

Braille Reader Tutor – cada coluna da cela braille é controlada por um motor de passo de acordo com a opção escolhida no aplicativo de celular capaz de rodar o aplicativo e com recursos de acessibilidade ou que uma pessoa vidente acompanhe o processo desenvolvido pelos autores.

Nesses trabalhos citados, o objetivo dos recursos desenvolvidos é contribuir com o processo de memorização dos caracteres braille a partir da interação com um aplicativo para celular.

¹ REIS, Sérgio Valle Dos. **Painel Braille Interativo**. Unicamp, 2013.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Requisitos do equipamento

O objetivo deste trabalho é auxiliar o processo de memorização com um equipamento que não necessite do uso de um aparelho celular.

Para aumentar a autonomia de aprendizado do Sistema Braille da língua portuguesa, têm-se duas funcionalidades para o equipamento: Exibir as letras do alfabeto em uma cela braille e reproduzir o áudio com o nome da letra representada. E permitir que o usuário insira uma configuração de sinal simples e reproduzir o áudio com o nome da letra representada.

Como essas funcionalidades devem ser possíveis sem a utilização de um celular, todos os controles (botões) e saídas de som devem estar disponíveis na própria estrutura do equipamento. Com isso, foram estipulados os seguintes requisitos:

1. Fornecer os sinais braille em alto relevo;
2. Permitir a escrita em alto relevo de um caractere;
3. Reproduzir o arquivo de áudio com o nome da letra fornecida pelo sistema ou pelo usuário;
4. Todos os controles devem ser distintos e acoplados ao equipamento;
5. Possibilitar o uso do equipamento sem auxílio de uma pessoa vidente.

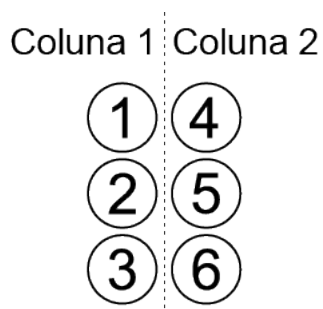
3.2 Metodologia

Para representar as celas braille foi usada a mesma abordagem que [Rocha et al. \(2019\)](#), na qual a cela é dividida em duas colunas. Diferente de [Santos \(2017\)](#) e [Magalhães \(2021\)](#), nos quais cada ponto é controlado individualmente por um motor ou solenoides, respectivamente, em [Rocha et al. \(2019\)](#) há a divisão da cela braille em duas colunas, controlando a combinação de 3 pontos em cada motor.

Nessa abordagem, a primeira coluna da esquerda para direita, é composta dos pontos 1, 2 e 3 e a segunda com os pontos 4, 5, 6 (Fig. 4). Considerando que só existem dois estados para cada ponto (em relevo ou plano) cada coluna tem $2^3=8$ combinações diferentes. Com a combinação das duas colunas, os 64 sinais simples do Sistema Braille podem ser representados. Assim, utilizando um sólido com base de 8 lados (prisma octagonal), é possível representar uma configuração de pontos em cada face e uma cela braille pode ser construída e modificada com a movimentação dos dois prismas octagonais concêntricos (Fig. 5).

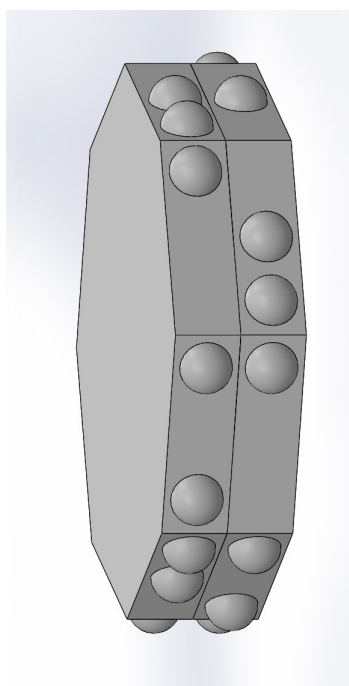
Como existem apenas dois estados para cada ponto, pode-se considerar que o

Figura 4 – Divisão da cela braille por colunas



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 5 – Representação tridimensional da construção de uma cela braille a partir de dois prismas octagonais



Fonte: Elaborada pela autora.

ponto em relevo representa o binário 1 e o ponto plano é o binário 0. Dessa forma, é possível mapear de cada face de um prisma octogonal pelo seu número binário ou por seu equivalente decimal, admitindo os pontos 1 e 4 os dígitos mais significativos e os 3 e 6 os menos significados para suas respectivas colunas. A Figura 6 exibe a relação entre as diferentes configurações de pontos em uma coluna e seus valores binário e decimal.

Figura 6 – Valor binário e decimal para cada combinação de pontos de uma coluna

BRAILLE	BINÁRIO	DECIMAL
①②③	000	0
①②●③	001	1
①●②③	010	2
①●②●③	011	3
●①②③	100	4
●①②●③	101	5
●①●②③	110	6
●①●②●③	111	7

Fonte: Elaborada pela autora.

Com isso, a cela braille é organizada por dois números binários de 3 dígitos, variando de 000 a 111 cada, ou dois números decimais entre 0 e 7. A Figura 7 exemplifica o processo de separação das colunas de um sinal simples, conversão de seus valores para binário e decimal, e a designação do número decimal como índice das faces do prisma octagonal.

Figura 7 – Exemplo do sinal braille "t" representado por valores binários e decimais de acordo com suas colunas

SINAL	COLUMNAS	FACE MOTOR
BRAILLE	BINÁRIO	DECIMAL
	①②③ 0 1 1	3 coluna 1
	④⑤⑥ 1 1 0	6 coluna 2

Fonte: Elaborada pela autora.

No caso da segunda funcionalidade elencada para o equipamento, para permitir a escrita em um sinal simples na cela braille, utiliza-se a mesma abordagem de colunas independentes, estados de pontos como binários e representação de sinais como combinações de dois números decimais.

A Tabela 2 indica a relação dos sinais das letras minúsculas do alfabeto português com sua representação em binários e decimais.

Tabela 2 – Relação alfabeto minúsculo com sinal braille e separação por colunas

Letra	Sinal Braille	Sinal	Coluna 1 (BIN)	Coluna 2 (BIN)	Coluna 1 (DEC)	Coluna 2 (DEC)
a	1	⠁	100	000	4	0
b	12	⠃	110	000	6	0
c	14	⠉	100	100	4	4
d	145	⠙	100	110	4	6
e	15	⠑	100	010	4	2
f	124	⠋	110	100	6	4
g	1245	⠗	110	110	6	6
h	125	⠓	110	010	6	2
i	24	⠊	010	100	2	4
j	245	⠛	010	110	2	6
k	13	⠅	101	000	5	0
l	123	⠇	111	000	7	0
m	134	⠍	101	100	5	4
n	1345	⠎	101	110	5	6
o	135	⠏	101	010	5	2
p	1234	⠕	111	100	7	4
q	12345	⠖	111	110	7	6
r	1235	⠞	111	010	7	2
s	234	⠡	011	100	3	4
t	2345	⠢	011	110	3	6
u	136	⠣	101	001	5	1
v	1236	⠤	111	001	7	1
w	2456	⠥	010	111	2	7
x	1346	⠦	101	101	5	5
y	13456	⠧	101	111	5	7
z	1356	⠨	101	011	5	3
ç	12346	⠇⠠	111	101	7	5

Fonte: Elaborada pela autora.

Para o protótipo desenvolvido neste trabalho, os seguintes equipamentos foram utilizados (Tab. 3):

Tabela 3 – Lista de componentes utilizados neste projeto

1 Placa Arduino Uno
2 Motores de passo modelo 28BYJ-48
2 Drivers ULN2003
1 Módulo MP3 DFPlayer Mini
4 Chaves táteis NA
6 Chaves táteis 7x7mm com trava com estados NA e NF
2 Chaves fim de curso de haste média com estados NA e NF
1 Fonte 5v com conexão USB
2 Cabos de alimentação com conexão USB
1 Alto falante (3W)
1 Cartão de memória microSD 4GB
5 Resistores 1k Ω
8 Resistores 10k Ω
Cabos para conectar os componentes

Fonte: Elaborada pela autora.

3.3 Descrição dos componentes

3.3.1 Arduino Uno

Arduino UNO é uma placa de prototipagem rápida com linguagem de programação baseada em C++ que usa o microcontrolador ATmega328P. É a placa mais documentada e utilizada da família Arduino ([ARDUINO, 2017](#)). A UNO tem 14 pinos de entradas/saídas digitais (0 – 13), 6 pinos de entrada analógica (A0 – A5), conexão USB. Tem tensão de operação de 5V. Os pinos digitais operam com 5v e podem receber ou fornecer até 20mA. Com a função *analogRead()* as entradas analógicas podem dividir o sinal recebido em 1024 partes (resolução de 10bits) medindo do terra ao 5V.

3.3.2 Motor de passo 28BYJ-48 e Driver ULN2003

Para movimentar os prismas octagonais, seria possível usar servo motores, motores de corrente contínua com encoder para controlar a posição ou motores de passo. Neste caso, optou-se pelos motores de passo 28BYJ-48, pois tem alimentação de 5V e custo menor dentre as opções descritas ([GUEDES, 2020](#)). O driver ULN2003, com tensão de operação de 5 ou 12 V, é usado para possibilitar que a placa Arduino controle motores com correntes maiores que 50mA.

A movimentação do motor é feita pelo acionamento ordenado e sequencial de suas bobinas internas através dos pinos IN1, IN2, IN3 e IN4 do driver. O modelo 28BYJ-48 tem resolução 5.625°/64 por passo no modo *half-step* (meio passo) ativando uma bobina

por vez e $5.625^\circ/32$ no mofo *full-step* (passo completo. Para controlar o prisma octagonal com torque máximo, é preciso usar o passo completo, portanto, a volta completa é feita com 2048 passos) (SIMÕES, 2018). Ao dividir esse número por 8 (quantidade de lados), obtém-se o valor de 64 passos por face. A Tabela 4 exibe quais os estados que os pinos precisam receber para avançar ou recuar um passo respectivamente.

Tabela 4 – Sequência de ativação dos pinos do driver ULN2003 para movimentação do motor 28BYJ-48

Avançar				
Pino	Passo 1	Passo 2	Passo 3	Passo 4
IN1	HIGH	LOW	LOW	HIGH
IN2	HIGH	HIGH	LOW	LOW
IN3	LOW	HIGH	HIGH	LOW
IN4	LOW	LOW	HIGH	HIGH
Recuar				
Pino	Passo 1	Passo 2	Passo 3	Passo 4
IN1	HIGH	HIGH	LOW	LOW
IN2	HIGH	LOW	LOW	HIGH
IN3	LOW	LOW	HIGH	HIGH
IN4	LOW	HIGH	HIGH	LOW

Fonte: Elaborada pela autora.

3.3.3 Chaves de fim de curso

O ponto negativo dos motores de passo 28BYJ-48 é que sua posição é controlada de forma relativa à posição do eixo do motor quando o circuito foi ligado. Ou seja, se o equipamento for desligado abruptamente, o referencial do eixo será a partir da posição final. Com isso, não é possível garantir que o equipamento será iniciado sempre na mesma face do prisma octagonal.

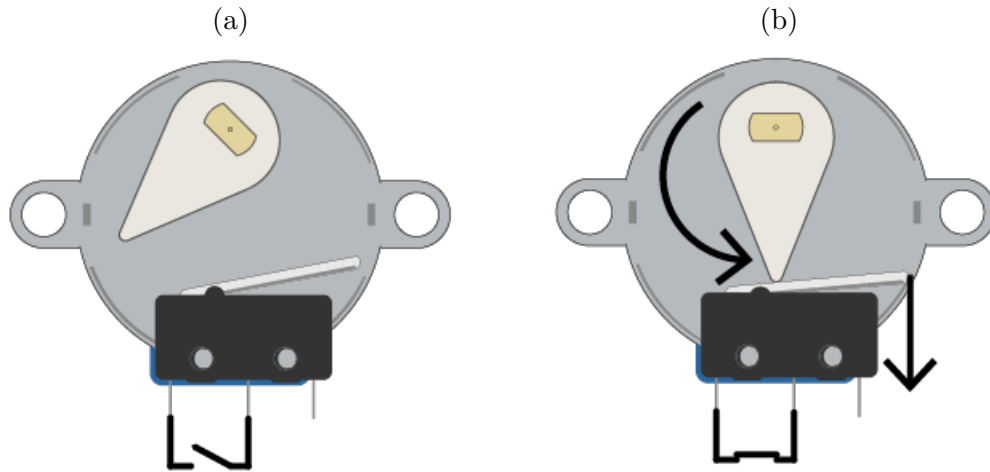
Para solucionar essa questão, as chaves de fim de curso foram utilizadas junto com um ponteiro acoplado ao eixo do motor. Esse ponteiro aciona a chave sempre na mesma posição, como demonstrado na Figura 8, e funciona como um indicador de que o motor está na face definida como inicial.

3.3.4 Chaves

As chaves táteis NA foram usadas para controle das funcionalidades do protótipo como avançar, recuar e reproduzir som de uma letra.

As chaves com trava dispostas em uma matriz 3x2 representam uma cela braille, pois sua altura varia ao ser pressionada. Com isso, é possível reproduzir sinais na matriz de botão, onde o ponto em relevo é representado pela chave não acionada e o ponto plano por ela acionada.

Figura 8 – Acoplamento de chave de fim de curso e ponteiro no motor. Em (a) o contato da chave está aberto. Com o movimento do eixo, o ponteiro aciona a chave de fim de curso e fecha seu contato (b) indicando que o motor está na face desejada



Fonte: Elaborada pela autora.

3.3.5 Módulo MP3

O módulo MP3 e o alto falante são utilizados para a reprodução dos áudios armazenados no cartão de memória. O módulo MP3 tem tensão de operação de 3.3 a 5V, reproduz arquivos em formato MP3, WAV, WMA e pode ser controlado com a comunicação serial do Arduino.

3.4 Montagem e programação

Como explicado anteriormente, é importante que todos os controles estejam dispostos no próprio equipamento. Para isso, foram pensadas nas seguintes funcionalidades:

Avançar Letra – ativada por um botão único, deve movimentar os motores de modo a obter a combinação da cela braille que representa a próxima letra do alfabeto.

Retroceder Letra – ativada por um botão único, deve movimentar os motores de modo a obter a combinação da cela braille que representa a letra anterior do alfabeto.

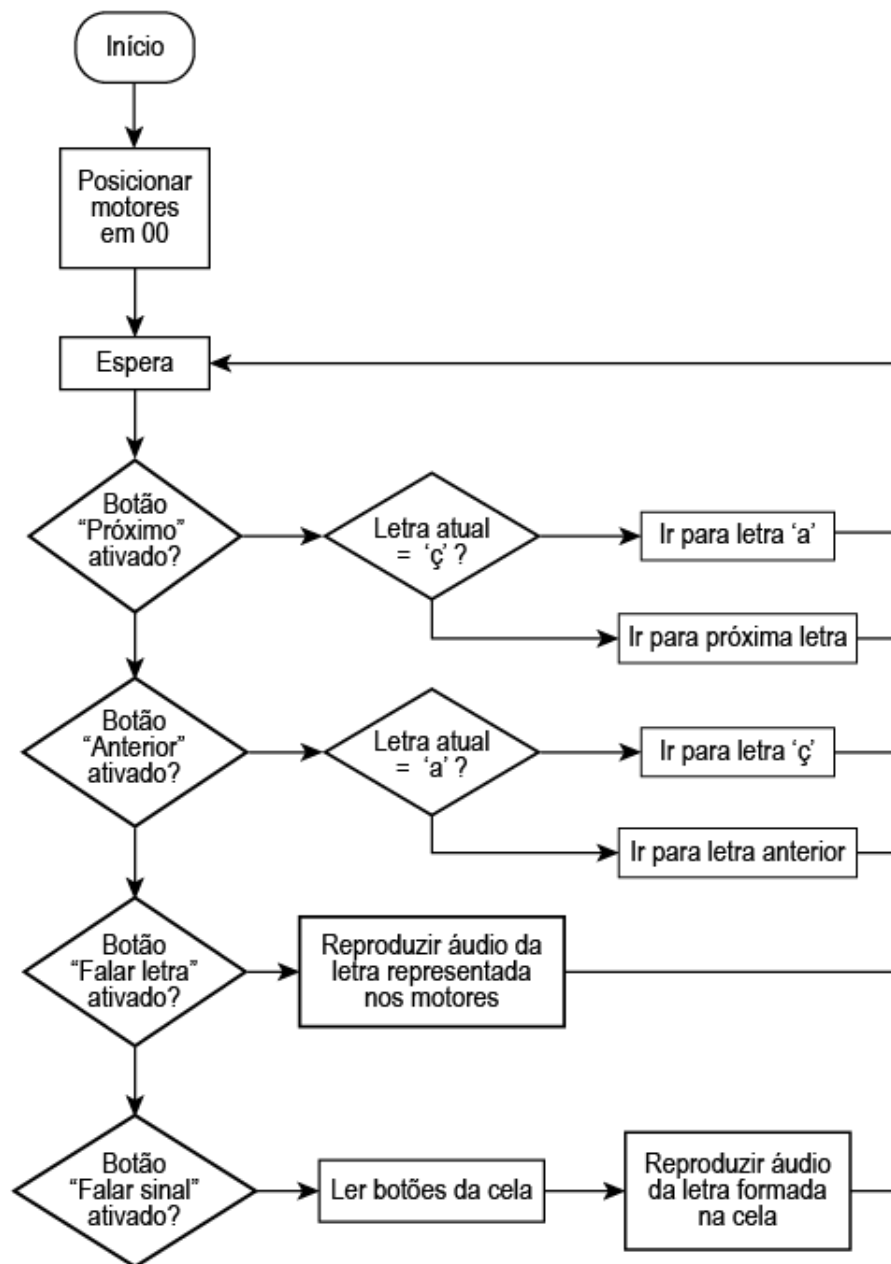
Falar Letra – ativada por um botão único, deve reproduzir o áudio correspondente à letra representada pela combinação dos prismas octagonais.

Falar Sinal – atividade por um botão único, deve interpretar qual o sinal representado pelos estados das chaves com trava e reproduzir o áudio da letra correspondente.

Resetar motores – ativada com a inicialização da placa, deve movimentar os motores para a posição inicial.

Na Figura 9 está representado o algoritmo da lógica de funcionamento do protótipo.

Figura 9 – Estrutura do algoritmo de funcionamento



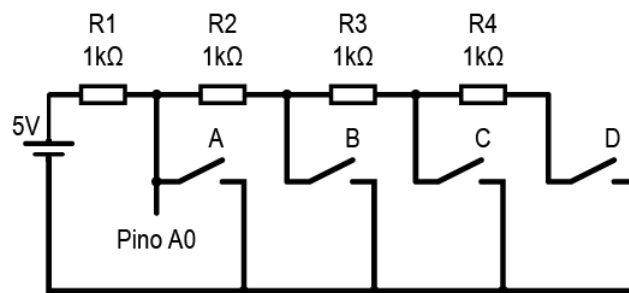
Fonte: Elaborada pela autora.

Para executar esse algoritmo utilizando um botão para cada função, exigiria da placa de prototipagem 4 pinos de entrada. Somando isso a 2 pinos para as chaves de fim de curso, 8 pinos para os dois drivers de corrente, 2 para o módulo MP3 e 6 para as chaves com trava, seriam necessários 22 pinos de entrada/saída e a placa Arduino UNO tem apenas 20 pinos (considerando que os pinos 0 e 1 são utilizados para comunicação serial com o computador na etapa de testes, esse número reduz para 18).

A solução adotada foi conectar os botões em um circuito divisor de tensão e realizar

a leitura analógica em um único pino com a função *analogRead*. Essa função inerente da placa, divide o sinal de 5v em 1024 faixas. Assim, o circuito representado na Figura 10 foi montado e a Tabela 5 mostra os valores lidos com cada botão sendo acionado, com isso, como os pinos de entrada do Arduino estão conectados ao terra internamente, a tensão medida em A0 será a subtração entre a alimentação e o valor consumido no resistor R1. Essa configuração também foi utilizada para os fim de curso e está representado na Figura 11 e seus valores descritos na Tabela 6.

Figura 10 – Circuito divisor de tensão para os botões



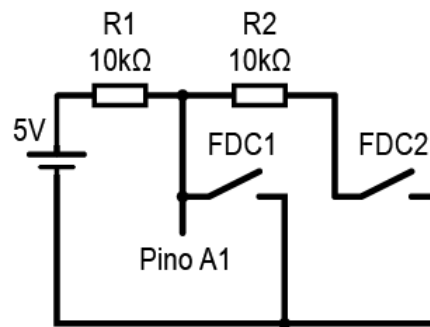
Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 5 – Resistência equivalente do circuito, Corrente máxima, Tensão consumida, tensão no ponto A0, valor lido pela função *analogRead*, faixa de comparação e funcionalidade para cada chave no circuito divisor de tensão dos botões.

Chave	Resistência Equivalente (kΩ)	Corrente (mA)	Tensão consumida por R1 (V)	Tensão Pino A0 (V)	analog Read()	Faixa de comparação no código	Função
A	1	5	5	0	0	$A0 < 100$	Letra Anterior
B	2	2,5	2,5	2,5	512	$450 < A0 < 550$	Próxima Letra
C	3	1,67	1,67	3,33	682,67	$600 < A0 < 700$	Áudio letra no motor
D	4	1,25	1,25	3,75	768	$700 < A0 < 800$	Áudio letra na cela

Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 11 – Circuito divisor de tensão para as chaves de fim de curso



Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 6 – Resistência equivalente do circuito, Corrente máxima, Tensão consumida por R1, tensão no ponto A1, valor lido pela função `analogRead`, faixa de comparação e funcionalidade para cada chave no circuito divisor de tensão das chaves de fim de curso.

Chave	Resistência Equivalente (kΩ)	Corrente (mA)	Tensão no entre fonte e pino A1	Tensão Pino A1 (V)	<code>analogRead()</code>	Faixa de comparação no código	Função
FDC1	10	0,5	5	0	0	$A1 < 100$	Colocar motor 2 na posição 0
FDC2	20	0,25	2,5	2,5	512	$100 < A1 < 600$	Colocar motor 1 na posição 0

Fonte: Elaborada pela autora.

Nessa configuração, não há como medir se mais de uma chave foi acionada, pois a corrente opta pelo caminho menos resistente, ou seja, se o botão 4 da Figura 10 for acionado, o valor lido pela função *analogRead* será zero independentemente se outro botão estiver fechado.

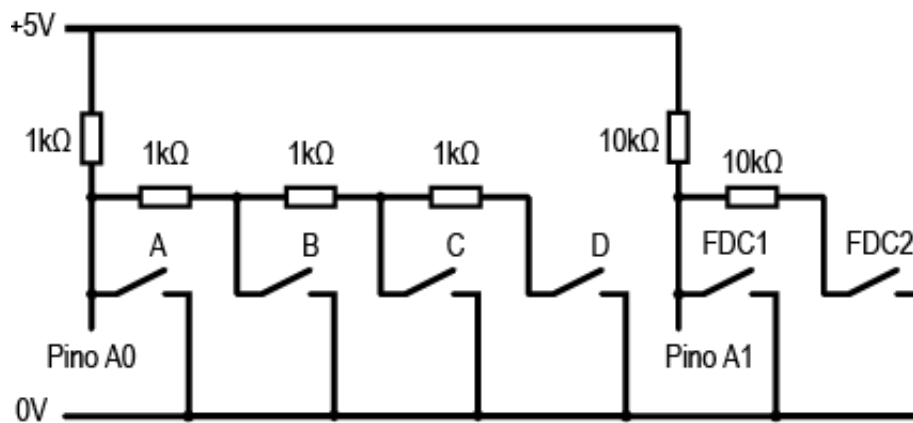
Assim, para o caso das chaves de fim de curso, é necessário que o caminho com mais resistência, seja acionado antes para que seja possível diferenciar 3 situações: as 2 chaves abertas, a primeira chave fechada e a segunda aberta, as duas chaves fechadas. Outro ponto é que a menor resistência equivalente do circuito de chaves de fim de curso é 1,25 da maior resistência equivalente do circuito de botões. Isso garante que, como os

dois circuitos são alimentados em paralelo pelo Arduino (Fig. 12), com a movimentação do motor durante o uso do equipamento, mesmo que as chaves de fim de curso sejam acionadas, a leitura do pino A0 não será afetada, pois sempre será o menos resistivo.

Em contrapartida, essa solução de divisores de tensão não pode ser utilizada para a funcionalidade de escrita de sinal braille, pois é necessário diferenciar quais chaves estão fechadas ou abertas para identificar o sinal representado.

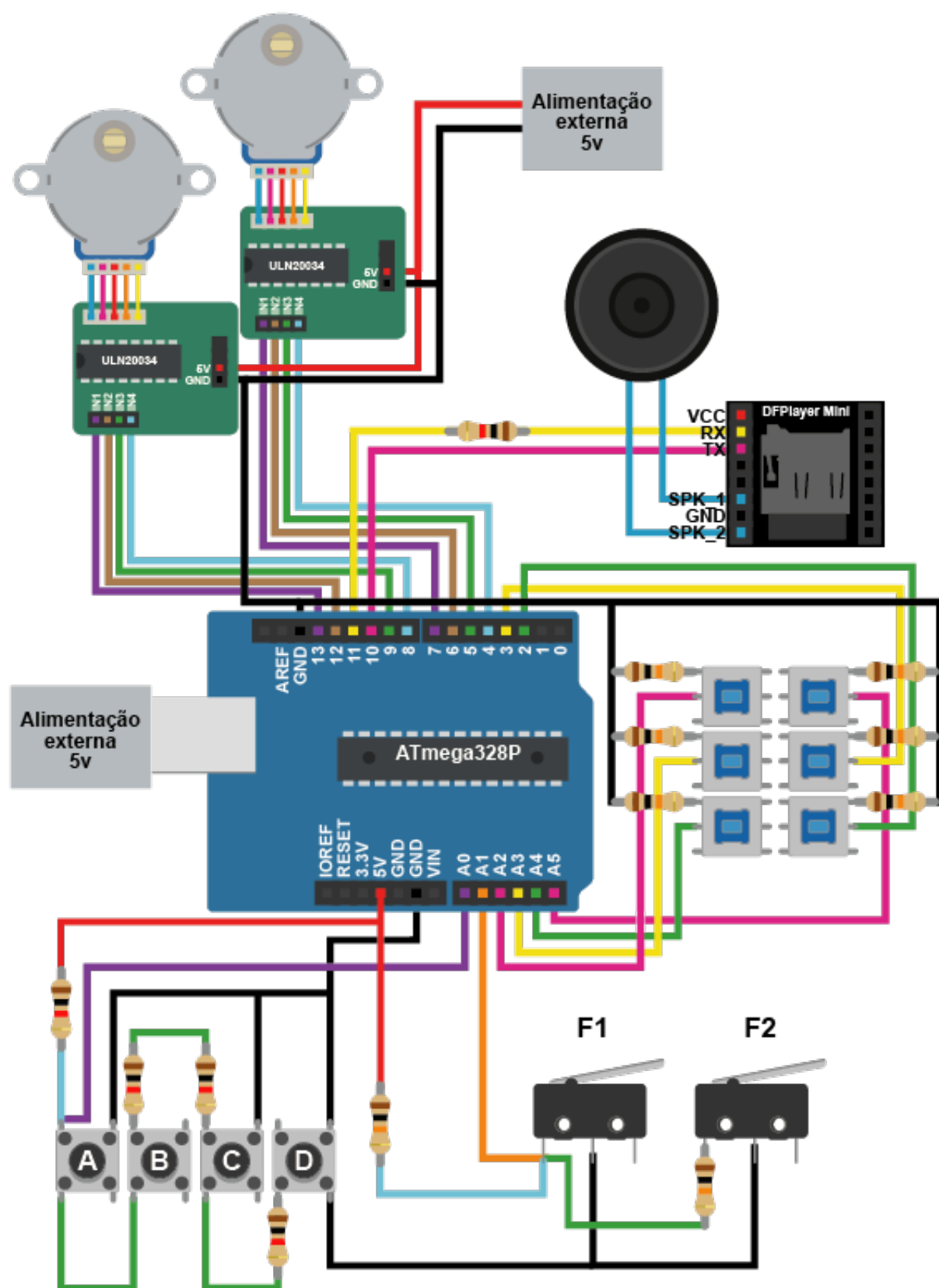
Com isso, a montagem dos componentes foi feita de acordo com o representado na Figura 13.

Figura 12 – Circuito divisor de tensão para as entradas analógicas A0 e A1.



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 13 – Conexão dos componentes eletrônicos



Fonte: Elaborada pela autora.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

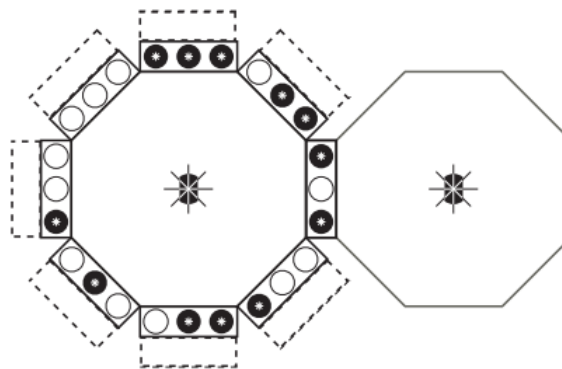
4.1 Estrutura

A fim de testar o conceito do equipamento e garantir flexibilidade na sua construção, foram utilizados materiais recicláveis para compor sua estrutura: caixa de plástico 200x140x120mm para guardar o circuito, papelão para proporcionar diferentes alturas para os componentes, placas de fenolite perfurada 50x70mm para soldar os botões e parafusos Allen M3 para fixar os materiais na caixa.

Os prismas octagonais foram feitos de papel (com gramatura de 210-300g) seguindo o modelo exposto na Figura 14. De acordo com a norma NBR 9050 ([ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS, 2015a](#)), a cela braille é um retângulo com dimensões 4,7x7,4 mm e o diâmetro de seus pontos varia entre 1,2 a 2mm.

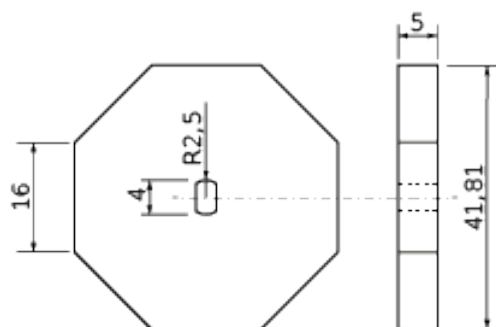
Como o equipamento objetiva treinar pessoas que sem a percepção tátil desenvolvida, optou-se por dobrar o tamanho da cela. Assim, os pontos em relevo têm 4mm de diâmetro e os valores dos lados da cela foram arredondados para cima para facilitar a montagem, resultando em um retângulo de 16x5mm. A Figura 15 contém as dimensões do prisma octagonal para montagem no eixo do motor de passo.

Figura 14 – Modelo para impressão do prisma octagonal



Fonte: Elaborada pela autora.

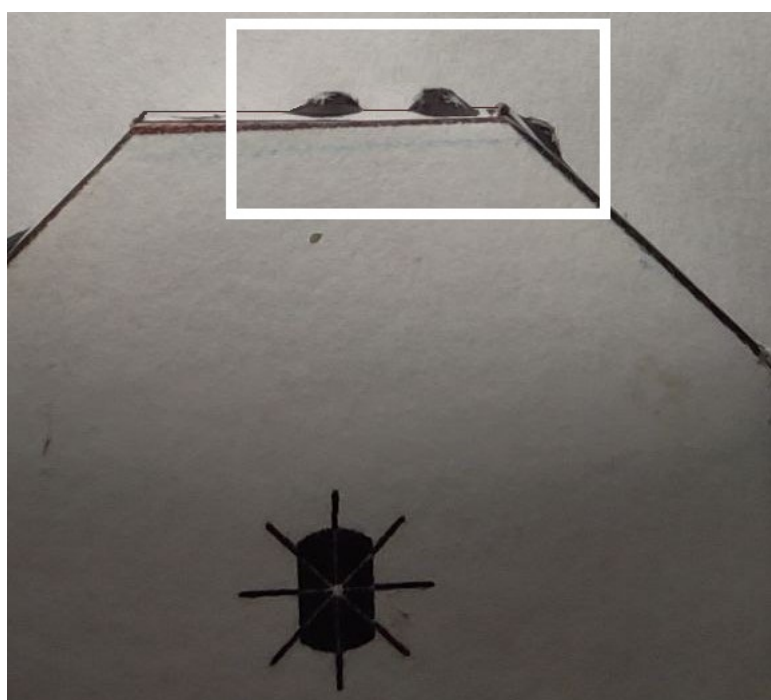
Figura 15 – Dimensões do prisma octagonal



Fonte: Elaborada pela autora.

Para tornar os pontos salientes, após a impressão do modelo do prisma, os pontos com estado binário "1" foram pressionados contra uma tampa de garrafa plástica que continha um furo de 4mm no seu centro, simulando a função de punção e reglete. Após isso, as faces do prisma foram coladas de maneira a montar o sólido. A Figura 16 mostra o resultado dos pontos em relevo no papel.

Figura 16 – Pontos em relevo em uma face do prisma octagonal



Fonte: Elaborada pela autora.

A Figura 17 mostra a vista superior do protótipo. O código de programação completo e comentado está no Anexo A.

Figura 17 – Vista superior do protótipo e a fonte usada para alimentação



Fonte: Elaborada pela autora.

4.2 Resultados

Os arquivos de áudio com os nomes das letras foram gravados com o auxílio da ferramenta Google Tradutor e copiados para o cartão de memória.

Como os usuários do sistema serão pessoas com deficiência visual, nenhuma resposta do equipamento deve ser feita com estímulos visuais. Para isso, foram usados, além dos arquivos de áudio com os nomes das letras, três palavras/frases.

1. "Começar": Esse arquivo é reproduzido após o sistema carregar corretamente e finalizar o posicionamento dos motores na face 00.
2. "Não foi possível iniciar": Esse áudio é reproduzido caso a comunicação com o módulo MP3 não possa ser iniciada ou não exista cartão de memória acoplado ao módulo.
3. "Não é uma letra": Esse arquivo é reproduzido caso o usuário insira uma combinação de pontos que não esteja mapeada no alfabeto português minúsculo.

Com essa abordagem de resposta sonora no equipamento e o controle por botões táteis, os objetivos número 3, 4 e 5 descritos na Seção 3.1.

Os primas octagonais com pontos salientes representaram corretamente os sinais das letras minúsculas do alfabeto português, entretanto, com a utilização do protótipo, há pressão dos dedos na superfície e alguns pontos perderam a definição do relevo.

A funcionalidade da cela braille com chaves com trava atendeu o objetivo de poder inserir um sinal no equipamento e receber a resposta sonora da letra que representa. Pelo formato retangular e plano das chaves, a percepção tátil é diferente do que se sente na cela representada pelos motores. Além disso, é necessária uma exploração tátil no primeiro uso para perceber o que é uma chave não pressionada e a diferença de altura entre os dois estados.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentada a importância de se promover a inclusão e o acesso à informação para pessoas com deficiência. Uma das formas para alcançar esse objetivo é com o desenvolvimento de tecnologias assistivas que proporcionam autonomia.

Mostrou-se o uso do Sistema Braille para o processo de alfabetização de pessoas com deficiência visual e foram apresentados os aspectos negativos que cercam seu aprendizado. O principal sendo o treino da capacidade de diferenciar combinações de pontos em relevo com o tato. Para contribuir com o processo de automatização dos exercícios de decodificação dos caracteres do Sistema Braille, foi desenvolvido o protótipo que proporciona sinais em alto relevo com resposta sonora e permite a consulta de um sinal inserido pelo usuário.

Das funções feitas, a que se destaca é a possibilidade de inserir uma configuração de pontos e receber a resposta sonora da letra (ou se não é uma letra) correspondente. Essa funcionalidade já poderia ser desenvolvida futuramente como um produto único, desde que mapeados todos os sinais simples do Sistema Braille. Com o dobro das chaves, seria possível representar sinais compostos que, junto com os controles por botões e resposta sonora, poderiam ensinar os símbolos matemáticos, químicos e as abreviações comuns.

Outro ponto relevante do trabalho apresentado, foi a tentativa de circuitos divisores de tensão para reduzir a quantidade de pinos necessários na placa do microcontrolador. Em termos de programação, o mapeamento dos caracteres por uma combinação de 2 números decimais se mostrou útil e mais ágil que utilizar apenas o número binário de cada coluna da cela braille. Já que para cada sinal seria necessário escrever no código 6 caracteres na representação binária.

Para trabalhos futuros que mantenham a funcionalidade de representação de sinais com motores, sugere-se, primeiro, desenvolver uma placa de circuito impresso para reduzir o espaço físico exigido pela placa Arduino Uno, podendo assim, modelar uma estrutura em material rígido como placa de fibra de média densidade ou acrílico.

Outra sugestão é adicionar entrada para fones de ouvido, de modo que o equipamento possa ser utilizado em ambientes que exigem silêncio do usuário (bibliotecas) ou em ambientes com muitos estímulos sonoros (salas de aula).

Para um desenvolvimento mais completo, também é sugerido embarcar o sistema para otimizar o consumo de memória e dimensionar uma bateria para que seja possível aumentar a autonomia do usuário ao eliminar a necessidade de ter uma tomada próxima.

Com isso, é possível concluir que há margem para melhorar um sistema que facilite o processo de memorização dos caracteres braille. E cabe às pessoas que hoje pertencem à

comunidade acadêmica estudar e desenvolver esses recursos de modo a contribuir para que as pessoas com deficiência tenham acesso à informação e formação necessárias para desenvolver suas próprias tecnologias.

REFERÊNCIAS

ALVES, C. C. d. F.; SILVA, M. F. F. A importância dos recursos de alta tecnologia no processo de inclusão de deficientes visuais: revisão de literatura. In: POKER, R. B. AND NAVEGA, M. T. AND PETITTO, S. **Acessibilidade na Escola Inclusiva**: Tecnologias, recursos e o atendimento educacional especializado. Marília: Oficina Universitaria; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2012. v. 4, cap. 2, p. 31–47.

ARDUINO. **Arduino Uno**. 2017. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3/>>. Acesso em: 30 dez. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050**: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2015a. 36-37 p.

BATALIOTTI, S. E. **Da acessibilidade à autonomia do usuário com deficiência visual em ambientes virtuais de aprendizagem**. 2017. 170 f. Tese (Doutorado em Educação) — Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2017.

BRASIL. Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015. institui a lei brasileira de inclusão da pessoa com deficiência (estatuto da pessoa com deficiência). **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 7 jul. 2015. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm>. Acesso em: 4 dez. 2021.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Especial. **Grafia Braille para a Língua Portuguesa**. Brasília: SESP, 2006. 106 p.

CIANTELLI, A. P. **Estudantes com deficiência na universidade**: contribuições da psicologia para as ações do núcleo de acessibilidade. 2015. 183 f. Dissertação (Mestrado em Psicologia do Desenvolvimento e da Aprendizagem) — Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências, Bauru, 2015.

CONDE, A. J. M. **Definição de cegueira e baixa visão**. 2016. Disponível em: <http://www.ibc.gov.br/images/conteudo/AREAS_ESPECIAIS/CEGUEIRA_E_BAIXA_VISAO/ARTIGOS/Def-de-cegueira-e-baixa-viso.pdf>. Acesso em: 6 out. 2021.

CORRÊA, P. M. **Acessibilidade no Ensino Superior**: Instrumento para avaliação, satisfação dos alunos com deficiência e percepção de coordenadores de cursos. 2014. 281 f. Tese (Doutorado em Educação) — Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Filosofia e Ciências, Marília, 2014.

DELIBERATO, D. Acessibilidade comunicativa no contexto acadêmico. In: MANZINI, E. J. **Inclusão do aluno com deficiência na escola**: os desafios continuam. Marília: ABPEE/FAPESP, 2007. p. 25–36.

DUTTON, C. S. As especificidades do ensino e da aprendizagem da leitura por meio do sistema braille na alfabetização de alunos cegos. **Instituto Benjamin Constant**, v. 27, n. 62, p. e276202, jan./abr. 2021.

FACULDADE DE CIÊNCIAS MÉDICAS. **A deficiência visual**. [20-]. Disponível em: <<https://www.fcm.unicamp.br/fcm/auxilios-opticos/deficiencia-visual>>. Acesso em: 4 nov. 2021.

FAÇANHA, A. R. Auxiliando o processo de ensino-aprendizagem do braille através de dispositivos touch screen. **Informática na Educação: teoria e prática**, v. 15, n. 2, p. 153–169, jul./dez. 2012.

GUEDES, K. **Motores de passo vs. Servomotores conheça as diferenças**. 2020. Disponível em: <<https://www.topgadget.com.br/howto/electronica/motores-de-passo-vs-servomotores-conheca-as-diferencas.htm>>. Acesso em: 30 dez. 2021.

HOUAISS, A. V.; VILLAR, M. S. (Ed.). **Minidicionário Houaiss da língua portuguesa**. 3. ed. Rio de Janeiro: Objetiva, 2008. 976 p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**: Características gerais da população, religião e pessoas com deficiência. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

INSTITUTO BENJAMIN CONSTANT. **O Sistema Braille**. 2020. Disponível em: <<http://www.ibc.gov.br/fique-por-dentro/121-cegueira-e-baixa-visao/675-o-sistema-braille>>. Acesso em: 4 nov. 2021.

MAGALHÃES, O. S. C. Professor braille: uma ferramenta pedagógica que auxilia pessoas com deficiência visual ao aprendizado do braile. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**, p 20, set. 2021.

MARUCH, M. A. S.; STEINLE, M. C. B. Alfabetização e letramento do educando cego ou de baixa visão: uma reflexão necessária. f 21, 2008.

NUERNBERG, A. H. Ilustrações táteis bidimensionais em livros infantis: considerações acerca de sua construção no contexto da educação de crianças com deficiência visual. **Revista Educação Especial**, v. 23, n. 36, p. 131–144, jan./abr. 2010.

OLIVEIRA, F. I. W. d. A educação de crianças com cegueira: considerações sobre os desafios da alfabetização pelo sistema braile. In: OLIVEIRA, S. E. S. DE AND GIROTO, C. R. M. AND SOUZA, C. B. G. DE. **Diferentes olhares sobre a inclusão**. Marília: Oficina Universitaria; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2013. cap. 7, p. 107–122.

OLIVEIRA, J. P.; BRAGA, T. M. S. Abordagens científicas sobre o desenvolvimento da linguagem e aspectos escolares de crianças cegas e com baixa visão. In: OLIVEIRA, S. E. S. DE AND GIROTO, C. R. M. AND SOUZA, C. B. G. DE. **Diferentes olhares sobre a inclusão**. Marília: Oficina Universitaria; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2013. cap. 6, p. 87–105.

PERES, R. M. S.; PETITO, S. A tecnologia assistiva na inclusão de alunos com deficiência: um desafio para os professores? In: POKER, R. B. AND NAVEGA, M. T. AND PETITTO, S. **Acessibilidade na Escola Inclusiva**: Tecnologias, recursos e o atendimento educacional especializado. Marília: Oficina Universitaria; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2012. v. 4, cap. 9, p. 163–182.

PEZZUTO, S. M. C.; CAMARGO, E. P. Atendimento educacional especializado para alunos com baixa visão. In: POKER, R. B. AND NAVEGA, M. T. AND PETITTO, S. **Acessibilidade na Escola Inclusiva: Tecnologias, recursos e o atendimento educacional especializado**. Marília: Oficina Universitaria; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2012. v. 4, cap. 8, p. 141–162.

POKER, R. B.; NAVEGA, M. T.; PETITTO, S. Acessibilidade na escola inclusiva: Tecnologias, recursos e o atendimento educacional especializado. In: _____. **Acessibilidade na Escola Inclusiva: Tecnologias, recursos e o atendimento educacional especializado**. Marília: Oficina Universitaria; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2012. v. 4, cap. 1, p. 13–29. (Educação especial na perspectiva da educação inclusiva).

REGANHAN, W. G.; BRACCIALLI, L. M. P. Percepção dos professores sobre a modificação da prática pedagógica para o ensino do aluno deficiente inserido no ensino regular. In: MANZINI, E. J. **Inclusão do aluno com deficiência na escola: os desafios continuam**. Marília: ABPEE/FAPESP, 2007. p. 51–62.

ROCHA, V. H. d. et al. Ensinando a identificação de caracteres braille utilizando dispositivos móveis e um display braille. **Revista Novas Tecnologias na Educação**, v. 17, n. 3, p. 82–91, Dez. 2019.

SÁ, E. D. d.; CAMPOS, I. M. d.; SILVA, M. B. C. **Atendimento Educacional Especializado: Deficiência visual**. [S.l.]: Editora Cromos, 2007.

SANDES, L. F. **A leitura do deficiente visual e o sistema braille**. 2009. 70 f. Licenciatura em Pedagogia — Universidade do Estado da Bahia. Departamento de Educação. Colegiado de Pedagogia. Campus I., Salvador, 2009.

SANT’ANNA, L. **O que é um Display Braille?** 2008. Disponível em: <<http://www.acessibilidadelegal.com/33-display-braille.php>>. Acesso em: 9 nov. 2021.

SANTOS, V. E. **UnBraille: Dispositivo Computacional de Baixo Custo para Apoio na Alfabetização em Braille de Pessoas com Deficiência Visual**. 2017. 65 f. Licenciatura em Ciência da Computação — Universidade de Brasília. Instituto de Ciências Exatas. Departamento de Ciência da Computação, Brasília, 2017.

SILVA, K. C. **Condições de acessibilidade na universidade: o ponto de vista de estudantes com deficiência**. 2016. 149 f. Dissertação (Mestrado em Educação) — Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Filosofia e Ciências, Marília, 2016.

SIMÕES, H. M. C. **Controlando um motor de passo com o arduino**. 2018. Disponível em: <<https://blog.moduloeletronica.com.br/controlando-um-motor-de-passo-com-o-arduino/>>. Acesso em: 30 dez. 2021.

VELDEN, H. F. V.; LEITE, L. P. A interface entre a psicologia e a inclusão educacional. In: OLIVEIRA, S. E. S. DE AND GIROTO, C. R. M. AND SOUZA, C. B. G. DE. **Diferentes olhares sobre a inclusão**. Marília: Oficina Universitaria; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2013. cap. 2, p. 23–44.

VERUSSA, E. O. **Tecnologia assistiva para o ensino de alunos com deficiência: um estudo com professores do ensino fundamental**. 2009. 96 f. Dissertação (Mestrado em Educação) — Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Filosofia e Ciências, Programa de Pós-graduação em Educação, Unesp, Marília, 2009.

VILELA, L. O. **Concepções sobre o trabalho da pessoa com deficiência**: avaliação dos efeitos de uma intervenção realizada com funcionários de uma universidade pública. 2013. 122 f. Dissertação (Mestrado em Psicologia do Desenvolvimento e Aprendizagem) — Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências, Bauru, 2013.

VITORINI, e. F. **Uso da linguagem documentaria na busca da informação em bibliotecas universitarias**: a perspectiva dos deficientes visuais. 2015. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Informação) — Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Filosofia e Ciências, Marília, 2015.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **WHO GLOBAL DISABILITY ACTION PLAN 2014-2021**: better health for all people with disability. Geneva, 2014. 32 p.

ZAMPROGNO, L. Z. **T-TATIL**: Desenvolvimento de uma tecnologia assistiva para auxiliar pessoas com deficiência visual a ler e interpretar desenhos tateis. 2019. 95 f. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) — Universidade Federal do Para, Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, Tucuruí, 2019.

Apêndices

APÊNDICE A – CÓDIGOS ARDUINO

```

1 #include "SoftwareSerial.h" // Biblioteca para módulo MP3
2 #include "DFRobotDFPlayerMini.h" // Biblioteca para módulo MP3
   por DFRobot
3
4 SoftwareSerial mySoftwareSerial(10, 11); // RX, TX (módulo MP3)
5 DFRobotDFPlayerMini myDFPlayer; //módulo MP3
6
7 const int somerro = 29 +1;
8 const int somcomecar = 28+1;
9 const int celaerrada = 30+1;
10 int flag = 0;
11
12 // Variáveis de caracteres
13 char caracteres[] = " abcdefghijklmnopqrstuvwxyz"; // vazio e 00
   = posição inicial
14 int caracteresEmBrailleDec[] =
   {00,40,60,44,46,42,64,66,62,24,26,50,70,54,56,52,74,76,
15 72,34,36,51,71,27,55,57,53,75};
16
17 // Botões de comando
18 const int botoes = A0;
19 const int fimdecursor = A1;
20
21 // Cela braille
22 const int b1 = A2;
23 const int b2 = A3;
24 const int b3 = A4;
25 const int b4 = A5;
26 const int b5 = 3;
27 const int b6 = 2;
28
29 String vetor;
30 int v1,v2;
31
32 // Motores
33 #define m1p1 7
34 #define m1p2 6
35 #define m1p3 5

```

```
36 #define m1p4 4
37
38 #define m2p1 13
39 #define m2p2 12
40 #define m2p3 9
41 #define m2p4 8
42
43 const int Msteps = 64; //Ciclos por face
44 int m1,m2,m3,m4 = 0;
45
46 // Auxiliares
47 // pos = posição no vetor de caracteres
48 // m1x0 = posição inicial do motor 1, m1x1 = posição futura do
    motor 1
49 // x,y auxiliares para faces
50 int pos, som, m1x0, m1x1, m2x0, m2x1,x,y,somabotoes = 0;
51
52 //////////////////////////////////////
53
54 void setup(){
55
56     mySoftwareSerial.begin(9600); //comunicação com o módulo mp3
57
58     // Configurando pinos dos motores e dos botões de comando
59     pinMode(m1p1,OUTPUT);  pinMode(m1p2,OUTPUT);
60     pinMode(m1p3,OUTPUT);  pinMode(m1p4,OUTPUT);
61     pinMode(m2p1,OUTPUT);  pinMode(m2p2,OUTPUT);
62     pinMode(m2p3,OUTPUT);  pinMode(m2p4,OUTPUT);
63
64     pinMode(botoes, INPUT);pinMode(fimdecorso, INPUT);
65
66     // Configurando pinos da cela braille
67     pinMode(b1, INPUT_PULLUP);pinMode(b2, INPUT_PULLUP);
68     pinMode(b3, INPUT_PULLUP);pinMode(b4, INPUT_PULLUP);
69     pinMode(b5, INPUT_PULLUP);pinMode(b6, INPUT_PULLUP);
70
71     // Colocando os motores em LOW
72     digitalWrite(m1p1, LOW); digitalWrite(m1p2, LOW);
73     digitalWrite(m1p3, LOW); digitalWrite(m1p4, LOW);
74     digitalWrite(m2p1, LOW); digitalWrite(m2p2, LOW);
75     digitalWrite(m2p3, LOW); digitalWrite(m2p4, LOW);
76
```

```
77 if (!myDFPlayer.begin(mySoftwareSerial)) {
78     myDFPlayer.play(somerro);}
79 myDFPlayer.volume(30);
80 resetarmotor(); // posicionar motores em 00
81 myDFPlayer.play(somcomecar);
82 }
83
84 void loop(){
85
86     somabotoes = analogRead(botoes);
87     delay(250);
88
89     if ( 450 < somabotoes and somabotoes < 550){
90         // Próxima letra
91         if(pos<27){pos++;}
92         else{pos=1;}
93         x = xpos(pos);
94         y = ypos(pos);
95         m1x0 = delta(m1x0,x,1);
96         m2x0 = delta(m2x0,y,2);}
97
98
99     else if ( somabotoes < 100){
100         // Letra anterior
101         if(pos>1){pos--;}
102         else{pos=27;}
103         x = xpos(pos);
104         y = ypos(pos);
105         m1x0 = delta(m1x0,x,1);
106         m2x0 = delta(m2x0,y,2);
107     }
108
109     else if ( 600 < somabotoes and somabotoes < 700 ){
110         // Falar letra
111         if(pos > 0){
112             som = pos +1;}
113         else{som=celaerrada;}
114         myDFPlayer.play(som);
115     }
116     else if (700 < somabotoes and somabotoes < 800){
117
118         // Interpreta a cela braille
```

```
119     vetor = "";
120     vetor += !digitalRead(b1);
121     vetor += !digitalRead(b2);
122     vetor += !digitalRead(b3);
123     vetor += !digitalRead(b4);
124     vetor += !digitalRead(b5);
125     vetor += !digitalRead(b6);
126
127     // Converte cella braille para decimal
128     v1 = (vetor.substring(0,3)).toInt();
129     v1 = BtoD(v1);
130     v2 = (vetor.substring(3,6)).toInt();
131     v2 = BtoD(v2);
132
133     // Encontra posição do caractere
134     for(int aux =0; aux < 28; aux++){
135         if(String(caracteresEmBrailleDec[aux]) == (String(v1)+
String(v2))){
136             myDFPlayer.play(aux+1);
137             aux = 28;
138             flag = 1;}
139     }
140     if(flag == 0){myDFPlayer.play(celaerrada);}
141     else{flag = 0;}
142     }
143 }
144
145 long BtoD(long binary) { // Conversor BIN>DEC por:
    shreyas_arbatti
146     long number = binary;
147     long decimalVal = 0;
148     long baseVal = 1;
149     long tempVal = number;
150     long previousDigit;
151     while (tempVal) {
152         previousDigit = tempVal % 10;
153         tempVal = tempVal / 10;
154         decimalVal += previousDigit * baseVal;
155         baseVal = baseVal * 2;
156     }
157     return decimalVal;
158 }
```

```
159
160 // Distância entre faces
161 int delta(int d0, int d1, int m){
162 // face inicial, face final, motor
163     int delta = d1 - d0;
164     if(delta > 0){
165         frente(abs(delta),m);
166     }
167     if(delta < 0){
168         tras(abs(delta),m);
169     }
170     return d1;
171 }
172
173 int xpos(int pos){ // Retorna a dezena do decimal
174     int x = (caracteresEmBrailleDec[pos] / 10U) % 10;
175     return x;
176 }
177 int ypos(int pos){ // Retorna a unidade do decimal
178     int y = (caracteresEmBrailleDec[pos] / 1U) % 10;
179     return y;
180 }
181
182 //FRENTE
183 void frente(int n, int m){ // distância, motor
184     if(m==1){
185         m1 = m1p1; m2 = m1p2; m3 = m1p3; m4 = m1p4;}
186     else {m1 = m2p1; m2 = m2p2; m3 = m2p3; m4 = m2p4;}
187     for(int i =0; i < (n * Msteps); i++){
188         digitalWrite(m1, HIGH);
189         digitalWrite(m2, HIGH);
190         digitalWrite(m3, LOW);
191         digitalWrite(m4, LOW);
192         delay(3);
193         digitalWrite(m1, LOW);
194         digitalWrite(m2, HIGH);
195         digitalWrite(m3, HIGH);
196         digitalWrite(m4, LOW);
197         delay(3);
198         digitalWrite(m1, LOW);
199         digitalWrite(m2, LOW);
200         digitalWrite(m3, HIGH);
```

```
201     digitalWrite(m4, HIGH);
202     delay(3);
203     digitalWrite(m1, HIGH);
204     digitalWrite(m2, LOW);
205     digitalWrite(m3, LOW);
206     digitalWrite(m4, HIGH);
207     delay(3);}
208     digitalWrite(m1, LOW);
209     digitalWrite(m2, LOW);
210     digitalWrite(m3, LOW);
211     digitalWrite(m4, LOW);
212 }
213
214 //TRAS
215 void tras(int n, int m){ // distância, motor
216     if(m==1){
217         m1 = m1p1; m2 = m1p2; m3 = m1p3; m4 = m1p4;}
218     else {m1 = m2p1; m2 = m2p2; m3 = m2p3; m4 = m2p4;}
219     for(int i =0; i < (n * Msteps); i++){
220         digitalWrite(m1, HIGH);
221         digitalWrite(m2, HIGH);
222         digitalWrite(m3, LOW);
223         digitalWrite(m4, LOW);
224         delay(3);
225         digitalWrite(m1, HIGH);
226         digitalWrite(m2, LOW);
227         digitalWrite(m3, LOW);
228         digitalWrite(m4, HIGH);
229         delay(3);
230         digitalWrite(m1, LOW);
231         digitalWrite(m2, LOW);
232         digitalWrite(m3, HIGH);
233         digitalWrite(m4, HIGH);
234         delay(3);
235         digitalWrite(m1, LOW);
236         digitalWrite(m2, HIGH);
237         digitalWrite(m3, HIGH);
238         digitalWrite(m4, LOW);
239         delay(3);}
240     digitalWrite(m1, LOW);
241     digitalWrite(m2, LOW);
242     digitalWrite(m3, LOW);
```

```
243     digitalWrite(m4, LOW);
244 }
245
246 void resetarmotor(){
247     int aux = analogRead(fimdecursos);
248     if(aux < 100){frente(1,2);}
249     aux = analogRead(fimdecursos);
250     while(aux > 600){
251         tras(1,1);
252         aux = analogRead(fimdecursos);
253     }
254     while(aux < 600 and aux > 100){
255         tras(1,2);
256         aux = analogRead(fimdecursos);
257     }
258 }
```