

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB
INSTITUTO DE ARTES – DEPARTAMENTO DE DESIGN

GEÓRGIA DE SOUZA TENORIO

PONTO VIVO:
DESIGN DE PRODUTO EDUCACIONAL E INTERFACE DIGITAL PARA ALFABETIZAÇÃO EM BRAILLE DE PESSOAS CEGAS E COM BAIXA VISÃO

BRASÍLIA, 2025

GEÓRGIA DE SOUZA TENORIO

PONTO VIVO:
DESIGN DE PRODUTO EDUCACIONAL E INTERFACE DIGITAL PARA ALFABETIZAÇÃO EM BRAILLE DE PESSOAS CEGAS E COM BAIXA VISÃO

Trabalho de Conclusão de Curso como requisito para a obtenção de graduação no Departamento de Design na Universidade de Brasília.

Orientador: Miguel Gutierrez

BRASÍLIA, 2025

AGRADECIMENTOS

Sinto que se eu realmente colocasse nestes agradecimentos cada pessoa que fez parte da minha jornada como estudante de design e como a pessoa que sou hoje, esse seria o maior capítulo do meu trabalho. Meus agradecimentos às pessoas brilhantes e maravilhosas que eu tive o privilégio e a sorte de conhecer transbordam quaisquer palavras que eu poderia escrever aqui.

Agradeço primeiramente à minha família, que é a base mais sólida, aconchegante e segura que alguém poderia pedir.

Minha mãe, Gabriela Tenorio, é a mulher que eu mais admiro neste mundo. Obrigada por me ensinar o que realmente é importante nesta vida, por me mostrar que as coisas podem ser belas, que as pessoas devem ser livres e felizes, e por, ainda na minha infância, me ensinar sobre hierarquia de informação fazendo cartaz de trabalho de escola (deve ter sido aí que eu comecei a gostar de design sem saber bem o que era)!

Meu pai, Marlon Tenorio, que me ensinou que se algo é fácil de ser concretizado, deixe para as outras pessoas, que o gostoso é ir atrás do que é desafiador! Obrigada por sempre me dar todo o suporte possível para eu realizar todas as minhas ideias, por acreditar no meu trabalho e por sempre estar do meu lado, independente de que lugar do mundo você esteja.

Minha avó, Léa Araújo, que com o maior carinho me recebe em sua casa, seja para fazer meus trabalhos e invenções de moda (que bagunçam todo o quintal), seja para fazer um lanche contando as novidades da vida uma da outra, ou seja para fazer palavras-cruzadas juntas. Cada momento com você é de muito amor.

Meu avô, José Carlos Menezes, meu “Zézin”, sempre disse que achava que ele seria bom no que quer que fosse que ele se propusesse a fazer. Vovô, acho que você estava certo! Mas você foi excepcionalmente bom em ser meu avô, em ensinar mosaico para mim e para meus primos na infância, em mostrar quão minucioso e delicado eram seus trabalhos de ilustração científica e em contar trocadilhos na hora do almoço. Sempre que estou no seu estúdio, sinto que você está vendo meus desenhos e trabalhos, ao meu lado.

Meu irmão, Pablo Tenorio, que desde cedo me ensinou a ter paciência (e muita, viu?). Você sempre compartilhou comigo todas as brincadeiras de criação, até elas deixarem de ser brincadeiras e se tornarem minha área de trabalho. Desenho, pintura, colagem, cartões pop-up, marcenaria, impressão 3D, seja o que for, a gente sempre dividiu esse interesse em criar algo. Sua companhia alegra meus dias, obrigada por ser meu parceiro.

Minha família do Peru, que apesar de estarem longe, sempre estão torcendo pelas minhas conquistas. Minha avó Isabel, que já foi até musa inspiradora para um trabalho da matéria de Foto e Vídeo, meu avô Humberto, minha tia Nancy, minha tia Channy, meus primos Diego e Miguel. Obrigada pelo carinho de todos vocês.

Minha tia Geórgia Oliveira, que apesar de morar no Rio Grande do Norte, vira e mexe está aqui em Brasília, compartilhando as novidades e tomando uns bons drinques comigo. Agradeço muito a você e a toda minha família de Natal.

Queria agradecer também à minha família do coração. Paulinho, meu padrasto, e meus irmãos, Luisa e Tomás. Vocês não estiveram comigo durante toda a minha vida, mas eu sinto como se estivessem! Não lembro como era nosso apartamento antes de vocês se mudarem para lá, mas sei que ele é muito mais alegre quando estamos todos juntos na nossa casa. Com vocês minha família cresceu e ficou mais bonita, obrigada por serem vocês!

Queria agradecer a Daniela Galdino, minha madrasta. Obrigada por todo o carinho e toda a delicadeza que você sempre teve comigo e com meu irmão. Seu cuidado comigo sempre transparece em todos nossos encontros.

Julia Mara, minha parceira de vida, de tudo! Você é quem acompanhou mais de perto toda a minha trajetória, da escola até o final da graduação. Você sempre esteve do meu lado e eu sempre vou estar do seu. Você me ajudou em todos os trabalhos, me acalmou em todas as loucuras e comemorou comigo todas as minhas conquistas. Eu sou extremamente sortuda de ter te conhecido e você é uma das pessoas mais especiais que eu já conheci.

Minha cunhadinha querida, Beatriz Cristal! Agradeço por, além de ser hoje parte da minha família, ser uma das minhas melhores amigas e parceiras de trabalho. Obrigada por ser minha modelo de mãos neste projeto e por animar participar com muito entusiasmo de qualquer invenção de moda que essa família inventa, como, por exemplo, ser a melhor “moça do correio elegante” das festas juninas que a gente faz. Você é maravilhosa, eu te admiro muito Grupinho!

Queria agradecer aos meus amigos, sem os quais não sou ninguém!

Ana Flora Bavaresco, te tenho como uma das minhas maiores aliadas, te quero ao meu lado por toda uma vida! Você me inspira e me acolhe. Obrigada por essa amizade tão verdadeira e bonita que construímos juntas.

Maria Fernanda Ribas, sei que independente do que esteja acontecendo em nossas vidas, independente de quanto tempo fiquemos sem nos falar, que nosso reencontro sempre será da mesma forma: alegre, leve, divertido e cheio de amor. Te agradeço por tudo.

Mariana Gouveia, minha amiga, obrigada por tantas vezes me acolher, me escutar e pela sua paciência com todos os meus sumiços! Te admiro muito e agradeço por todas as nossas conversas em mesas de bar, onde trocamos sobre a vida, trabalho e tudo mais que a bebida nos permitir!

Queria agradecer aos meus amigos de vida, os quais admiro como artistas e como pessoas: Paulo Valeriano, Bruno Mamede, Luna Colazante e Marina Dutra. Sou muito grata por ter conhecido vocês e compartilhado tantos momentos bons.

Agradeço também ao meu amigo Pedro Moreira, não só por ser um grande amigo meu, mas por ter me presenteado com um dos principais livros em que esse trabalho foi baseado: Design Inclusivo. Obrigada pela delicadeza desse presente tão cirúrgico neste momento da minha vida.

Para além dos meus amigos que conheci ao longo da vida, tenho amigos que o Curso de Design me presenteou: Rafael Araújo, Daniel Marwell, Nina Casella, Luana Dantas, Julia Salgueiro, Diogo Giuntini e Rafael Amaral. Todos vocês me fizeram companhia durante essa jornada. Vou sentir saudades de estudar e trabalhar com vocês. Espero que possamos continuar nos encontrando e compartilhando nossas experiências de vida após a graduação.

Meus agradecimentos à Biblioteca Braille Dorina Nowill de Taguatinga, em especial a Noemi Rocha, uma das co-fundadoras, que com muita paciência me mostrou os materiais utilizados por ela na alfabetização braille. Agradeço a todos os que estavam presentes no dia da minha visita, que me fizeram sentir muito incluída, me ensinando a me autodescrever e me mostrando como as formas de comunicação podem ser diferentes, mas, com as adaptações necessárias, todos conseguem trocar ideias, se entender, se respeitar e aproveitar a companhia uns dos outros.

Uma parte imensa da minha graduação foi ter o privilégio de poder estagiar na Rede SARAH. Essa oportunidade me fez não só me apaixonar cada vez mais pela área de acessibilidade e inclusão, mas pela possibilidade de trabalhar nela por meio do design gráfico e de produto. Meus agradecimentos eternos a todas as pessoas que conheci nessa instituição, mas principalmente à equipe impecável de Comunicação Visual e Foto Imagem.

Bruno Schurmann e Henry Macario, meus mestres, com quem aprendi muito e que sempre valorizaram minha dedicação em fazer o melhor que eu podia. Eu admiro muitíssimo o trabalho de vocês e sempre serei grata pelo carinho com o qual me permitiram absorver o máximo possível do conhecimento de vocês.

Albert Ambelakiotis, que também me ensinou muito e que confiou em mim trabalhos que eu sei que não é em qualquer lugar que se confia alguém que é apenas uma estagiária. Você me ensinou muito sobre relações e sobre como elas funcionam dentro de uma instituição grande e importante como o SARAH, tudo isso com a maior leveza possível.

Marcio Moura, Marcinho, que me acolheu como se eu fosse da família, que me mostrou como se pode não só fazer um trabalho incrível dentro de tantos setores, mas também cativar cada pessoa em cada um dos lugares que você passa. Não houve uma coisa que eu precisei que você não me ajudou quase que imediatamente.

João Olegario, que me ensinou praticamente tudo o que eu sei sobre pictogramas e também sobre muitos outros assuntos diversos. Sinto que seus conhecimentos gerais são inesgotáveis! Obrigada também pela delicadeza que você teve comigo, em não só um, mas diversos momentos da nossa convivência.

Jose Marcos Da Silva, Marcão, que também sempre me ajudou com o que fosse que eu precisasse. Sua energia sempre alegrou minhas manhãs, principalmente as manhãs que tínhamos ginástica laboral!

Beatriz Parente, minha parceira! Tudo teria sido diferente se você não estivesse ao meu lado, do início ao fim do estágio. Você foi meu maior suporte e minha maior confidente, Com você aprendi como se pode trabalhar junto, com parceria e cumplicidade, sempre querendo o sucesso uma da outra. Obrigada por tudo, minha amiga!

Hailê Olavo, meu parceiro que também entrou ao mesmo tempo que eu no estágio, que quebrou a cabeça junto comigo tentando entender quais eram os problemas da impressora 3D, ou da modelagem, ou de quaisquer encaixes dos projetos de sinalização. Foi ótimo poder trabalhar junto com você, e com certeza foi mais fácil encontrar soluções para os projetos ao seu lado.

Gabriel Endo, Alícia Pilar, Natália Peronico, Iago Alves, Felipe Machado, Lucas Leite e Julia Salgueiro, foi muito engrandecedor poder acompanhar o trabalho de vocês, seja na área que fosse. Admiro muito cada um de vocês e fico feliz por termos compartilhado tantos bons momentos.

Queria agradecer imensamente ao meu orientador, Miguel Gutierrez, sem o qual meu trabalho seria outro. Obrigada pela paciência infinita, pela dedicação, pelo apoio, e por me possibilitar criar algo com conhecimentos além dos que eu tinha, me ensinando sobre eletrônica e programação. Você abriu meus olhos para novas possibilidades de criação e me mostrou que nada é tão complicado assim que não dá pra aprender e explorar. Foi uma longa e intensa jornada, mas você sempre me tranquilizou e disse que era possível realizar o que eu tinha em mente se eu me dedicasse a isso.

Gostaria de agradecer à professora Ana Claudia Maynardes, que acompanhou meus primeiros estudos em Braille, me dando a oportunidade de pesquisar sobre o tema dentro de Projetos de Iniciação Científica, produzindo materiais didáticos acessíveis. Sou muito grata pela disponibilidade e atenção que você teve em todos os trabalhos em que me orientou.

Sou extremamente grata a todos os professores do Curso de Design, os quais ministraram com excelência todas as matérias que fiz. Todos vocês foram essenciais para a minha formação como designer.

Agradeço ao Curso de Design e aos funcionários que fazem esse curso funcionar. Ele me proporcionou todos os conhecimentos e ferramentas necessárias para chegar no projeto que apresento hoje. Consigo dizer tranquilamente em quais matérias aprendi quais habilidades e como elas se integram na proposta desse trabalho de conclusão de curso.

Finalmente, agradeço à Universidade de Brasília como um todo, que, apesar de quaisquer dificuldades que ela possa enfrentar, é composta por muitas pessoas que acreditam na educação pública de qualidade e refletem isso em seus trabalhos.

SUMÁRIO

SUMÁRIO **7**
LISTA DE FIGURAS **8**
RESUMO **12**
PALAVRAS-CHAVE **12**
1. INTRODUÇÃO **13**
1.1. Problema de Pesquisa 13
1.2. Objetivo Geral 14
1.3. Objetivos Específicos 14
1.4. Justificativa e Motivação Pessoal 14
1.5 Estrutura do Trabalho 16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA **18**
2.1. A Compreensão da Deficiência: Modelos e Terminologias 18
2.2. Design Inclusivo e Design Universal 21
2.3. Deficiência Visual no Brasil: Estatísticas e Legislação 22
2.4. Sistema Braille e sua Relevância na Alfabetização 24
2.5 Abordagens Pedagógicas 26
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS **29**
3.1 Revisão Bibliográfica e Pesquisa de Campo 29
3.2 Análise de Produtos e Práticas Similares 29
3.3 Levantamento de Requisitos de Design 30
3.4 Pesquisa de Materiais e Tecnologias 30
3.5 Prototipagem do Dispositivo 30
3.6 Desenvolvimento da Identidade Visual 30
3.7 Desenvolvimento da Interface Digital 30
3.8 Proposição do Método de Ensino 31
3.9. Validação Futura 31
4. Estudo de Campo e Análises **32**
4.1. Análise de Produtos e Práticas Similares 32
4.1.1 Reglete e Punção (reglete negativa e reglete positiva) 33
4.1.2 Máquina de Escrever Braille Perkins 35
4.1.3 Braille Sense 36
4.1.4 Lego Braille Bricks 37
4.2 Visitas e Pesquisa de Campo 38
4.2.1 Biblioteca Braille Dorina Nowill – Taguatinga 38
4.2.2 Quarta Edição da Feira de Acessibilidade do DF – Alameda Shopping (Taguatinga) 41
4.3 Requisitos de Design do Artefato e do Método de Ensino 43

5. Desenvolvimento do Projeto..... 45
5.1. Protótipo do Dispositivo..... 45
5.1.1 Célula Braille Interativa..... 45
5.1.1.1 Sistema Mecânico - Versão 1..... 47
5.1.1.2 Sistema Mecânico - Versão 2..... 49
5.1.2 Multiplicação do Módulo e Construção da Célula Braille..... 51
5.1.2.1 Transição do Teensy para o Arduino Mega..... 52
5.1.2.2 Célula Braille - Versão 1..... 53
5.1.2.3 Versão 2 – Estrutura Fechada e Organização Interna dos Componentes.... 55
5.1.2.4 Versão 3 – Aplicação da Identidade Visual e Consolidação da Célula Braille... 56
5.1.2 Teclado da Célula Braille..... 58
5.1.2.1 Primeiros Modelos e Estudos Ergonômicos..... 58
5.1.2.2 Consolidação da Estrutura e Aplicação da Identidade Visual..... 59
5.1.2.3 Desenvolvimento da Placa de Circuito do Teclado..... 61
5.1.2.4 Montagem Final do Teclado..... 65
5.2 Identidade Visual..... 67
5.2.1 Nome..... 67
5.2.2. Paleta de Cores..... 68
5.3 Interface Digital - Aplicativo Ponto Vivo..... 74
5.4 Método de Ensino..... 81
6. Resultados..... 85
6.1 Dispositivo Ponto Vivo..... 85
6.2 Aplicativo e Método de Ensino..... 88
6.3 Processos de Fabricação e Softwares Utilizados..... 88
6.4 Materiais utilizados..... 88
6.5 Discussão sobre custo e acessibilidade..... 90
7. Considerações Finais..... 91
8. Referências Bibliográficas..... 93
ANEXOS..... 97
ANEXO A - Código-fonte utilizado no Arduino IDE..... 97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo Médico da Deficiência 21
Figura 2 - Modelo Social da Deficiência 21
Figura 3 - Alfabeto Braille 25
Figura 4 - Dimensões Braille ABNT 26
Figura 5 - Reglete negativa 34
Figura 6 - Reglete positiva 34
Figura 7 - Máquina Perkins 35
Figura 8 - LEGO Braille Bricks 37
Figura 9 - Fachada Biblioteca Braille Dorina Nowill 39
Figura 10 - Material Pedagógico 1 40
Figura 11 - Material Pedagógico 2 40
Figura 12 - Material Pedagógico Brailito 42
Figura 13 - Braille Sense 6 42
Figura 14 - Servo Motor 46
Figura 15 - Teste de Dimensões da Célula 46
Figura 16 - Impressão de Pás para o Servo Motor 47
Figura 17 - Ponto Baixo e Ponto alto - Versão 1 48
Figura 18 - Teste do Servo Motor Conectado ao Teensy 48
Figura 19 - Angulação do Ponto - Versão 1 49
Figura 20 - Ponto Baixo e Ponto Alto - Versão 2 50
Figura 21 - Teste do Módulo - Versão 2 50
Figura 22 - Organização espacial dos módulos - Versão 1 51
Figura 23 - Teensy 52
Figura 24 - Arduino Mega 53
Figura 25 - Base da Célula Braille - Versão 1 54
Figura 26 - Célula Braille - Versão 1 54
Figura 27 - Célula Braille - Versão 2 56

Figura 28 - Célula Braille - Versão 3 57
Figura 29 - Logotipo em Relevo - Versão 3 58
Figuras 30 - Teclado - Versão 1 59
Figura 31 - Base do Teclado 60
Figura 32 - Tampa do Teclado 60
Figura 33 - Botões do teclado 61
Figura 34 - Esquemático no EasyEDA 62
Figura 35 - Layout da Placa de Circuito no EasyEDA 62
Figura 36 - Modelo no Aspire 63
Figura 37 - Placa Virgem para Usinagem 63
Figura 38 - Usinagem da Placa de Circuito Impresso 64
Figura 39 - Inserção dos Botões na PCB 64
Figura 40 - Conector dos Pinos no Teclado 65
Figura 41 - Tampas de Teclado Conectadas no Teclado 65
Figura 42 - Conexões da Célula Braille e Teclado 66
Figura 43 - Teclado Montado 67
Figura 44 - Logotipo Horizontal 68
Figura 45 - Logotipo Símbolo 69
Figura 46 - Concepção do Símbolo da Malha 70
Figura 47 - Palavras da Malha Gráfica 70
Figura 48 - Malha Gráfica 71
Figura 49 - Ilustração 1 71
Figura 50 - Ilustração 2 72
Figura 51 - Logotipo em Relevo 72
Figuras 52 - Simulação da Embalagem 73
Figura 53 - Simulação de Banner na Cidade 73
Figura 54 - Simulação de Propaganda de Televisão 74
Figura 55 - Arquitetura da Informação 75
Figura 56 - Telas iniciais 76

Figura 57 - Tela de Menu ……...…… 77
Figura 58 - Tela Aprender ……..……..……...…… 78
Figura 59 - Telas: Alfabeto, Números e Pontuação ……..……...…… 79
Figura 60 - Tela Treinar ..……...…… 80
Figura 61 - Protótipo Ponto Vivo Vista Diagonal …..……...…… 86
Figura 62 - Protótipo Ponto Vivo Vista Superior ……..……...…… 86
Figura 63 - Protótipo Ponto Vivo sendo Manuseado ……..……...…… 87
Figura 64 - Saídas de Cabos do Protótipo ……...…… 87

RESUMO

Este trabalho apresenta a ideação, o desenvolvimento e a materialização do Ponto Vivo (nome estrategicamente escolhido e descrito no capítulo 5.2.1), um dispositivo destinado a introduzir o sistema braille para pessoas cegas ou com baixa visão. Dessa forma, o projeto surge diante da necessidade desse grupo com relação a materiais pedagógicos acessíveis que apoiem o processo inicial de reconhecimento dos pontos braille, especialmente para aprendizes jovens e adultos que iniciam a alfabetização em fases posteriores da vida. Para isso, adotou-se uma abordagem projetual fundamentada no Design Inclusivo, na aprendizagem multissensorial e em princípios de abordagens pedagógicas como o construtivismo, o sociointeracionismo e a educação crítica brasileira. A pesquisa envolveu revisão bibliográfica, análise de produtos e práticas similares, visitas de campo, além do levantamento de requisitos de design orientados pelas necessidades observadas. O protótipo do dispositivo foi desenvolvido por meio de modelagem digital e impressão 3D, integrando componentes eletromecânicos controlados por um sistema eletrônico, como Arduino. Paralelamente, foi criada a identidade visual do projeto e uma interface de controle do dispositivo prototipada no Figma, concebida para ser futuramente integrada. Para integrar o dispositivo ao uso como ferramenta no aprendizado do sistema braille, foi também sugerido um método de ensino composto por atividades introdutórias, colaborativas e estruturadas em eixos sensoriais, motores e sociais. O Ponto Vivo se apresenta, assim, como uma ferramenta pedagógica acessível e flexível, voltada ao apoio de educadores e instituições no processo de introdução ao braille, contribuindo para a ampliação dos recursos disponíveis na área de tecnologia assistiva.

PALAVRAS-CHAVE

braille, educação inclusiva, tecnologia assistiva, deficiência visual, design inclusivo.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, existem pelo menos 17,3 milhões de pessoas com algum tipo de deficiência, e os dados sobre escolarização desse grupo evidenciam um cenário que merece atenção: quase 70% não concluíram o ensino fundamental, e apenas 5% chegaram ao ensino superior (IBGE, 2021). Esses números não indicam falta de capacidade por parte deste grupo, mas a presença de barreiras pedagógicas, estruturais e sociais que dificultam o acesso ao conhecimento e à continuidade da formação escolar.

Entre as pessoas com deficiência, aquelas com deficiência visual enfrentam desafios específicos no processo de alfabetização, especialmente quando se trata do acesso a materiais táteis acessíveis e adequados e oportunidades de aprendizagem que considerem sua forma particular de perceber o mundo. O sistema braille, nesse contexto, não é apenas um método de leitura e escrita: é um instrumento de autonomia, comunicação e participação social.

Diante desse cenário, este trabalho busca contribuir para a redução dessas barreiras ao propor um artefato educacional acessível, associado a uma interface digital e um método de ensino voltado à alfabetização em braille. A pesquisa se desenvolve no campo do design, utilizando seus princípios para criar soluções que sejam inclusivas, lúdicas e sensíveis às experiências de pessoas cegas e com baixa visão. Ao articular design de produto, tecnologia assistiva e abordagens pedagógicas, pretende-se favorecer experiências significativas de aprendizagem e ampliar as possibilidades de acesso ao braille em diferentes contextos educativos.

1.1. Problema de Pesquisa

A alfabetização em braille ainda enfrenta barreiras relacionadas ao acesso a recursos didáticos adequados e à escassez de materiais interativos e acessíveis. Essa limitação impacta diretamente o processo de aprendizagem de pessoas cegas e com baixa visão. Diante disso, surge a necessidade de investigar de que forma o design pode atuar como agente de inclusão no contexto educacional, propondo soluções que unam forma, função e experiência sensorial.

Assim, este trabalho busca responder à seguinte questão:

Como o design pode contribuir para o desenvolvimento de materiais acessíveis e inclusivos que apoiem métodos lúdicos de ensino e favoreçam a alfabetização em

braille de pessoas cegas ou com baixa visão?

1.2. Objetivo Geral

Desenvolver, utilizando conceitos do design inclusivo, um protótipo de artefato educacional que apoie um método de ensino, como recurso alfabetização em braille de pessoas com deficiência visual, o qual contará com sua materialidade, identidade visual e interface digital.

1.3. Objetivos Específicos

1. Investigar o processo de alfabetização em braille, identificando desafios, práticas existentes e necessidades de pessoas cegas e com baixa visão.
2. Analisar referências e produtos similares que articulem acessibilidade, educação e design inclusivo voltados à alfabetização, leitura e escrita em braille, com o objetivo de orientar o desenvolvimento do artefato educacional e do método de ensino.
3. Estabelecer os requisitos de design do dispositivo e do método de ensino associado.
4. Explorar materiais e tecnologias adequadas para a construção de um artefato acessível.
5. Materializar o objeto por meio de prototipagem e técnicas apropriadas ao design inclusivo.
6. Desenvolver a identidade visual do projeto de modo que ela seja reconhecida na área de tecnologia assistiva e materiais didáticos para pessoas com deficiência visual e educadores, ao mesmo tempo em que se mostre atrativa e comunicável também para pessoas que enxergam e para instituições interessadas.
7. Desenvolver uma interface digital, considerando acessibilidade, clareza informacional e integração futura com o dispositivo físico.
8. Propor um método de ensino que integre o uso do dispositivo e do aplicativo, orientando atividades e sequências de aprendizagem.

1.4. Justificativa e Motivação Pessoal

Crescendo, nunca tive muito contato com pessoas com deficiência, fosse física ou sensorial. Por conta da minha mãe, que é urbanista e estuda espaços públicos, sempre ouvi dizer que esses espaços deveriam ser para as pessoas, pessoas diferentes,

pessoas sempre. Na base da minha educação familiar, aprendi que as pessoas não são iguais, mas que todas elas deveriam gozar igualmente dos espaços da cidade. Isso foi algo que vivi em grande parte na teoria, em conversas na mesa do almoço, mas não muito na prática, já que, dentro do meu privilégio social e econômico, sempre convivi com pessoas muito parecidas comigo: pessoas com famílias estruturadas, sem limitações físicas e/ou sensoriais e com recursos para não só sobreviver, como para viver, e viver muito bem.

Lembro que na escola aprendi que o Brasil possui não uma, mas duas línguas oficiais: A Língua Portuguesa e LIBRAS (Língua Brasileira de Sinais). Recordo de me perguntar o porquê de só aprendermos uma língua, se nosso país possuía duas. Dessa forma, comecei a me interessar por LIBRAS. Tendo crescido em um contexto em que o celular já existia e em que seu uso ainda não era proibido por lei dentro das salas, lembro de baixar um aplicativo de tradução do Português para LIBRAS, onde um boneco animado fazia os sinais das palavras escritas. Comecei a me divertir aprendendo sinais e ensinando para meus amigos de sala, como uma linguagem secreta que ninguém sabia.

Trouxe isso para casa, para meu irmão que sempre foi muito próximo de mim e que sempre engajou nas minhas invenções de moda. Dessa forma, comecei a me empolgar mais ainda, pois agora tinha alguém com quem me comunicar nessa nova língua, já que eu não conhecia ninguém que a utilizava. Lembro de estar em um trem brincando de me comunicar com ele por sinais básicos e ver uma mãe falar para a filha "olha, filha, eles são surdos". Meu irmão e eu nos divertimos com essa interação, rindo em cumplicidade e fingindo que não havíamos escutado o que ela tinha dito. Ao mesmo tempo, sinto que foi aí que uma inquietação começou a se formar em minha cabeça, junto com várias perguntas sem resposta. Imagina não ter escutado esse comentário sobre nós? E se realmente fôssemos surdos? Não saberíamos o que as pessoas falam à nossa volta? Como seria isso? Por que não aprendemos LIBRAS nas escolas? Por que não conheço nenhuma criança surda?

Inconscientemente, essas perguntas se tornaram uma indignação, mas que só muito tempo depois eu fui entender. Daí pra frente, aos poucos, a novidade foi passando e meus amigos e meu irmão foram se desinteressando por aprender LIBRAS e eu também, por não ter com quem me comunicar. Imaginei que ser surdo, em meio à maioria das pessoas, devia ser como se sentir estrangeiro em seu próprio país.

Dessa forma, surgiu em mim o interesse em aprender sobre os desafios vividos pelas pessoas com deficiência e em descobrir como, por meio do design, seria possível contribuir para a diminuição das barreiras sociais que prejudicam a autonomia desse

grupo. O presente projeto tem essa intenção, trazendo mais uma solução para um aspecto muito importante da autonomia de uma pessoa: a comunicação.

1.5 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está organizado em quatro grandes partes , além dos elementos pré e pós-textuais. Cada capítulo foi estruturado para apresentar de forma progressiva o percurso teórico, metodológico e projetual que culmina no desenvolvimento do protótipo do dispositivo Ponto Vivo, seu método de ensino e sua interface digital.

Fundamentação Teórica: reúne os principais referenciais conceituais que sustentam o projeto. São discutidos os modelos de compreensão da deficiência, os princípios do Design Inclusivo e do Design Universal, o panorama da deficiência visual no Brasil, o sistema braille e suas normas técnicas, além de uma revisão/análise sobre as metodologias de ensino que orientam posteriormente a formulação do método proposto.

Procedimentos Metodológicos: descreve o percurso metodológico adotado para o desenvolvimento do projeto. Detalha-se o processo de revisão bibliográfica, a pesquisa de campo, a análise de produtos e práticas similares, o levantamento de requisitos de design, a exploração de materiais e tecnologias, a prototipagem 3D do dispositivo, o desenvolvimento da identidade visual, o desenvolvimento da interface digital e a proposição do método de ensino.

Estudo de Campo e Análises: apresenta análises das etapas investigativas realizadas ao longo do projeto. Inclui a análise de produtos e práticas similares, os registros das visitas à Biblioteca Braille Dorina Nowill de Taguatinga e à 4ª Feira de Acessibilidade do Distrito Federal, além da síntese dos requisitos de design que orientaram a elaboração do artefato educacional.

Desenvolvimento do Projeto: acompanha a evolução do Ponto Vivo ao longo do processo de criação. O capítulo apresenta os estudos iniciais, as soluções testadas e as decisões ajustadas durante a concepção do artefato físico. Descreve ainda como a identidade visual e a interface digital foram sendo definidas à medida que o projeto avançava, e como, a partir dessas etapas, foi estruturado um método de ensino que integra o dispositivo físico e o aplicativo.

Por fim, o trabalho encerra-se com os **Resultados e Considerações Finais**, que sintetizam as contribuições do projeto, apontam limites, refletem sobre seu impacto no contexto da tecnologia assistiva e indicam possíveis desdobramentos futuros para aprimoramento da solução.

Além disso, todas as imagens apresentadas ao longo do trabalho seguem um padrão de descrição detalhada, elaborado com o objetivo de torná-las acessíveis a pessoas cegas ou com baixa visão. As legendas não se limitam a breves identificações visuais, mas trazem informações suficientes para que o conteúdo da cena possa ser compreendido por meio de leitores de tela ou outras tecnologias assistivas. Essa escolha integra o compromisso do projeto com a acessibilidade, garantindo que o material escrito reflita, também em sua forma, os princípios que orientam sua proposta.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os referenciais teóricos que sustentam o projeto, articulando modelos de compreensão da deficiência, princípios do design inclusivo e do design universal, e o papel do sistema braille na alfabetização. Também discute abordagens pedagógicas relevantes que orientarão, mais adiante, as decisões metodológicas e projetuais. Trata-se, portanto, de um capítulo dedicado a aprofundar os fundamentos conceituais necessários para o desenvolvimento do trabalho.

2.1. A Compreensão da Deficiência: Modelos e Terminologias

Uma coisa importante de ressaltar neste trabalho, são os termos que vão ser utilizados para se referir a indivíduos e suas características, conceitos e métodos. Assim como cada pessoa tem um apelido com o qual se identifica mais ou menos (cada um com seus respectivos motivos), grupos e comunidades também têm termos de preferência, que não são arbitrários. As palavras que utilizamos não são neutras, mas carregadas de significados sociais e políticos que refletem as relações de poder e os interesses de diferentes grupos sociais, sendo fluidas e se adaptando às formas de pensar contemporâneas.

De forma pessoal, com isso em mente, busquei na estante de casa um dicionário, a segunda edição do Dicionário Aurélio, de 1986. Nele, a palavra diversidade acompanha a seguinte descrição: “1. Diferença, dessemelhança, dissimilitude. • 2. divergência, contradição, oposição.” (FERREIRA, 1986).

Já em uma pesquisa rápida na internet, encontrei uma definição um pouco mais atual, da Oxford Languages: “1. Qualidade daquilo que é diverso, diferente, variado; variedade • 2. Conjunto variado; multiplicidade. • 3. Desacordo, contradição, oposição. • 4. (Ecologia) Índice que leva em conta a abundância e a equitabilidade de uma comunidade. • 5. (Ecologia) m.q. BIODIVERSIDADE.” (OXFORD LANGUAGES, 2025).

Essa diferença entre as definições do dicionário Aurélio de 1986 e da versão da Oxford Languages de 2025 não é apenas uma curiosidade linguística. Ela mostra como as palavras acompanham as mudanças nas formas de pensar e de viver em sociedade. Enquanto a primeira associa diversidade a conflito, contradição e oposição, a segunda definição já a relaciona com riqueza, multiplicidade e equilíbrio. Essa transição é um reflexo direto de como passamos a enxergar as diferenças: não mais como obstáculos à ordem ou à homogeneidade, mas como componentes legítimos, e até desejáveis, da vida em sociedade.

Romeu Sassaki, que dedicou mais de 60 anos a pesquisas sobre inclusão e acessibilidade, fez uma análise histórica dos termos utilizados para se referir às pessoas com deficiência, levando em conta o valor da pessoa implícito em cada expressão. Sua pesquisa revela profundas transformações na forma com a qual a sociedade compreende a deficiência. Expressões como “inválido”, “incapacitado” ou “defeituoso” eram amplamente utilizadas em períodos em que predominava o Modelo Médico da Deficiência (SASSAKI, 2005).

O Modelo Médico da Deficiência entende a diferença corporal como um problema individual (figura 1), algo a ser diagnosticado, tratado ou até mesmo corrigido (FRANÇA, 2023). Dentro dessa perspectiva, a deficiência é vista como uma falha do corpo, e a responsabilidade pela adaptação recai inteiramente sobre a pessoa com deficiência. Essa lógica ignora os contextos sociais e as barreiras impostas pelo mundo, retirando da sociedade a responsabilidade pela inclusão.

As expressões citadas acima, advindas desse modelo desatualizado de enxergar as diferenças funcionais, carregam a desumanização do sujeito e reforçam estigmas que associam a deficiência à incapacidade ou inferioridade. Esses termos foram majoritariamente utilizados até a década de 1950.

Por essa mesma linha de tempo, com o fim da Segunda Guerra Mundial, houve um grande aumento no número de soldados e civis com deficiências físicas e psicológicas. Com isso, registrou-se um crescimento na visibilidade da população com deficiência e na necessidade de novas políticas públicas, reabilitação e inclusão. Isso começou a transformar a percepção social da deficiência, deixando de vê-la apenas como algo "anormal" ou "incapacitante", e começando a considerá-la em termos de direitos e participação cidadã (PEREIRA; SARAIVA, 2017, p. 175). Para além disso, existiram outros acontecimentos históricos que contribuíram para a valorização desse tema. Movimentos pelos direitos civis e sociais; a Declaração Universal dos Direitos Humanos das Pessoas com Deficiência, promovida pela ONU (ONU, 1975); e mudanças na percepção social e científica, com o surgimento do Modelo Social da Deficiência, no lugar do modelo médico, foram alguns dos diversos motivos que contribuíram para a preocupação do lugar das pessoas com deficiência dentro da sociedade.

Na tentativa de suavizar o peso das expressões utilizadas até então, surgiram termos como “portador de deficiência” e “portador de necessidades especiais”, que ainda hoje aparecem em alguns contextos. No entanto, essas também foram criticadas por diversas razões: o termo “portador” sugere que a deficiência é algo externo ou temporário, como se fosse uma mochila que se pode deixar de lado. Uma pessoa com cabelos loiros naturais, por exemplo, não é “portadora de cabelos loiros”, ela

simplesmente é uma pessoa loira. Já a ideia de “necessidades especiais” é vaga, infantilizante e muitas vezes usada para evitar nomear diretamente a deficiência. Danila Gomes, em seu livro Introdução ao Design Inclusivo, dá um bom exemplo (GOMES, 2018, p. 35):

> Em entrevista, num programa de TV aberta, a primeira professora brasileira com Síndrome de Down, Débora Seabra, foi questionada do porquê ela não gostava de ser chamada de especial. Débora sutilmente mostrou para todos como ela se sente e o que significa ser ‘especial’, ela responde com toda a convicção: especial mesmo é a minha mãe.

De acordo com Diniz et al. (2009), o Modelo Social surgiu nos anos 1960, no Reino Unido, e provocou uma reviravolta nos modelos tradicionais de compreensão da deficiência ao retirar do indivíduo a origem da desigualdade experimentada pelas pessoas com deficiência, e devolvê-la à sociedade (DINIZ; MEDEIROS; SQUINTO, 2009). Trata-se de uma corrente teórica e política que se contrapõe ao Modelo Médico dominante. O Modelo Social entende que as limitações das pessoas com deficiência têm origem nas barreiras criadas pela sociedade, e não na deficiência em si (figura 2).

Com essa nova perspectiva das limitações envolvendo o público em questão, a partir dos anos 1990, começa a se adotar o termo “pessoa com deficiência”, onde a pessoa vem primeiro, e a deficiência em segundo, como parte do indivíduo (SASSAKI, 2005). Consolidando-se no início do século XXI, e se mantendo firme até os dias atuais, essa expressão é a mais adequada até então, por ser a mais adotada pelo próprio grupo que a nomeia. Mais do que uma questão de linguagem, utilizar o termo mais contemporâneo significa afirmar o direito desse grupo de existir com dignidade e protagonismo.

Reitero aqui, finalmente, minha escolha em utilizar a expressão “pessoas com deficiência”, ao me referir às pessoas com diferenças funcionais, sejam elas de natureza física, sensorial ou neurológica.

Figura 1 - Modelo Médico da Deficiência



Descrição da imagem: Ilustração mostra uma mulher em cadeira de rodas parada diante de uma escada alta. A cadeira e a mulher estão coloridas em tons de vermelho, indicando que a limitação é vista como um problema da própria pessoa. Fonte: A autora, 2025

Figura 2 - Modelo Social da Deficiência



Descrição da imagem: Ilustração mostra uma mulher em cadeira de rodas parada diante de uma escada alta. A escada está colorida em vermelho, indicando que a limitação é imposta pelo ambiente, e não pela condição da pessoa. Fonte: A autora, 2025

2.2. Design Inclusivo e Design Universal

O Design Inclusivo, metodologia estudada e aplicada neste trabalho, parte da compreensão de que as pessoas são diversas em suas formas de perceber, interagir e experienciar o mundo. Diferente de modelos que buscam atender apenas a um "usuário médio", o Design Inclusivo assume a diversidade do ser humano como ponto de partida, tendo as diferentes capacidades, limitações e contextos de uso em mente na hora de projetar (GOMES, 2018).

Existem algumas abordagens similares ao Design Inclusivo, como o Design Universal e o *Design for All* (Design para Todos). Apesar de todas elas terem a inclusão como finalidade, possuem algumas diferenças importantes, que são destrinchadas por Danila

Gomes em seu livro Design Inclusivo (GOMES, 2018).

O segundo termo, o Design Universal, cunhado por Ronald L. Mace na década de 1980 e sistematizado pelo *Center for Universal Design* em 1997, é considerado uma das primeiras abordagens formais a propor uma filosofia de projeto voltada à inclusão ampla de indivíduos desde a concepção de um projeto (STEINFELD; MAISEL, 2012).

Diferente de soluções adaptativas, o Design Universal se entende como “o design de produtos e ambientes para serem utilizáveis por todas as pessoas, na maior extensão possível, sem necessidade de adaptação ou design especializado.” (CENTER FOR UNIVERSAL DESIGN, 1997, tradução da autora). Dessa forma, o Design Universal tenta buscar uma única solução que abrace a todas as pessoas, que as atenda e satisfaça suas diferentes necessidades igualmente.

Ronald L. era arquiteto e, consequentemente, esse termo foi definido tendo em vista o ofício de planejamento arquitetônico e urbano, apesar de se estender também para outras áreas. Dentro dos muitos exemplos de aplicação do Design Universal, muitas vezes estão rampas, entradas acessíveis, elevadores, mobiliário etc. Enfim, coisas relacionadas ao direito de ir e vir, se locomover com independência e outras atividades comuns a todos os indivíduos, muitas vezes em espaços públicos.

A ideia de todas as pessoas, independente de suas diferenças cognitivas e/ou fisiológicas, compartilharem os mesmos espaços, objetos e atividades é ideal, mas não configura tarefa fácil. Tendo em vista outra escala, talvez dentro da área de design de produto, onde se projetam artefatos para o dia a dia, como escovas de dente, livros, ou chuveiros, em que a interação do objeto com o usuário é ainda mais específica, essa tarefa fica ainda mais difícil.

Muitas vezes é preciso projetar para um grupo específico, com características e habilidades específicas, como por exemplo, projetar um dispositivo de alfabetização em braille, para pessoas com deficiência visual. O presente projeto não busca atender a todos, como no Design Universal, mas busca promover a inclusão social de um grupo, levando em consideração os métodos já utilizados por ele, o que faz com que a abordagem do Design Inclusivo (GOMES, 2018) seja mais adequada para esse trabalho.

2.3. Deficiência Visual no Brasil: Estatísticas e Legislação

De acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua de 2022

(PNAD), existem 18,6 milhões de pessoas (8,9%) com deficiência no Brasil (IBGE, 2023). Em relação a pessoas com deficiência visual, o registro mais atual do IBGE, da Pesquisa Nacional de Saúde (PNS) de 2019, apontou que 3,4% (ou 6,978 milhões de pessoas) tinham deficiência visual, sendo cerca de 500 mil cegas e 6 milhões com baixa visão (IBGE, 2021).

Uma pessoa é considerada com deficiência visual quando apresenta cegueira ou baixa visão. A cegueira ocorre quando a acuidade visual é igual ou menor que 0,05 no melhor olho, mesmo com o uso da melhor correção óptica. Já a baixa visão corresponde à acuidade visual entre 0,3 e 0,05, também no melhor olho e com a melhor correção (BRASIL, 1999).

É importante ressaltar que a deficiência visual é um espectro, e que nem todas as pessoas dentro dele possuem o mesmo nível de acuidade visual, apesar de compartilharem muitos dos mesmos desafios frente às barreiras físicas e sociais no Brasil.

No Brasil, a principal lei que protege os direitos das pessoas com deficiência é a Lei nº 13.146/2015, conhecida como Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (BRASIL, 2015), que é destinada a “assegurar e a promover, em condições de igualdade, o exercício dos direitos e das liberdades fundamentais por pessoa com deficiência, visando à sua inclusão social e cidadania.”. De acordo com essa lei, “Considera-se pessoa com deficiência aquela 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.”.

No que diz respeito à educação, ela é constituída como direito da pessoa com deficiência, sendo dever do Estado, da família e da comunidade escolar, assegurar educação de qualidade às pessoas com deficiência, colocando-as a salvo de toda forma de violência, negligência e discriminação. Apesar disso, as escolas e os professores brasileiros enfrentam muitas dificuldades em atender às necessidades específicas desses alunos, e eles, consequentemente, enfrentam uma série de desafios em sua formação escolar, o que, além de prejudicar sua juventude, reflete em sua falta de inclusão e autonomia dentro da sociedade posteriormente, como pessoas adultas.

De acordo com os dados da nova Pesquisa Nacional de Saúde (PNS), realizada em 2019 pelo IBGE, existem pelo menos 17,3 milhões de pessoas com alguma deficiência no país. Dessas, quase 70% não concluíram o ensino fundamental, e apenas 5%

terminaram a faculdade, o que deixa claro como as dificuldades enfrentadas na educação por essa grande parcela da população as afeta.

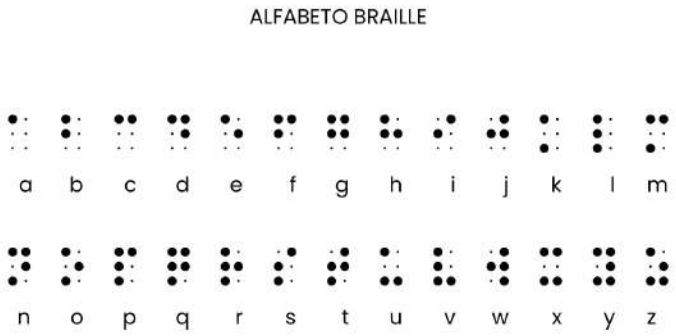
Com ou sem alunos com deficiência, ensinar normalmente é uma tarefa desafiadora. Os materiais didáticos, sendo eles um conjunto de ferramentas para aprender, ensinar, ou aprimorar os conhecimentos dos alunos, servem para facilitar essa tarefa. Esses materiais podem possuir as mais diversas formas: livros, fichas educacionais, instrumentos musicais, quebra-cabeças, jogos da memória, cadernos, dominós, jogos de tabuleiro, jogos de lógica, jogos de criação e passatempos criativos. Seu objetivo, independente de forma, é ser um grande aliado do ensino, principalmente para pessoas com deficiência, que muitas vezes não se adaptam às formas convencionais de ensino-aprendizagem, uma vez que essas não foram criadas com esse grupo em mente.

2.4. Sistema Braille e sua Relevância na Alfabetização

O sistema braille é um método de leitura e escrita tátil voltado para pessoas com deficiência visual criado pelo francês Louis Braille em 1825. O sistema é baseado em uma célula composta por seis pontos em relevo, dispostos em duas colunas de três pontos cada. A combinação desses pontos, em diferentes configurações, representa letras, números, sinais de pontuação e símbolos diversos.

Cada ponto da célula braille é numerado de 1 a 6, sendo as combinações desses pontos o que define cada caractere (figura 3). Por exemplo, a letra "a" é representada apenas pelo ponto 1 em relevo, enquanto a letra "b" é formada pelos pontos 1 e 2. Com esse princípio, o braille constitui um sistema de comunicação eficiente e flexível, permitindo não apenas a alfabetização, mas também a leitura fluente e o registro de conteúdos diversos, em livros, sinalização e recursos digitais adaptados.

Figura 3 - Alfabeto Braille



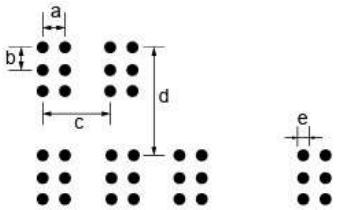
Descrição da imagem: Imagem dos caracteres de A até Z do alfabeto braille com sua tradução em português abaixo de cada cela braille. Fonte: A autora, 2025

O sistema braille possui parâmetros dimensionais estabelecidos por norma técnica para garantir legibilidade tátil e consistência na produção de materiais acessíveis. No Brasil, essas dimensões são definidas pela norma ABNT NBR 9050:2015, que orienta a fabricação de sinais, materiais impressos e superfícies táteis (ABNT, 2015).

De acordo com a norma, cada ponto braille é composto por um relevo esférico ou abaulado, cuja geometria é cuidadosamente especificada para garantir percepção tátil adequada (figura 4). As principais dimensões são:

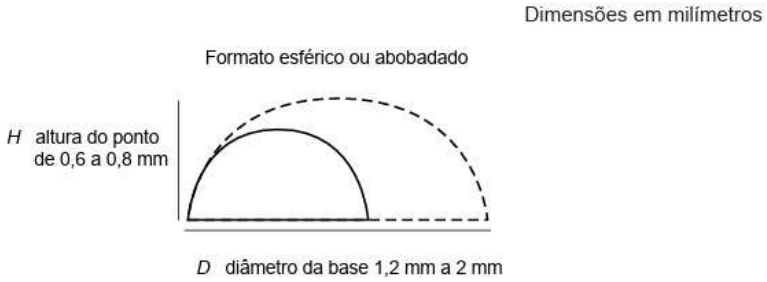
- **Diâmetro do ponto (D):** entre 1,2 mm e 2,0 mm;
- **Altura do ponto (H):** entre 0,6 mm e 0,8 mm;
- **Proporção P = D/H:** deve situar-se entre 2,0 e 2,5;
- **Distâncias entre pontos e células:** conforme o arranjo geométrico apresentado na norma.

Figura 4 - Dimensões Braille ABNT



a	b	c	d	Diâmetro do ponto e = D	Altura do ponto H
2,7	2,7	6,6	10,8	de 1,2 a 2,0	de 0,6 a 0,8
* D significa diâmetro.					

Figura 29 – Arranjo geométrico dos pontos em Braille



Descrição da imagem: Diagrama técnico que apresenta as dimensões normatizadas dos pontos em braille. A figura mostra o arranjo geométrico da célula braille com medidas em milímetros para espaçamentos entre pontos e células. Abaixo, um segundo esquema ilustra o formato abaulado do ponto em relevo, indicando seu diâmetro e altura. Fonte: ABNT, 2015

Essas especificações são fundamentais para assegurar que os pontos possam ser percebidos com clareza e rapidez, evitando confusão na leitura tátil. A adoção de proporções inadequadas em textos corridos pode prejudicar o reconhecimento dos caracteres, gerar fadiga sensorial ou comprometer a fluidez da leitura.

Embora o dispositivo Ponto Vivo utilize uma escala ampliada da célula braille, seguindo o padrão dos materiais de referência de introdução à alfabetização, o projeto considera esses parâmetros normativos como referência proporcional, garantindo que o aluno compreenda a estrutura proporcional dos pontos antes de transitar para o tamanho convencional utilizado em materiais impressos.

2.5 Abordagens Pedagógicas

O desenvolvimento de um método de ensino para o Ponto Vivo exige a revisão de

diferentes abordagens pedagógicas que tratam da construção do conhecimento, da mediação social e da aprendizagem sensorial. Embora o projeto não se proponha a formular uma metodologia pedagógica completa, aquele aqui sugerido para seu uso apoia-se em princípios consolidados da educação, que oferecem base teórica para orientar a criação de atividades acessíveis, significativas e coerentes com o ensino inicial do braille.

As concepções Construtivista e Sociointeracionista constituem referenciais fundamentais no entendimento de como ocorre a aprendizagem ativa. Para Jean Piaget (1971), o conhecimento se constrói por meio da ação do sujeito sobre o mundo; aprender é explorar, manipular, estruturar e organizar informações a partir da experiência concreta. Esse entendimento destaca a importância de materiais manipuláveis e da experimentação direta, aspecto central no ensino do braille, que depende do contato tátil contínuo com pontos e superfícies em relevo.

Lev Vygotsky (1984), por sua vez, amplia essa compreensão ao afirmar que o aprendizado é mediado socialmente. A interação entre pares e o papel do educador como mediador são essenciais para que o aluno avance em sua “zona de desenvolvimento proximal”. A zona de desenvolvimento proximal corresponde ao intervalo entre aquilo que o aluno consegue realizar sozinho e aquilo que ele pode realizar com apoio de um adulto ou de um par mais experiente (VYGOTSKY, 1984). Essa perspectiva reforça a relevância de atividades colaborativas, do diálogo e da orientação do professor, elementos importantes no cenário de introdução ao braille, em que o estudante frequentemente necessita de acompanhamento próximo.

A aprendizagem multissensorial também compõe um eixo importante desta fundamentação. A pedagogia sensorial presente nos trabalhos de Maria Montessori (2017) enfatiza o uso de materiais concretos, manipuláveis e variados sensorialmente para apoiar a formação de conceitos abstratos.

Além dessas abordagens, o projeto dialoga com princípios da Educação Inclusiva e da pedagogia crítica brasileira. Paulo Freire (1996) destaca a necessidade de práticas educativas que promovam autonomia, participação, diálogo e construção significativa do conhecimento. No contexto da alfabetização em braille, esses princípios incentivam a criação de ambientes acessíveis, que respeitem o ritmo individual e reconheçam o aprendiz como sujeito ativo do processo. Autores brasileiros como Sassaki (1997) reforçam a importância de eliminar barreiras, sejam elas físicas, comunicacionais e pedagógicas, para garantir a participação plena de pessoas com deficiência.

Assim, a presente revisão das abordagens pedagógicas não busca aprofundar cada

corrente teórica, mas identificar princípios que orientem decisões projetuais. A articulação entre ação, mediação social, estímulos multissensoriais e aprendizagem significativa se torna, portanto, uma base conceitual para a formulação do método de ensino proposto neste trabalho. Esses fundamentos permitem estruturar atividades que valorizam a experimentação tátil, a interação com o educador e a repetição organizada, aspectos centrais para o desenvolvimento inicial da leitura em braille.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo descreve a metodologia adotada na pesquisa, detalhando as etapas que orientaram a construção do dispositivo, da interface digital e do método de ensino. São apresentadas as estratégias de levantamento bibliográfico, pesquisa de campo, análise de similares, definição de requisitos e prototipagem. Assim, o capítulo estabelece a estrutura metodológica que torna possível a passagem da fundamentação teórica para o desenvolvimento projetual.

3.1 Revisão Bibliográfica e Pesquisa de Campo

A revisão bibliográfica envolveu o levantamento de literatura sobre deficiência visual, modelos da deficiência, tecnologia assistiva, processos de alfabetização em braille, ensino multissensorial e design inclusivo. Essa revisão fundamentou a compreensão das necessidades do público e estruturou a base teórica utilizada para definir critérios de acessibilidade e diretrizes pedagógicas do projeto.

A pesquisa de campo incluiu visitas à Biblioteca Braille Dorina Nowill de Taguatinga e à 4ª Feira de Acessibilidade do Distrito Federal, além de diálogos com educadoras alfabetizadoras. Essas atividades permitiram observar práticas reais de ensino, materiais pedagógicos utilizados, dispositivos de leitura e escrita e desafios enfrentados por alunos e professores. Os dados coletados serviram para orientar a definição dos requisitos do dispositivo e do método de ensino.

3.2 Análise de Produtos e Práticas Similares

Foram analisados dispositivos e materiais amplamente utilizados no ensino e no uso cotidiano do braille, como reglete e punção (positivo e negativo), a máquina Perkins, o Braille Sense e materiais ampliados presentes em instituições. Essa análise permitiu identificar padrões funcionais, ergonômicos e pedagógicos que contribuem para o desenvolvimento do projeto, além de evidenciar lacunas que o projeto busca suprir.

3.3 Levantamento de Requisitos de Design

A partir da revisão teórica, da pesquisa de campo e da análise de similares, foram definidos os requisitos de design do dispositivo e do método de ensino. Esses requisitos orientaram decisões relativas à dimensão tátil dos pontos, contraste visual, ergonomia, disposição do teclado, interatividade, acessibilidade sensorial e integração com o aplicativo.

3.4 Pesquisa de Materiais e Tecnologias

Foram explorados materiais e tecnologias adequadas ao desenvolvimento de um artefato acessível, como impressão 3D em filamento, motores, Arduino e mecanismos internos para movimentação dos pontos. Essa etapa guiou a escolha dos recursos estruturais e eletrônicos utilizados na construção do protótipo.

3.5 Prototipagem do Dispositivo

O dispositivo foi desenvolvido por meio de prototipagem iterativa, envolvendo modelagem digital, testes de encaixe, experimentação com mecanismos de acionamento e construção física. Essa etapa permitiu validar a forma, o funcionamento mecânico e a viabilidade técnica do artefato.

3.6 Desenvolvimento da Identidade Visual

O processo de identidade visual ocorreu como uma etapa específica, dedicada à definição do nome, logotipo, paleta cromática e elementos gráficos do projeto. As decisões visuais foram guiadas por critérios de acessibilidade e contraste, considerando também a atratividade para pessoas que enxergam e instituições educacionais.

3.7 Desenvolvimento da Interface Digital

A interface digital foi desenvolvida em duas fases: uma versão funcional programada em Python/Tkinter e um protótipo ideal construído no Figma, projetado como aplicativo móvel. A interface foi estruturada de acordo com princípios de acessibilidade visual e

clareza informacional, organizando-se nos módulos “Aprender” e “Treinar” para integrar o uso do dispositivo ao processo de ensino.

3.8 Proposição do Método de Ensino

Por fim, foi elaborado um método de ensino que orienta o uso do dispositivo e do aplicativo em atividades pedagógicas. Esse método não constitui uma metodologia formal de alfabetização, mas organiza sequências de introdução ao braille e dinâmicas interativas baseadas em práticas observadas, análise de similares e princípios multissensoriais.

4. Estudo de Campo e Análises

Este capítulo organiza as análises obtidas durante o processo investigativo, reunindo a análise de produtos similares, as observações de campo e a sistematização dos requisitos de design. Ao consolidar essas informações, o capítulo prepara o terreno para o desenvolvimento do artefato e do método de ensino, apresentado posteriormente. Sua função é transformar os achados da pesquisa em diretrizes projetuais claras.

4.1. Análise de Produtos e Práticas Similares

A análise de produtos e práticas similares apresentada a seguir marca o início da etapa investigativa deste capítulo. O objetivo é observar como diferentes dispositivos e materiais utilizados na leitura, escrita e introdução ao braille se estruturam, funcionam e se inserem nos contextos de ensino. A partir dessa observação direta, foi possível identificar elementos formais, mecânicos e pedagógicos que influenciam as práticas atuais de alfabetização, além de reconhecer limitações e oportunidades que orientaram o desenvolvimento do Ponto Vivo. Os instrumentos analisados foram selecionados por sua relevância no cotidiano de pessoas cegas e com baixa visão, bem como por sua presença consolidada em instituições de ensino e bibliotecas especializadas.

Para organizar de forma clara os principais achados desta etapa e evidenciar como cada material analisado contribui para o processo de alfabetização em braille, elaborou-se a tabela a seguir. Nela, diferentes dispositivos e recursos tradicionalmente utilizados no ensino, na escrita manual e no acesso digital ao braille são comparados a partir de critérios estruturais, funcionais e pedagógicos. Essa sistematização permite visualizar tanto as características específicas de cada produto quanto as lacunas identificadas.

Critério de análise	Reglete e punção	Máquina Perkins	Braille Sense	LEGO Braille Bricks	Materiais ampliados

Função principal	Escrita em papel	Escrita em papel	Escrita/leitura digital	Introdução ao braille	Introdução ao braille
Custo	Baixo	Médio	Muito alto	Não comercial[1]	Baixo
Portabilidade	Alta	Média	Alta	Alta	Média
Recursos lúdicos	Não	Não	Não	Sim	Não
Complexidade de uso	Baixa	Baixa	Alta	Baixa	Baixa
Requer eletrônica	Não	Não	Sim	Não	Não
Escala do ponto	Real	Real	Real	Ampliado	Ampliado

4.1.1 Reglete e Punção (reglete negativa e reglete positiva)

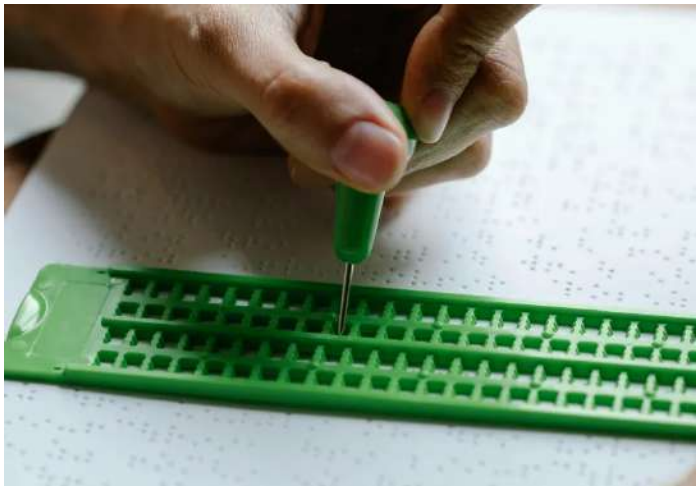
O **reglete e punção** é um dos instrumentos mais antigos e difundidos para a escrita manual em braille. Consiste em duas partes:

- a **reglete**, instrumento que contém fileiras de células braille vazadas, onde o papel é encaixado;
- a **punção**, que pressiona o papel e forma os pontos em relevo.

Historicamente, o primeiro modelo consolidado foi a reglete negativa. Nele, a escrita é realizada pelo verso do papel, da direita para a esquerda, de modo que, quando o papel é virado, o texto possa ser lido no sentido tradicional, da esquerda para a direita. Essa configuração exige que o aluno compreenda a lógica espelhada dos pontos, o que implica habilidade espacial e domínio da numeração da célula braille. Apesar dessa exigência cognitiva, a reglete negativa é amplamente utilizada até hoje por sua simplicidade, leveza, baixo custo e portabilidade (figura 5).

[1] O programa Lego Braille Bricks é totalmente sem fins lucrativos e os kits não podem ser comercializados. Sua aquisição requer entrar em contato com a LEGO.

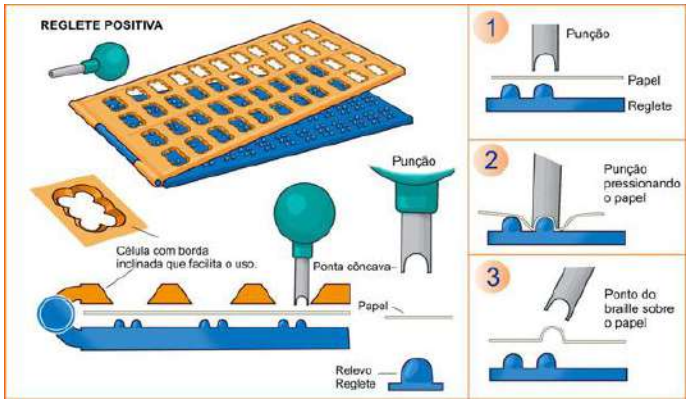
Figura 5 - Reglete negativa



Descrição da imagem: Fotografia mostra uma mão utilizando um punção sobre uma reglete verde para produzir pontos em braille em uma folha de papel. Fonte: EasyTS.

Posteriormente, surgiu a reglete positiva, desenvolvida justamente para facilitar o processo de escrita para iniciantes. Na reglete positiva, a escrita é realizada no mesmo sentido em que se lê, da esquerda para a direita, e os pontos são formados diretamente no papel sem a lógica espelhada. Isso é possível pela ponta da punção ser côncava, diferente da punção positiva, que é convexa (figura 6). Esse formato é considerado mais intuitivo, sobretudo em contextos de alfabetização inicial. Ainda assim, muitos usuários experientes e professores preferem a reglete negativa, seja pela familiaridade, pela precisão ou pela compatibilidade com métodos tradicionais de ensino.

Figura 6 - Reglete positiva



Descrição da imagem: Ilustração mostra uma reglete e um punção positivas sendo usadas para produzir

pontos em braille no papel. Diagrama simples indica a posição da folha, o encaixe na reglete e o movimento do punção para formar os pontos em relevo. Fonte: UNESP, 2023.

É importante destacar que não existe um modelo “melhor” que o outro; ambos atendem a necessidades distintas. A escolha entre reglete negativa e positiva depende da experiência prévia do aluno, da prática do educador e do contexto de uso. Nos ambientes visitados durante a pesquisa, observou-se que educadores adotam o modelo que melhor se adequa ao perfil e às preferências de cada estudante.

4.1.2 Máquina de Escrever Braille Perkins

A máquina Perkins foi criada em 1951 nos Estados Unidos pelo Perkins School for the Blind (Perkins School for the Blind - 2025). Ela permanece até hoje como uma das principais formas de escrita mecânica em braille (figura 7).

Figura 7 - Máquina Perkins



Descrição da imagem: Fotografia mostra uma máquina Braille Perkins em vista frontal. O equipamento, em acabamento metálico cinza, apresenta seis teclas principais, alavanca lateral e estrutura robusta usada para escrita em braille. Fonte: Perkins School for the Blind, 2025.

O funcionamento da máquina é baseado em um sistema de seis teclas dispostas para corresponder diretamente aos seis pontos da célula braille. Cada tecla representa um dos pontos, e a combinação das teclas pressionadas simultaneamente gera o caractere desejado. Além das teclas principais, a máquina possui teclas auxiliares para espaço,

avanço de linha e retorno do rolo.

A máquina Perkins é amplamente utilizada em escolas especializadas e por usuários experientes devido à sua confiabilidade, resistência e precisão dos pontos. Mesmo com o avanço das tecnologias digitais, mantém um papel relevante na alfabetização, pois oferece ao estudante uma noção clara da estrutura do braille e reforça o desenvolvimento motor envolvido no ato de escrever.

A disposição das teclas da Perkins se dá da seguinte forma: 3-2-1 / 4-5-6, da esquerda para a direita. Essa disposição tornou-se um padrão adotado por dispositivos modernos, como o notebook braille e o Braille Sense. Essa lógica foi utilizada também no desenvolvimento do teclado do Ponto Vivo, que segue essa organização visando permitir uma transição natural para etapas posteriores da escrita braille.

4.1.3 Braille Sense

O dispositivo Braille Sense, produzido pela empresa sul-coreana HIMS International, representa uma solução de alta tecnologia para leitura e escrita em braille, integrando uma linha braille tátil e um teclado braille com disposição inspirada no padrão tradicional da máquina Perkins. (HIMS INTERNATIONAL, 2023)

Este equipamento portátil combina múltiplas funcionalidades – criação de documentos (TXT, DOCX, BRF), navegação na web, reprodução de mídia (DAISY), conexão com serviços em nuvem como Google Drive e compatibilidade com plataformas de ensino (Google Classroom) – com uma linha braille de 32 células de atualização dinâmica, o que permite ao usuário ler linha por linha textos digitais num ambiente braille. (HIMS INTERNATIONAL, 2023)

O teclado possui nove teclas principais dispostas no padrão *3-2-1 / 4-5-6*, complementadas por teclas de função (Ctrl, Alt, F-keys) e controles de navegação, o que facilita a transição de usuários acostumados à máquina Perkins para o ambiente digital.

Embora ofereça alta performance, conectividade e autonomia, o Braille Sense apresenta elevado custo, o que limita sua adoção em contextos de orçamento restrito ou uso educativo primário. Essa realidade reforça a necessidade de soluções mais acessíveis e orientadas para a introdução ao braille, desafios que orientaram o desenvolvimento do dispositivo Ponto Vivo.

4.1.4 Lego Braille Bricks

O LEGO Braille Bricks é uma iniciativa da LEGO, que consiste em um conjunto de peças especialmente desenvolvido para apoiar a alfabetização em braille. As peças mantêm a configuração clássica das peças, e cada peça traz impresso em si um caractere braille em relevo e sua letra em português correspondente ao caracter braille (figura 8). O contraste entre as peças e as bases também é intencional: bases claras com peças escuras (ou vice-versa) para favorecer a percepção de pessoas com baixa visão.
No Brasil, esse recurso foi introduzido em parceria com a Fundação Dorina Nowill para Cegos, responsável por promover a implementação e a capacitação de professores no uso do material (FUNDAÇÃO DORINA NOWILL, 2023). A LEGO disponibiliza esse recurso a instituições por meio de parcerias — não é comercializado ao consumidor comum, o que reforça seu caráter de iniciativa educacional e colaborativa (HOME CARE EXPERTS, 2024).

Figura 8 - LEGO Braille Bricks



Descrição da imagem: Fotografia mostra peças de LEGO coloridas espalhadas sobre uma superfície branca com o logotipo da LEGO e a inscrição “Braille Bricks”, acompanhada da mesma escrita em braille. Fonte: B9 (2020)

- **Funcionamento**

De acordo com o vídeo institucional *Introducing LEGO Braille Bricks – Play with Braille* (LEGO, 2023), o conjunto inclui diversas bases (placas) e peças LEGO com caracteres braille, e o uso pedagógico segue diversas etapas definidas:

- ➔ **Primeira etapa:** os alunos manipulam as peças livremente para experimentar a noção de “lado certo” da peça — apenas um lado apresenta os pontos legíveis. Uma dinâmica denominada “Salve as tartarugas” exige que as peças estejam “viradas para cima”, ajudando a desenvolver orientação espacial da célula braille.
- ➔ **Segunda etapa:** introduzem-se atividades de leitura da disposição dos pontos, como a metáfora da “macieira”, em que peças com quatro pontos representam maçãs no topo da árvore, reforçando a leitura de cima para baixo.
- ➔ **Terceira dinâmica:** “Constelação” — uma base grande é subdividida em seis “estacionamentos” (números 1-6) e os alunos, ao lançar um dado, identificam peças com o número correspondente de pontos e as posicionam corretamente. Essa repetição reforça a memorização dos números dos pontos.

- **Abordagem Metodológica Aplicada e Características Lúdicas**

No vídeo educacional citado acima, a abordagem pedagógica do LEGO Braille Bricks propõe cinco características essenciais à uma atividade de aprendizado lúdica:

- ➔ **Atividade significativa** — as peças não são usadas apenas como objeto de manipulação, mas para construir sentido (por exemplo, identificar letras ou montar metáforas);
- ➔ **Engajamento** — o uso de peças físicas, desafios e metáforas favorece a motivação intrínseca do aluno;
- ➔ **Interação social** — muitas das dinâmicas são realizadas em pares ou grupos, sob mediação de educador, favorecendo colaboração e diálogo;
- ➔ **Repetição** — as atividades são desenhadas para repetição controlada e progressiva, reforçando memorização tátil;
- ➔ **Alegria** — o aprendizado precisa ser feito de forma a trazer alegria em seu processo.

4.2 Visitas e Pesquisa de Campo

4.2.1 Biblioteca Braille Dorina Nowill – Taguatinga

Para compreender o contexto de uso de materiais táteis e práticas relacionadas à leitura e à introdução ao sistema braille no Distrito Federal, foi realizado um levantamento das instituições que atuam com pessoas cegas e com baixa visão. Entre os espaços identificados, o Centro de Ensino Especial para Deficientes Visuais (CEEDV) foi inicialmente considerado para visita técnica; contudo, a visita não pôde ser realizada naquele período. Assim, optou-se por investigar a Biblioteca Braille Dorina Nowill de Taguatinga, um espaço cultural dedicado à leitura acessível e à promoção de atividades inclusivas (figura 9).

Figura 9 - Fachada Biblioteca Braille Dorina Nowill



Descrição da imagem: Fotografia mostra o portão de entrada do Espaço Cultural de Taguatinga. Acima do portão há uma placa azul com os dizeres “Espaço Cultural de Taguatinga – Teatro da Praça – Biblioteca Machado de Assis – Biblioteca Braille – Academia Taguatinguense de Letras”. O local é cercado por muros grafitados e árvores, sob um céu azul e ensolarado. Fonte: a autora.

A Biblioteca Braille Dorina Nowill integra iniciativas inspiradas pela Fundação Dorina Nowill para Cegos e tem como foco principal a oferta de livros acessíveis, rodas de leitura, oficinas culturais, feiras e ações comunitárias. Embora não seja uma instituição formal de alfabetização, suas coordenadoras relataram que, quando visitantes demonstram interesse em aprender braille, uma delas realiza orientações iniciais de forma informal, contribuindo para a circulação social do conhecimento.

Durante a visita, foram apresentados os materiais utilizados nessas orientações. A coordenadora responsável pelo ensino explicou que seu método difere daquele praticado por escolas especializadas e ressaltou que existem múltiplas abordagens possíveis para a alfabetização em braille.

Dois materiais se destacam nesse processo inicial:

- **Uma célula braille ampliada em madeira,** composta por um retângulo com seis rebaixos onde são encaixadas bolinhas de gude, representando os pontos (figura 10);

- **Uma segunda versão do mesmo dispositivo,** também em madeira, mas com discos em relevo que podem ser inseridos ou retirados para compor diferentes caracteres (figura 11).

Figura 10 - Material Pedagógico 1



Descrição da imagem: Fotografia mostra uma peça de madeira com seis cavidades, cada uma contendo uma pequena bola de gude, posicionada sobre uma mesa. Fonte: a autora.

Figura 11 - Material Pedagógico 2



Descrição da imagem: Fotografia mostra uma pessoa manipulando uma peça de madeira com seis cavidades circulares, cada uma contendo um disco de madeira, sobre uma mesa. Ao lado de cada disco, temos uma número, que vai de um a seis. Fonte: a autora.

O trabalho pedagógico começa pela identificação tátil dos seis pontos e pela compreensão da estrutura da célula braille mediante esses recursos ampliados. A

coordenadora ainda explicou que trabalha a numeração dos pontos de forma espelhada, pois introduz simultaneamente o aprendizado da escrita em braille através do reglete de punção negativa. Nessa abordagem, a leitura e a escrita são ensinadas simultaneamente desde o início, e o aluno passa a escrever caracteres e palavras inteiras em configuração invertida. Esse método é complementado pelo uso da máquina Perkins, sendo permitido que cada estudante escolha a ferramenta de escrita com que se adapta melhor.

A coordenadora destacou que essa forma de ensino não corresponde ao método formal utilizado nas escolas de Brasília, mas constitui uma prática construída empiricamente a partir da vivência com os usuários e das possibilidades do espaço. Esse relato evidencia a pluralidade de abordagens existentes no processo de alfabetização braille e mostra como ambientes comunitários desenvolvem soluções próprias, baseadas na realidade local e nos materiais disponíveis.

Assim, a visita à Biblioteca Braille Dorina Nowill contribuiu significativamente para compreender a diversidade de caminhos pedagógicos presentes na introdução ao braille, além de permitir observar dispositivos artesanais criados pelas educadoras e identificar lacunas existentes entre práticas formais e informais. Essas observações forneceram requisitos importantes para o desenvolvimento do projeto Ponto Vivo, especialmente no que se refere à clareza tátil, à escala ampliada, ao caráter interativo e à necessidade de materiais acessíveis que auxiliem tanto ambientes formais de ensino quanto iniciativas comunitárias.

4.2.2 Quarta Edição da Feira de Acessibilidade do DF – Alameda Shopping (Taguatinga)

Como parte da pesquisa de campo direcionada ao levantamento de dispositivos, materiais e práticas voltadas a pessoas cegas e com baixa visão, realizou-se a visita à quarta edição da Feira de Acessibilidade do DF, realizada nos dias 12 e 13 de setembro, das 10h às 19h, no Alameda Shopping, em Taguatinga (GDF/Agência Brasília, 2025). O evento, organizado pela Biblioteca Braille Dorina Nowill em colaboração com órgãos públicos do Distrito Federal, reuniu uma série de instituições, organizações da sociedade civil e fornecedores de tecnologias assistivas que ofertam recursos para diferentes deficiências, não visual.

O convite para a visita foi feito pelas coordenadoras da Biblioteca Braille Dorina Nowill, que atuam como articuladoras do evento e informaram sobre sua programação e proposta. No local, foram observados diversos materiais pedagógicos e dispositivos assistivos. Dentre os recursos apresentados, destacaram-se células braille ampliadas artesanalmente em madeira e impressão 3D, que permitiam a visualização e

montagem tátil da célula de seis pontos (figura 12).

Figura 12 - Material Pedagógico Brailito



Descrição da imagem: Fotografia mostra um conjunto de peças roxas com pinos metálicos removíveis formando caracteres braille, segurado na mão. Ao fundo, há materiais didáticos coloridos, incluindo uma caixa com o nome “Brailito”. Fonte: a autora.

Na visita, também foi apresentado o dispositivo Braille Sense (figura 13), equipamento portátil usado para leitura e escrita em braille, cuja disposição de botões segue o padrão da máquina Perkins, que serviu de referência para o desenvolvimento do teclado do protótipo Ponto Vivo. Durante a feira, houve oportunidade de diálogo com educadores, técnicos de acessibilidade e usuários, o que proporcionou entendimento ampliado sobre os contextos de aprendizagem, a diversidade de métodos e a necessidade de mais recursos que integrem tactilidade, contraste visual e tecnologia assistiva.

Figura 13 - Braille Sense 6



Descrição da imagem: Fotografia mostra a mão segurando um dispositivo Braille Sense 6, com caracteres em braille na parte inferior e botões na parte superior. Fonte: a autora.

Esta visita contribuiu para identificar a multiplicidade de abordagens no ensino do braille, bem como os materiais mais atuais utilizados na alfabetização. As observações feitas reforçaram a relevância de projetar um dispositivo que aborde escala ampliada, interatividade tátil e compatibilidade com práticas existentes, fundamentos que nortearam o desenvolvimento deste projeto.

4.3 Requisitos de Design do Artefato e do Método de Ensino

Os requisitos de design do dispositivo Ponto Vivo são definidos a partir das visitas de campo, da análise de produtos similares e da compreensão das práticas de alfabetização em braille. Assim, o dispositivo deve atender aos seguintes critérios:

- Apresentar uma célula braille em escala ampliada, permitindo percepção tátil clara dos seis pontos.
- Possuir pontos acionados mecanicamente, que sobem e descem de forma precisa e perceptível.
- Ser intuitivo e simples de operar, adequado a ambientes educacionais formais e informais.
- Utilizar teclado com a disposição tradicional da máquina Perkins (3-2-1 / 4-5-6), facilitando a transição para outros dispositivos de escrita.
- Oferecer retorno tátil adequado nos botões, com força de acionamento confortável e perceptível.
- Garantir alta durabilidade e estabilidade, resistindo ao uso contínuo e à pressão tátil recorrente.
- Utilizar contraste visual elevado, auxiliando pessoas com baixa visão.

- Permitir leitura tátil confortável, com superfícies lisas, seguras e sem arestas.
- Integrar-se a um aplicativo educativo, permitindo exercícios de reconhecimento e formação de caracteres.
- Ser adequado para atividades individuais e em grupo, conduzidas por educadores.
- Atender usuários com diferentes graus de visão, combinando recursos táteis, auditivos e visuais.
- Transmitir identidade visual coerente com acessibilidade e inclusão, com aplicação do logotipo em relevo.
- Oferecer experiência significativa de aprendizagem, apoiando reconhecimento de pontos, formação de caracteres e prática repetitiva.

As conclusões obtidas nesta etapa oferecem as diretrizes que sustentam o desenvolvimento do Ponto Vivo. No próximo capítulo, essas análises se transformam em decisões projetuais que estruturam o dispositivo, sua interface e o método de ensino associado.

5. Desenvolvimento do Projeto

Este capítulo apresenta o processo de prototipação e materialização do Ponto Vivo, detalhando a criação da célula braille interativa, do teclado, do dado em relevo, da identidade visual, da interface digital e do método de ensino. A partir dos requisitos estabelecidos no capítulo anterior, são descritas as decisões formais, mecânicas, ergonômicas e pedagógicas que deram forma ao artefato. Trata-se do núcleo projetual do trabalho, onde as investigações anteriores se transformam em soluções concretas.

5.1. Protótipo do Dispositivo

Para seu desenvolvimento, o protótipo do dispositivo foi dividido em três partes: uma célula braille grande e interativa (com pontos que sobem e descem de acordo com um comando); um teclado (por onde se dão os comandos da célula braille); e um conjunto de dados em relevo, utilizados como apoio às atividades pedagógicas propostas no método de ensino.

5.1.1 Célula Braille Interativa

Para identificar como seria o funcionamento da célula braille, foi necessário definir, inicialmente, como funcionaria o seu sistema mecânico interno, que serviria para levantar e abaixar os pontos da célula.

Nesse sentido, foi escolhido um componente eletromecânico: o micro servo motor (figura 14) como componente para automatizar esse movimento. O servo motor é um tipo de motor de pequeno porte que permite controlar o movimento de forma precisa, limitando-se geralmente a movimentar-se em um ângulo específico.

Figura 14 - Servo Motor



Descrição da imagem: A fotografia mostra um pequeno servo motor azul com fios coloridos e um braço de alavanca preso a ele. Fonte: A autora, 2025.

Como o servo motor realiza um movimento circular, e a ideia da célula é que seus pontos subam e desçam, o primeiro teste consistiu em tornar esse movimento circular em um movimento linear. Para isso, foi utilizada a plataforma Fusion (programa de modelagem 3D) para projetar as peças e simular como o movimento de interação de componentes funcionaria.

Primeiramente, foram definidas as dimensões dos pontos da célula e foi impresso um teste (figura 15) dos pontos, levando em consideração o menor tamanho possível para eles dado as dimensões do sistema interno. Os pontos foram definidos com um diâmetro de 20mm, com a distância padrão entre eles estabelecida pela ABNT.

Figura 15 - Teste de Dimensões da Célula



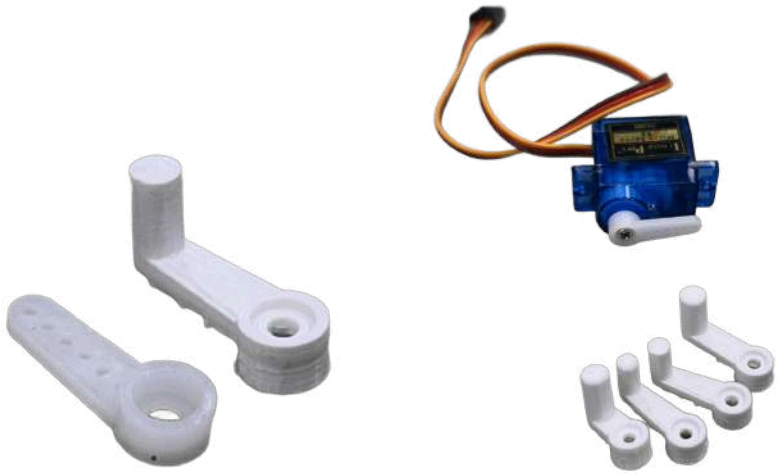
Descrição da imagem: A fotografia mostra uma impressão 3D de filamento branco de uma peça retangular com pontos elevados, formando uma célula braille. Fonte: A autora, 2025.

Após essa etapa, foram desenvolvidas duas principais versões deste protótipo mecânico interno até ser alcançado um sistema que funcionasse da forma adequada, como apresentado a seguir.

5.1.1.1 Sistema Mecânico - Versão 1

Para desenvolver o sistema interno, foi necessário projetar uma pá específica para o servo motor, uma que possuísse um braço de alavanca que empurrasse o ponto braille para cima com sua rotação (figura 16). Foram realizados alguns testes de impressão de pás com dimensões diferentes, a fim de testar a que funcionasse mais adequadamente nessa versão do sistema.

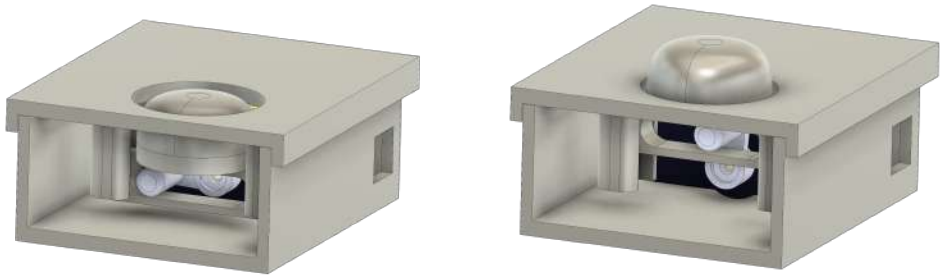
Figura 16 - Impressão de Pás para o Servo Motor



Descrição da imagem: A fotografia mostra à esquerda a comparação da pá que vem com o servo motor (sem braço de alavanca), com a pá projetada para o teste do sistema mecânico (com braço de alavanca). À direita, quatro pás com braço de alavanca de diferentes tamanhos, impressas como testes para o projeto. Fonte: A autora, 2025.

Essa versão consistiu na impressão de quatro peças: a pá, presa a parte giratória do servo motor; o ponto braille, com um encaixe para o braço de alavanca giratório em sua parte inferior; uma base, para a fixação do servo por meio de parafusos, e com um recorte lateral para a saída dos fios; e a tampa, com uma guia para o ponto não sair do eixo durante a subida e a descida (figura 17).

Figura 17 - Ponto Baixo e Ponto Alto - Versão 1



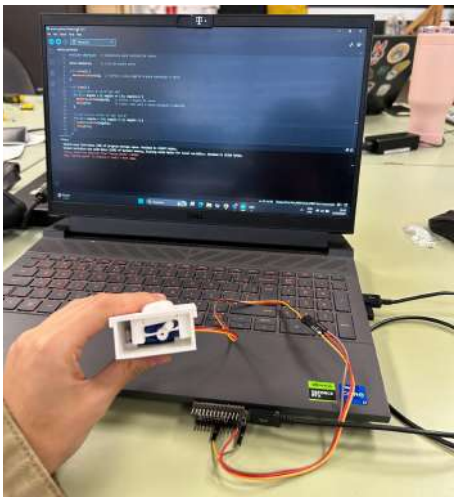
Descrição da imagem: São apresentadas duas renderizações em 3D que mostram o mesmo sistema mecânico desenvolvido para o movimento dos pontos braille. O conjunto é composto por uma base e uma tampa, onde o ponto fica posicionado em uma guia central. No interior da estrutura há um servo motor conectado a uma pá com um braço de alavanca, responsáveis pelo movimento de subida e descida do ponto. A diferença entre as imagens é o ângulo do servo motor: em uma delas o ponto está levantado, enquanto na outra o ponto está abaixado. Fonte: A autora, 2025.

Após a impressão das peças, o servo motor foi conectado a um Teensy.

Teensy é uma placa de desenvolvimento eletrônica semelhante ao Arduino, utilizada para programar e controlar componentes como sensores, motores e LEDs. Ela permite enviar comandos a partir do computador por meio da IDE (Integrated Development Environment), o ambiente de programação usado para escrever e executar códigos/algoritmos.

Neste teste, o servo motor foi conectado ao Teensy e ao computador, sendo controlado pelo programa na IDE. Dessa forma, foi possível ajustar o ângulo de rotação do motor e observar o movimento de subida e descida do ponto projetado (figura 18).

Figura 18 - Teste do Servo Motor Conectado ao Teensy



Descrição da imagem: Fotografia mostra um computador com a IDE aberta exibindo o código de controle

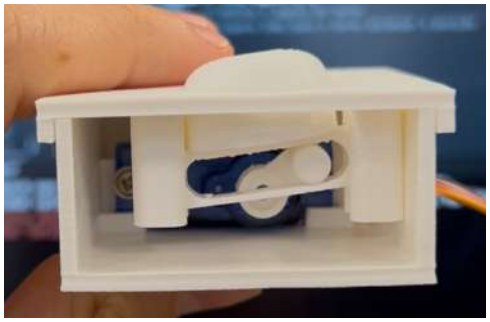
do servo motor. À frente do notebook, uma mão segura o módulo do sistema mecânico, conectado ao Teensy por fios. Fonte: A autora, 2025.

Após o teste, foram analisados os pontos positivos e negativos da Versão 1:

Pontos positivos:
- O servo motor funcionou, realizando a rotação de 180º;
- O servo motor ficou bem fixo na base;
- O ponto fez o movimento de subida e descida.

Pontos negativos:
- O movimento de subida e descida apresentou problemas, houve uma trepidação durante o movimento e também uma angulação do ponto (figura 19);
- Por conta do formato semiesférico do ponto, ao estar abaixado, revelou-se um vão em sua circunferência que poderia trazer problemas futuros, como acúmulo de sujeira na parte interna do sistema.

Figura 19 - Angulação do Ponto - Versão 1



Descrição da imagem: Fotografia mostra o módulo do sistema mecânico em teste, com o ponto braille inclinado em relação à superfície. Fonte: A autora, 2025.

5.1.1.2 Sistema Mecânico - Versão 2

A segunda versão do sistema mecânico foi desenvolvida com o objetivo de solucionar as limitações observadas na etapa anterior, especialmente a angulação do ponto durante a subida e a trepidação causada pela pá rotativa, que comprometiam o alinhamento e a estabilidade do movimento. Para isso, optou-se pela implementação de um mecanismo de biela-manivela, solução amplamente utilizada em sistemas que convertem movimento rotativo em movimento linear.

Nesta versão, o eixo do servo motor é acoplado a um braço de alavanca, que funciona como a manivela do sistema. Esse braço de alavanca é o responsável por gerar o movimento circular necessário para acionar a biela. A biela, por sua vez, é conectada

simultaneamente ao braço de alavanca do servo e à base inferior do ponto braille ampliado. Assim, à medida que o braço de alavanca gira, ele empurra ou puxa a biela, que transmite esse deslocamento ao ponto, produzindo um movimento estritamente vertical de subida e descida (figura 20).

Figura 20 - Ponto Baixo e Ponto Alto - Versão 2

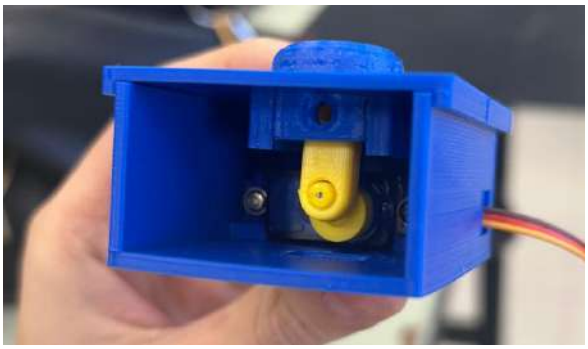


Descrição da imagem: Renderização em 3D de um módulo do sistema mecânico da célula braille, apresentado em três posições distintas para demonstrar o movimento do mecanismo de biela-manivela. Na primeira imagem, o ponto braille aparece abaixado; na segunda, o servo motor está em rotação, movimentando a biela; e na terceira imagem, o ponto encontra-se elevado. As três etapas evidenciam o ciclo completo de subida e descida do ponto gerado pelo movimento do braço de alavanca (manivela) conectado à biela. Fonte: A autora, 2025.

O conjunto passou por ajustes dimensionais para garantir o comprimento adequado da biela, o curso de deslocamento do ponto e o raio de giro da manivela. Também foi projetada uma nova guia vertical interna, que assegura que o ponto deslize apenas para cima e para baixo, sem rotações indesejadas.

Para os testes, as novas peças foram impressas em filamento e o servo motor foi novamente conectado ao Teensy, permitindo ajustar ângulos, velocidades e limites de curso. Com o movimento transformado pela biela-manivela, o ponto passou a subir e descer de forma mais estável e previsível, eliminando a angulação observada na versão anterior (figura 21).

Figura 21 - Teste do Módulo - Versão 2



Descrição da imagem: A imagem mostra a mão de uma pessoa segurando um módulo impresso em 3D,

na cor azul, visto pela parte frontal interna. Dentro da caixa, é possível ver um microservo fixado, com uma peça amarela acoplada ao eixo, que faz a conexão mecânica com o ponto braille móvel na parte superior. Um cabo tricolor do servo sai pela lateral direita do módulo. Fonte: A autora, 2025.

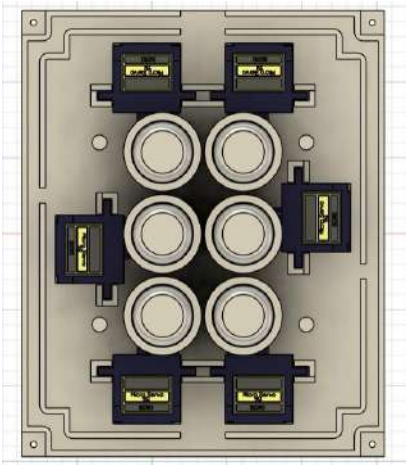
A segunda versão do módulo apresentou melhorias significativas em relação à solução anterior. O movimento do ponto passou a ocorrer de forma totalmente linear, eliminando a inclinação lateral observada na primeira versão. A adoção do mecanismo de biela-manivela também reduziu a trepidação durante a subida e a descida, resultando em um deslocamento mais suave e contínuo. Além disso, o sistema tornou-se estruturalmente mais estável, garantindo maior precisão no funcionamento e maior confiabilidade para a futura replicação do mecanismo nos seis módulos que compõem a célula braille.

5.1.2 Multiplicação do Módulo e Construção da Célula Braille

Após o desenvolvimento e teste do sistema mecânico individual, foi necessário adicionar outros módulos para compor os seis pontos que formam uma célula braille completa.

Essa etapa envolveu tanto a organização espacial dos módulos no Fusion 360 (figura 22) quanto a construção da estrutura que abrigaria os seis servomotores, seus mecanismos e os pontos ampliados. O processo foi realizado em duas versões sucessivas, cada uma buscando aprimorar o arranjo interno, o posicionamento dos componentes e a viabilidade de manutenção do sistema.

Figura 22 - Organização espacial dos módulos - Versão 1



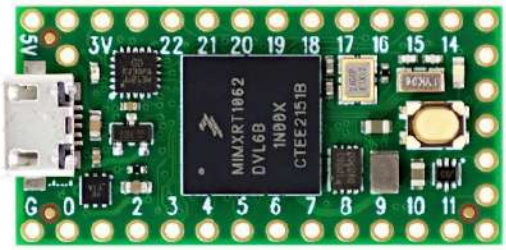
Descrição da imagem: Renderização superior da célula braille ampliada mostrando os seis pontos dispostos em duas colunas e três linhas. Ao redor de cada ponto, é possível visualizar os seis servos motores alocados simetricamente, cada um responsável pelo acionamento do seu ponto. Fonte: A autora, 2025.

5.1.2.1 Transição do Teensy para o Arduino Mega

Durante as primeiras etapas de teste dos módulos individuais, o controle do servomotor foi realizado utilizando uma placa Teensy (figura 23), o que permitiu validar rapidamente o funcionamento do mecanismo em um ambiente experimental. Essa solução era suficiente enquanto apenas um servo estava em uso. Entretanto, com o avanço do projeto para a montagem da célula braille completa, composta por seis servos independentes, tornou-se necessário utilizar uma placa com maior quantidade de entradas e saídas, capaz de controlar simultaneamente todos os componentes do sistema.

O Teensy é uma placa compacta, potente e adequada para prototipagem rápida, mas sua quantidade reduzida de pinos digitais e pinos PWM (Pulse Width Modulation) limita o controle individual de múltiplos servos. Cada servomotor depende de um tipo específico de sinal de controle chamado PWM, no qual a largura de pulsos digitais determina a posição que o eixo do servo deve assumir. Como cada servo requer um pino PWM exclusivo, e como cada botão do teclado também demanda um pino digital independente, o número total de conexões ultrapassou a capacidade oferecida pelo Teensy nesta fase do desenvolvimento.

Figura 23 - Teensy



Descrição da imagem: A imagem mostra uma placa eletrônica Teensy 4.0 vista de cima, com diversos componentes soldados e um conector USB à esquerda. Há um grande chip central preto e uma série de pinos ao redor da placa. Fonte: PJRC, 2025.

Diante dessas exigências, optou-se pela substituição da placa anterior pelo Arduino Mega 2560 (figura 24). O Arduino Mega oferece um número significativamente maior de portas digitais e pinos PWM, possibilitando atribuir um canal dedicado a cada

servomotor e acomodar todas as entradas do teclado sem limitações. Além disso, sua organização física e a distribuição dos conectores favorecem o cabeamento e futuras expansões do sistema, como a integração com o aplicativo. Essa mudança permitiu acionar cada ponto da célula braille de forma estável, precisa e sem interferências entre os módulos.

Figura 24 - Arduino Mega



Descrição da imagem: A imagem mostra uma placa Arduino Mega 2560 vista em perspectiva, de cor azul, com múltiplos conectores na parte superior e lateral, além do chip principal ao centro, portas USB e de alimentação no canto esquerdo. Fonte: Mais Robotic, 2025.

Assim, nesta etapa do projeto, o Arduino Mega passou a desempenhar o papel de unidade central de controle do dispositivo, garantindo maior estabilidade, flexibilidade e escalabilidade para o funcionamento dos seis mecanismos da célula braille, bem como para o gerenciamento simultâneo de todos os demais componentes do Ponto Vivo.

O código-fonte completo utilizado para o controle dos servomotores, leitura dos botões e gerenciamento da lógica do dispositivo foi desenvolvido no Arduino IDE (ambiente de programação oficial utilizado para escrever, compilar e enviar códigos para placas Arduino) e está disponível no Anexo A.

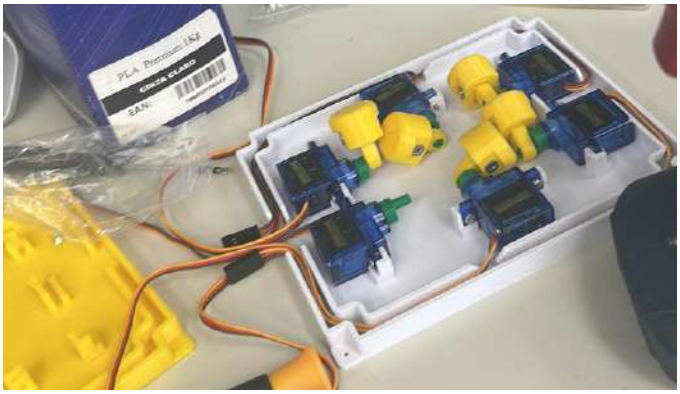
5.1.2.2 Célula Braille - Versão 1

A primeira versão da célula braille completa foi concebida como um modelo aberto em uma das laterais, permitindo a visualização, o teste e o ajuste do funcionamento simultâneo dos seis motores. Esse formato facilitou a inspeção direta dos mecanismos durante a operação, permitindo identificar interferências, ângulos inadequados, tensões excessivas nos fios e eventuais desalinhamentos entre biela, pino e ponto.

Com base nesse modelo digital, foi impressa a parte inferior da caixa, projetada com

paredes e furos específicos para fixação dos servos motores por meio de parafusos. Essa fixação rígida foi essencial para garantir que o servo não se deslocasse durante a operação da biela–manivela e para manter a precisão dos movimentos. Além disso, essa base recebeu um sistema de caminhos internos para acomodação e saída dos fios, permitindo que todos os cabos pudessem ser conduzidos de forma organizada para a área aberta onde seriam conectados ao Arduino (figura 25).

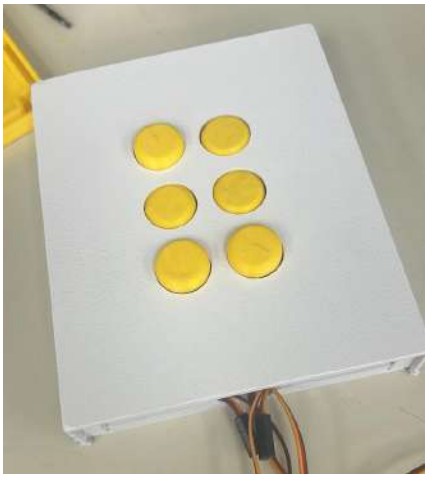
Figura 25 - Base da Célula Braille - Versão 1



Descrição da imagem: A imagem mostra a base da primeira versão da célula braille, com servomotores azuis organizados sobre uma estrutura branca impressa em 3D. Alguns componentes amarelos aparecem posicionados para teste, e fios conectados aos servos se espalham pela mesa de trabalho, indicando uma etapa inicial de montagem e verificação mecânica. Fonte: A autora, 2025.

A tampa superior também foi produzida nesta etapa, contendo os seis furos circulares onde os pontos ampliados seriam instalados. Nessa versão aberta, a tampa e a base eram apenas encaixadas, sem fechamento definitivo, permitindo fácil acesso ao interior para ajustes e observações durante os testes. Os servos motores foram fixados na parte interna, mas não o Arduino, o objetivo era validar a mecânica multiplicada antes de avançar para o fechamento definitivo da caixa (figura 26).

Figura 26 - Célula Braille - Versão 1



Descrição da imagem:Fotografia da célula braille com a tampa superior encaixada, exibindo os seis pontos ampliados. A parte inferior permanece aberta, permitindo a saída dos fios dos seis servos. A imagem mostra o módulo pronto para testes de movimento simultâneo. Fonte: A autora, 2025.

Essa versão permitiu testar, pela primeira vez, o acionamento dos seis pontos de forma combinada. O formato aberto facilitou intervenções manuais, o reposicionamento de peças e ajustes de tolerância entre os componentes mecânicos. Essa etapa foi fundamental para verificar interferências entre servos adjacentes e a necessidade de ajustes no posicionamento interno para evitar colisões ou tensões mecânicas excessivas.

5.1.2.3 Versão 2 – Estrutura Fechada e Organização Interna dos Componentes

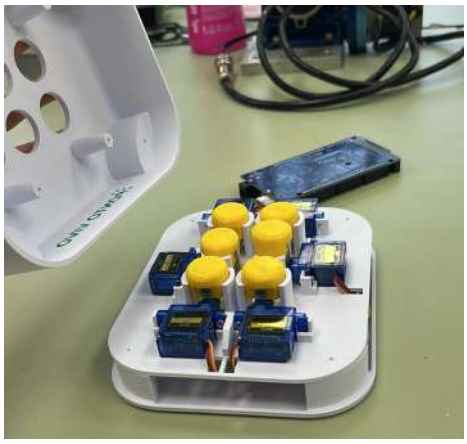
A segunda versão da célula braille ampliada marca a transição entre o modelo aberto de testes e uma estrutura projetada para funcionar como um módulo fechado, capaz de acomodar todos os elementos mecânicos e eletrônicos do dispositivo. Diferentemente da versão anterior, que tinha laterais abertas e visava apenas a validação dos movimentos, esta versão buscou integrar o sistema completo dentro do volume final da caixa.

A solução adotada consistiu na criação de uma estrutura interna dividida em dois níveis dentro da célula braille. O nível intermediário foi desenvolvido para abrigar os seis servos motores, todos fixados por parafusos e alinhados às bielas que acionam os pontos. Acima deles, no nível superior, foram posicionados os seis pontos ampliados e seus respectivos mecanismos de biela–manivela, responsáveis pela movimentação vertical.

Já o nível inferior da caixa concentrou os componentes eletrônicos principais, incluindo o Arduino Mega, selecionado por oferecer número suficiente de entradas e saídas para controlar cada servo de maneira independente, e um módulo abaixador de tensão (LM2596), responsável por estabilizar a alimentação dos motores. Esse componente tornou-se necessário porque o Arduino, sozinho, não é capaz de fornecer corrente suficiente e estável para o acionamento simultâneo dos seis servomotores. Sem essa etapa de regulação, haveria risco de queda de tensão, ocasionando *brownout* (reinício inesperado da placa) ou funcionamento irregular dos servos.

Essa camada inferior recebeu também os suportes de fixação dos componentes e as aberturas para a passagem do cabo de energia, da conexão USB do Arduino e do cabo destinado ao teclado externo (figura 27).

Figura 27 - Célula Braille - Versão 2



Descrição da imagem: A imagem mostra a parte interna de um protótipo de célula braille eletrônica aberta. Sobre a mesa, vê-se a base do dispositivo com seis servomotores azuis alinhados, cada um acoplado a um mecanismo com topo arredondado amarelo, responsável por mover os pontos táteis. A tampa branca do dispositivo está posicionada ao lado, exibindo os encaixes internos e aberturas correspondentes aos pontos. Fonte: A autora, 2025.

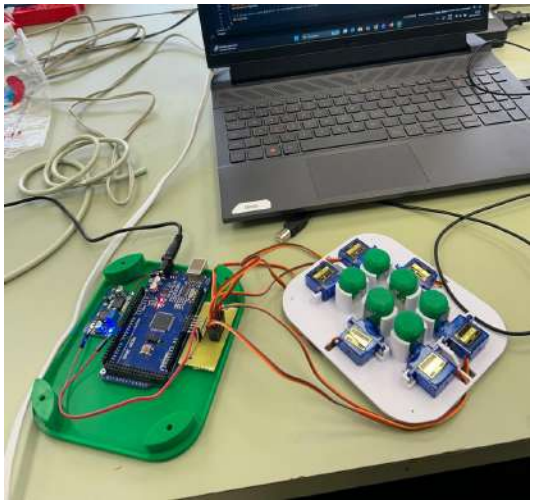
O foco desta etapa foi a estruturação técnica, garantindo o encaixe correto dos componentes, a estabilidade do conjunto, o fluxo adequado dos fios e o comportamento mecânico do sistema no interior da caixa.

5.1.2.4 Versão 3 – Aplicação da Identidade Visual e Consolidação da Célula Braille

A terceira versão corresponde à consolidação estética, estrutural e funcional da célula braille, incorporando pela primeira vez a identidade visual do projeto Ponto Vivo. Mantendo praticamente o mesmo arranjo interno da versão 2, já validado do ponto de

vista mecânico e eletrônico, esta versão introduz ajustes finais de acabamento e identidade visual (figura 28).

Figura 28 - Célula Braille - Versão 3



Descrição da imagem: Fotografia mostra a célula braille aberta durante os testes eletrônicos. À direita, observa-se o conjunto formado pelos seis servos motores, cada um conectado ao seu respectivo ponto verde. À esquerda, sobre a tampa inferior verde, está o Arduino Mega ligado ao regulador de tensão, com vários fios interligando a placa aos motores. Ao fundo, um notebook exibe o código utilizado para controlar o acionamento dos servos. A imagem destaca a organização interna dos componentes e o funcionamento integrado durante o teste. Fonte: A autora, 2025.

Nesta etapa, o módulo passou a ser produzido com as cores oficiais do projeto (definidas no capítulo 5.2.2): parte inferior em verde escuro e tampa superior em branco, garantindo contraste visual para pessoas com baixa visão. A célula braille também recebeu elementos gráficos em relevo aplicados diretamente em suas laterais: de um lado, o logotipo completo do Ponto Vivo, e, do outro, o símbolo do projeto, composto pela letra “P” acompanhada de sua representação em braille. Esses elementos contribuem tanto para a identificação visual quanto para o reconhecimento tátil do produto (figura 29).

Figura 29 - Logotipo em Relevo - Versão 3



Descrição da imagem: Fotografia em close-up da lateral da caixa da célula braille ampliada. A superfície branca exibe em relevo o símbolo do projeto Ponto Vivo, composto pela letra “P” acompanhada da representação em braille do mesmo caractere, ambos impressos em verde. Acima, na tampa, é possível ver parte dos seis pontos em verde escuro. Fonte: A autora, 2025.

5.1.2 Teclado da Célula Braille

O teclado foi desenvolvido como um componente conectado ao dispositivo Ponto Vivo, permitindo que o usuário acione manualmente cada ponto da célula braille ampliada. Seu projeto passou por etapas envolvendo estudos ergonômicos, testes formais de impressão, definição da lógica de posição dos botões e, posteriormente, a construção de uma placa de circuito personalizada para garantir o funcionamento correto dos comandos.

5.1.2.1 Primeiros Modelos e Estudos Ergonômicos

As primeiras versões do teclado consistiram em protótipos impressos em filamento PLA, cujo objetivo era validar o tamanho, o espaçamento e o posicionamento dos botões (figura 30). Esses testes foram fundamentais para compreender como os botões se comportavam ao toque, qual distância evitava acionamentos indevidos, e como a interface se relacionava espacialmente com o mecanismo interno.

Figura 30 - Teclado - Versão 1



Descrição da imagem: A imagem mostra uma peça branca impressa em 3D, com formato curvado nas extremidades e seis relevos retangulares distribuídos em linha. Esses relevos representam botões ou marcas táteis do protótipo, organizados de forma simétrica na superfície da peça. Fonte: a autora, 2025.

Durante essa fase, as decisões foram baseadas em dispositivos já consolidados no ensino de braille, especialmente a máquina de escrever Braille Perkins, cuja lógica de numeração dos pontos serviu de referência direta; e o dispositivo Braille Sense, que inspirou a distribuição espacial das teclas pela clareza, acessibilidade e familiaridade para usuários cegos.

Assim, o teclado do Ponto Vivo adotou a disposição em duas fileiras inclinadas, seguindo a ordem tradicional 3, 2, 1 (fileira da esquerda) e 4, 5, 6 (fileira da direita), além de um botão adicional inferior dedicado ao comando de abaixar todos os pontos simultaneamente.

5.1.2.2 Consolidação da Estrutura e Aplicação da Identidade Visual

Depois de definidos o posicionamento e a ergonomia dos botões, foi produzida uma versão estruturada do teclado, já incorporando a identidade visual do projeto.

Essa versão foi composta pela base do teclado impressa em verde escuro (figura 31); tampa superior branca (figura 32), com recortes precisos para os sete botões; e a capa dos botões em filamento verde (figura 33), correspondendo ao padrão cromático do Ponto Vivo.

Figura 31 - Base do Teclado



Descrição da imagem: Modelagem 3D da estrutura interna da base do teclado, com pinos cilíndricos e encaixes para fixação das peças superiores. Fonte: a autora, 2025.

Figura 32 - Tampa do Teclado



Descrição da imagem: Modelagem 3D da tampa superior do teclado, mostrando os recortes onde os botões irão se mover para cima e para baixo. Fonte: a autora, 2025.

Figura 33 - Botões do teclado



Descrição da imagem: Modelagem 3D da peça superior com seis botões táteis em relevo, organizados na disposição funcional do teclado. Fonte: a autora, 2025.

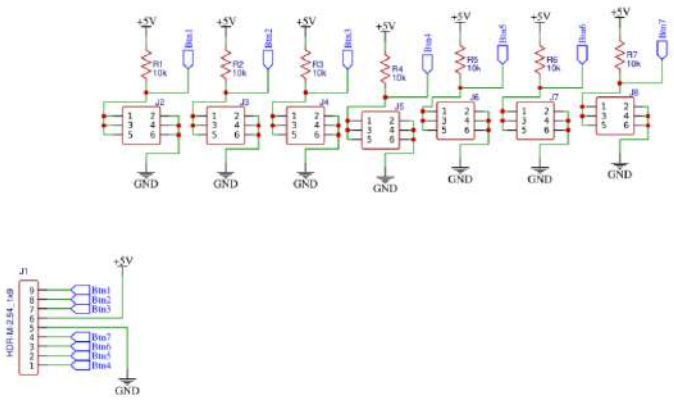
5.1.2.3 Desenvolvimento da Placa de Circuito do Teclado

O funcionamento do teclado exigiu o desenvolvimento de uma placa de circuito impresso (PCB) com furos e trilhas projetados especificamente para o posicionamento real dos botões. No teclado do Ponto Vivo, as teclas possuem uma leve inclinação e um espaçamento que não seguem a malha regular das placas perfuradas disponíveis comercialmente, cujos furos são distribuídos em grid fixo e simétrico. Como os pinos dos botões não coincidiam com essa malha, não era possível fixá-los de forma estável nem organizar adequadamente as conexões elétricas apenas com placas perfuradas comuns. Por esse motivo, optou-se pela usinagem de uma PCB personalizada, cuja geometria reproduz fielmente a disposição inclinada dos botões e permite traçar trilhas elétricas precisas para o funcionamento adequado do teclado.

Modelagem da placa no EasyEDA

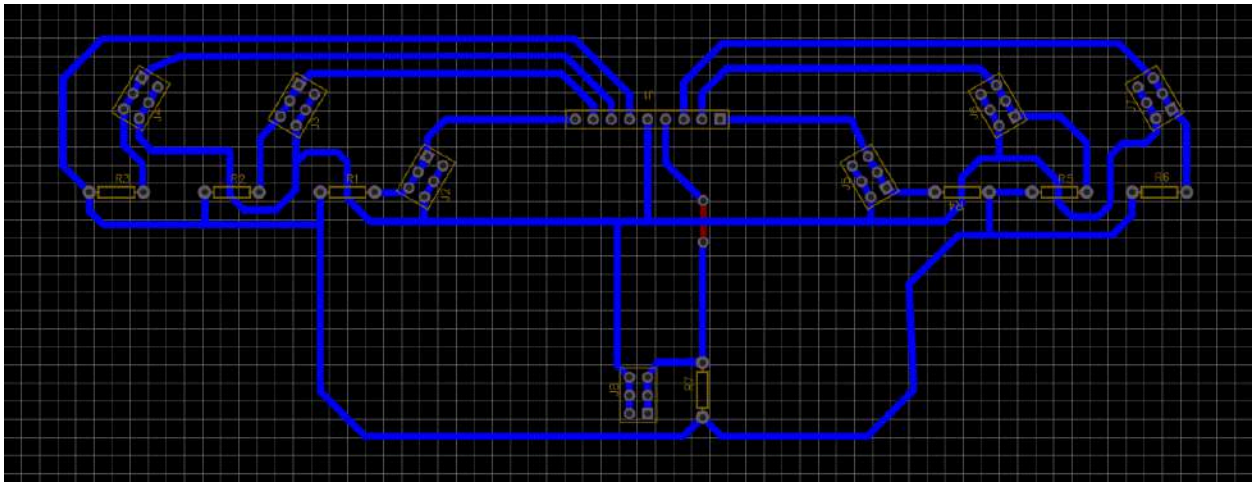
A placa foi projetada no software EasyEDA, uma plataforma online, gratuita e considerada intuitiva para o desenvolvimento de circuitos eletrônicos. Apesar da interface acessível, seu uso requer conhecimentos específicos sobre organização de componentes, definição de trilhas e parâmetros técnicos de uma PCB, competências que precisaram ser aprendidas ao longo do processo de desenvolvimento. No EasyEDA foram estruturados os sete botões táteis (*switches*), os resistores correspondentes, as trilhas elétricas e a pinagem necessária para a conexão com o Arduino (figuras 34 e 35).

Figura 34 - Esquemático no EasyEDA



Descrição da imagem: A imagem mostra o diagrama esquemático de um circuito criado no EasyEDA. Nele aparecem resistores, conectores e botões organizados em série, todos ligados ao barramento de alimentação (+5V) e ao terra (GND). Na parte inferior, há um conector agrupando os sinais dos botões, indicando como eles serão enviados para o microcontrolador. Fonte: a autora, 2025.

Figura 35 - Layout da Placa de Circuito no EasyEDA



Descrição da imagem: A imagem exibe o layout da placa de circuito impresso (PCB) no EasyEDA. As trilhas em azul conectam componentes posicionados na placa, como resistores e conectores, seguindo o desenho do esquemático. A interface do software mostra diferentes camadas e ferramentas utilizadas para roteamento. Fonte: a autora, 2025.

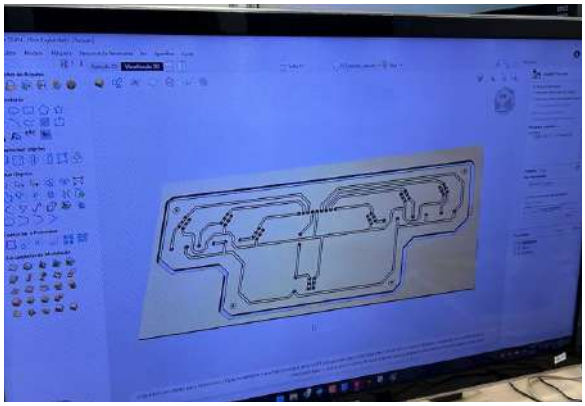
O desenho acompanhou exatamente o layout do teclado, garantindo que cada botão ficasse alinhado ao furo da tampa superior.

Usinagem da PCB

Após finalizado o layout do circuito, o arquivo foi exportado para o Aspire (figura 36), software usado para preparar o modelo para o processo de fabricação por meio de usinagem em CNC em uma placa composta por fenolite com laminação de cobre

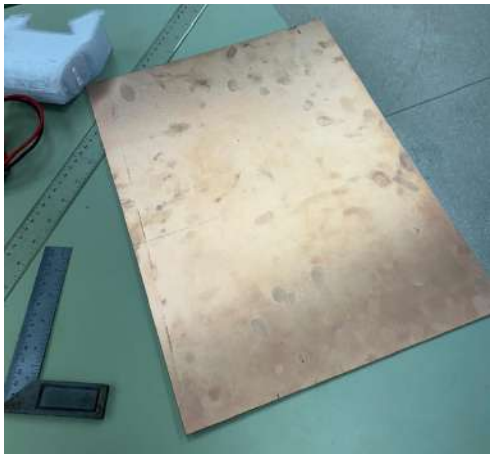
(conhecida como placa virgem), padrão utilizado em prototipagem eletrônica (figura 37).

Figura 36 - Modelo no Aspire



Descrição da imagem: A foto mostra um monitor exibindo o software Aspire com o desenho final da placa de circuito impresso do teclado, já preparada para a etapa de usinagem. Fonte: a autora, 2025.

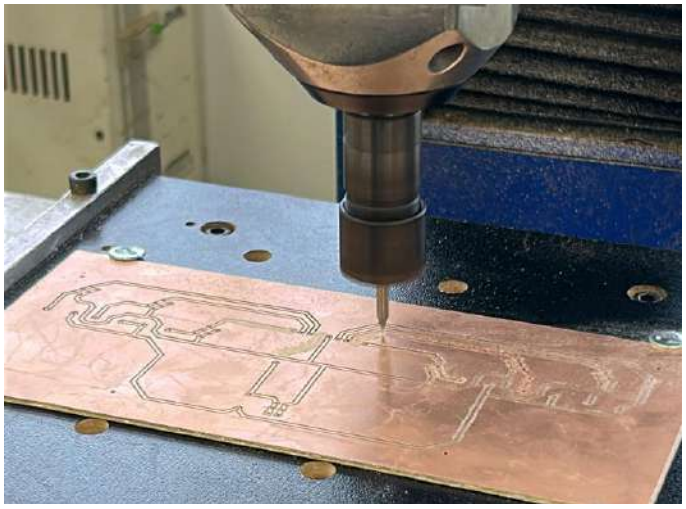
Figura 37 - Placa Virgem para Usinagem



Descrição da imagem: A imagem mostra uma placa de cobre virgem, utilizada como base para a usinagem da placa de circuito impresso (PCB). Ela está apoiada sobre uma mesa de trabalho, ao lado de réguas e ferramentas de medição. Fonte: a autora, 2025.

A usinagem foi realizada no Laboratório de Prototipagem do curso de Design na Universidade de Brasília, utilizando uma CNC de bancada, responsável por remover o cobre nas regiões não condutoras e criar as trilhas, os pads de solda e os furos para componentes e para fixação na base dos componentes do teclado (figura 38).

Figura 38 - Usinagem da Placa de Circuito Impresso



Descrição da imagem: A imagem mostra uma máquina CNC usinando uma placa de cobre, gravando as trilhas do circuito impresso (PCB). A fresa está em contato direto com a superfície da placa, removendo o material para formar o desenho do circuito. Fonte: a autora, 2025.

Montagem dos Componentes do Teclado e Integração com a Célula Braille

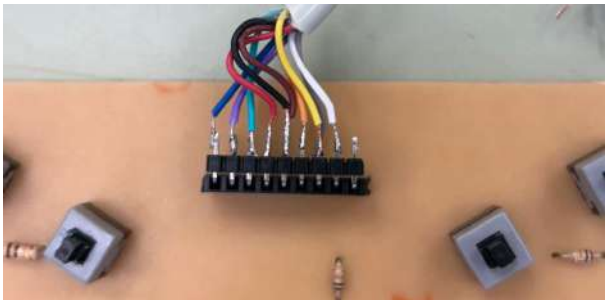
Com a placa usinada, iniciou-se o processo de montagem eletrônica, onde foram soldados os sete botões táteis (figura 39), os resistores, o conector de 10 pinos (figura 40), responsável por enviar os sinais para o Arduino Mega, e o cabo de ligação com a célula braille.

Figura 39 - Inserção dos Botões na PCB



Descrição da imagem: A imagem apresenta a placa de circuito impresso recém-usinada, ainda sem fiação, mas com todos os botões táteis soldados nas posições previstas pelo layout do teclado. Fonte: a autora, 2025.

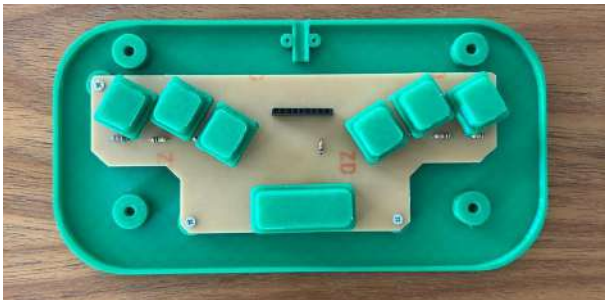
Figura 40 - Conector dos Pinos no Teclado



Descrição da imagem: A foto exibe o conector de fios soldado na placa do teclado, reunindo os cabos coloridos que farão a interface entre o circuito e o microcontrolador do dispositivo. Fonte: a autora, 2025.

Após a soldagem dos componentes, a placa foi fixada na base verde do teclado, e os botões receberam suas capas impressas em 3D, também em filamento verde (figura 41).

Figura 41 - Tampas de Teclado Conectadas no Teclado



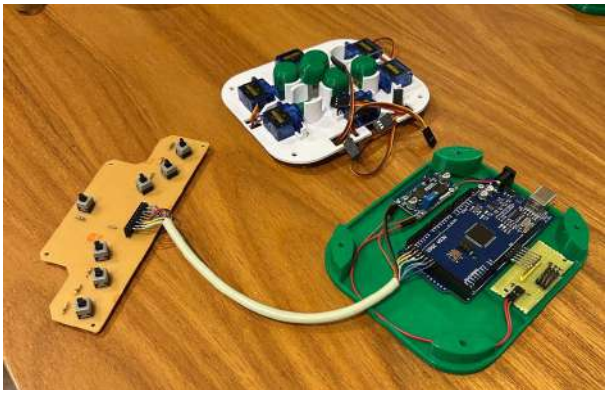
Descrição da imagem: A imagem mostra a placa de circuito impresso do teclado já instalada na base verde impressa em 3D, com os sete botões táteis montados e posicionados conforme o projeto. Fonte: a autora, 2025.

5.1.2.4 Montagem Final do Teclado

A versão final do teclado integra os aspectos ergonômicos, eletrônicos e visuais definidos ao longo do processo de desenvolvimento. Diferentemente das primeiras versões, que tinham caráter experimental e serviram principalmente para testar dimensões, distâncias entre botões e a disposição inspirada no layout do Braille Sense e da máquina de escrever Braille Perkins, a versão final materializa um componente

Nesta etapa, o teclado passou a operar de forma integrada ao módulo da célula braille, funcionando em conjunto com o Arduino Mega e com os motores responsáveis pelo acionamento dos pontos (Figura 42).

Figura 42 - Conexões da Célula Braille e Teclado



Descrição da imagem: A imagem mostra a placa de circuito impresso do teclado já instalada na base verde impressa em 3D, com os sete botões táteis montados e posicionados conforme o projeto. Fonte: a autora, 2025.

A placa de circuito foi fixada na base do teclado, recebendo os sete botões em suas posições definitivas e permitindo uma conexão direta e organizada com o dispositivo principal por meio de um cabo guiado internamente.

O invólucro final do teclado foi impresso em 3D em duas partes: a base verde e a tampa branca. Os botões receberam capas em verde para reforçar o contraste e facilitar a identificação por pessoas com baixa visão. A configuração inclinada dos botões, 3-2-1 à esquerda, 4-5-6 à direita e o botão central inferior para baixar todos os pontos, aparece já consolidada nesta versão final (Figura 43). O conjunto foi desenvolvido para garantir precisão de uso, coerência estética e integração eficiente com o dispositivo Ponto Vivo.

Figura 43 - Teclado Montado



Descrição da imagem: A imagem mostra o conjunto físico do dispositivo Ponto Vivo já montado: a unidade principal, responsável pela geração dos pontos da célula braille com servomotores, e o teclado auxiliar com os botões de entrada. Ambos estão conectados por um cabo central. As peças apresentam acabamento branco com detalhes e botões em verde. Fonte: a autora, 2025.

5.2 Identidade Visual

A identidade visual do projeto Ponto Vivo foi desenvolvida de forma a refletir tanto o caráter funcional do produto quanto seus valores simbólicos de acessibilidade, interação e movimento. O nome, as cores e o logotipo foram concebidos com base em princípios de design inclusivo, priorizando legibilidade, contraste visual e associação direta ao propósito do dispositivo.

5.2.1 Nome

O nome Ponto Vivo surgiu da relação direta com o sistema braille, cuja estrutura é composta por pontos em relevo. O termo “vivo” representa a característica interativa e dinâmica do dispositivo: os pontos se movimentam automaticamente, subindo e descendo conforme os comandos do usuário, criando a sensação de que estão “vivos”, movimentando-se.

5.2.2. Paleta de Cores

Um dos requisitos mais importantes para a decisão da paleta de cores da identidade visual do projeto foi a questão do contraste. Apesar da paleta de cores não ser necessariamente relevante para pessoas com cegueira total, ela pode auxiliar as pessoas com baixa visão a identificar onde está a informação, onde estão os pontos ou onde estão os botões. Dessa forma, foram escolhidas como cores principais o branco e o verde escuro.

A definição do verde como a cor a ser utilizada em contraste com o branco veio de um lugar simbólico: ela faz referência ao Setembro Verde (CBPF, 2024), campanha nacional de conscientização sobre a inclusão de pessoas com deficiência, e também à bengala verde e branca, que tem seu uso atribuído a pessoas com baixa visão.

5.2.3. Logotipo

O logotipo do Ponto Vivo foi projetado para garantir clareza, simplicidade e reconhecimento tátil.
A palavra “PONTO VIVO” é apresentada em Arial Bold, tipografia sem serifa amplamente reconhecida por sua legibilidade em meios impressos e digitais, além de possuir formas simples e bem definidas para reprodução em relevo — o que facilita a identificação tátil por pessoas cegas ou com baixa visão (figura 44).

Figura 44 - Logotipo Horizontal



Descrição da imagem: Logotipo verde escrito “PONTO VIVO” na fonte arial bold, com a letra P em braille precedendo a letra P em portugues. Fonte: A autora, 2025.

O símbolo do logotipo é formado pela junção da letra “P” em braille com a letra “P” em português, compondo visualmente uma célula braille quase completa. Essa fusão reforça a ideia de diálogo entre os universos tátil e visual (figura 45).

Figura 45 - Logotipo Símbolo



Descrição da imagem: Símbolo do logotipo verde escrito “P” na fonte arial bold, com a letra P em braille precedendo a letra P em portugues. Fonte: A autora, 2025.

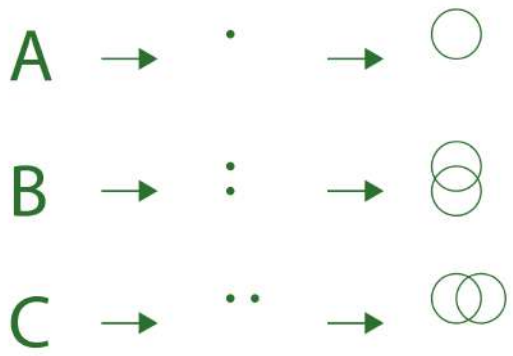
Tanto o logotipo completo quanto o símbolo foram pensados para serem de fácil reconhecimento tátil e fácil produção em relevo, como é exemplificado nas laterais do dispositivo, que possuem de um lado o logotipo completo e, do outro, o símbolo em relevo.

5.2.3. Malha Gráfica

Tendo em mente que a identidade visual do produto deveria ser funcional, adequada e interessante para pessoas com deficiência visual, mas que também deveria capturar a atenção de pessoas que enxergam, a depender da aplicação dessa identidade, foram criadas ilustrações e uma malha gráfica.

A malha gráfica criada foi inspirada nos pontos braille. Expandindo esses pontos em círculos, de forma que seus contornos se sobrepusessem, foram criados símbolos correspondentes a cada letra do alfabeto braille (Figura 46).

Figura 46 - Concepção do Símbolo da Malha



Descrição da imagem: A imagem apresenta três linhas com as letras A, B e C à esquerda, seguidas por setas que apontam para suas representações em braille e, posteriormente, para formas circulares sobrepostas. Cada linha mostra a correspondência entre a letra, os pontos braille e o símbolo gráfico gerado a partir da sobreposição dos contornos desses pontos. Fonte: A autora, 2025.

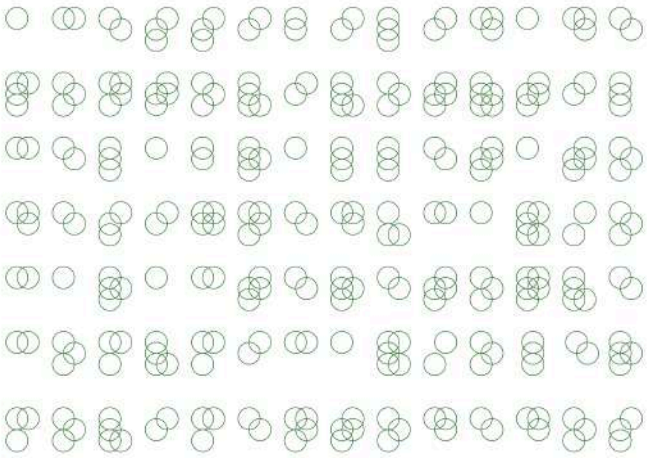
A partir dessa coleção de símbolos, foi gerada uma malha gráfica. Para a composição da malha, foram geradas palavras que conversam com a natureza do projeto. As palavras foram: acessibilidade, inclusão, ponto vivo, cela braille, alfabetização, tato, design, movimento, comunicação, educação, toque, tátil, caractere, ler e dedos (figura 47). Dessa forma, foi feita a malha gráfica da identidade visual (figura 48).

Figura 47 - Palavras da Malha Gráfica



Descrição da imagem: A imagem apresenta quinze linhas com as palavras definidas à esquerda, seguidas por suas representações nos símbolos criados para o projeto. Fonte: A autora, 2025.

Figura 48 - Malha Gráfica

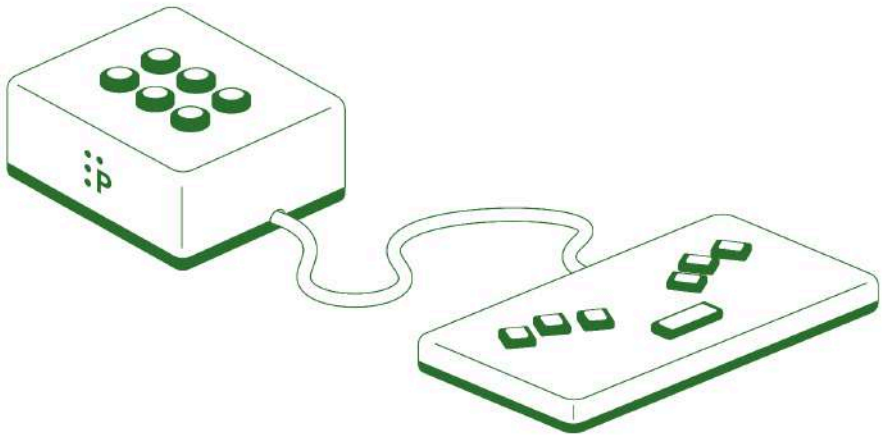


Descrição da imagem: A imagem apresenta uma malha gráfica formada pelos símbolos circulares inspirados nas palavras definidas. Fonte: A autora, 2025.

5.2.3. Ilustrações

Foram desenvolvidas duas ilustrações do dispositivo Ponto Vivo para compor a identidade visual do projeto e suas peças gráficas (figuras 49 e 50).

Figura 49 - Ilustração 1



Descrição da imagem: Desenho em linhas verdes do dispositivo Ponto Vivo em uma perspectiva isométrica. Fonte: A autora, 2025.

Figura 50 - Ilustração 2



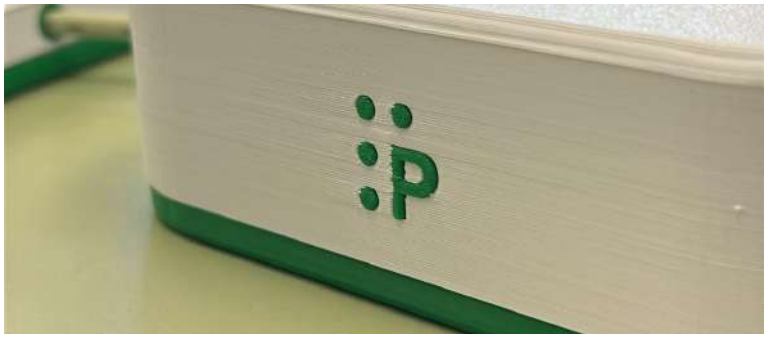
Descrição da imagem: Desenho em linhas verdes do dispositivo Ponto Vivo em uma perspectiva superior com mãos em verde manuseando o dispositivo. Fonte: A autora, 2025.

5.2.4 Aplicação da Identidade Visual

Em todas as aplicações, seja na interface do aplicativo, no corpo do dispositivo físico, em sua embalagem, ou em outros materiais de apoio, a identidade visual do projeto se mantém de forma a reafirmar a identidade do produto.

No dispositivo físico, o logotipo e seu símbolo se apresentam em relevo nas laterais da célula braille (figura 51).

Figura 51 - Logotipo em Relevo



Descrição da imagem: Fotografia mostra uma das laterais do protótipo físico, com o logotipo do projeto aplicado em relevo na cor verde sobre a superfície branca impressa em 3D. Fonte: A autora, 2025.

A embalagem do produto foi produzida em papel paraná revestida com um papel verde

escuro e suas informações foram impressas em adesivos em relevo DTF UV, que promovem a leitura da embalagem tanto por pessoas que enxergam, quanto por pessoas com deficiência visual (figura 52).

Figura 52 - Simulação da Embalagem



Descrição da imagem: Mockup mostra uma caixa verde com o logotipo do projeto Ponto Vivo aplicado na tampa e nas laterais, incluindo escrita em braille em relevo. Fonte: A autora, 2025.

Também foram realizadas simulações da aplicação da identidade visual em materiais gráficos de divulgação, como banners (figura 53) e propagandas de televisão (figura 54).

Figura 53 - Simulação de Banner na Cidade



Descrição da imagem: A imagem mostra um grande banner instalado na fachada de um prédio em uma área urbana. O banner apresenta ilustrações do dispositivo Ponto Vivo e mãos interagindo com ele, acompanhado do logotipo e do slogan “seu aliado na alfabetização”. O fundo tem elementos gráficos inspirados na malha gráfica do projeto. Fonte: A autora, 2025.

Figura 54 - Simulação de Propaganda de Televisão



Descrição da imagem: A imagem mostra uma sala de estar moderna com uma grande TV exibindo um anúncio do Ponto Vivo. Na tela, aparecem o logotipo do projeto, o texto “aprender braille de forma fácil e interativa” e uma foto de mãos utilizando o dispositivo físico. Fonte: A autora, 2025.

5.3 Interface Digital - Aplicativo Ponto Vivo

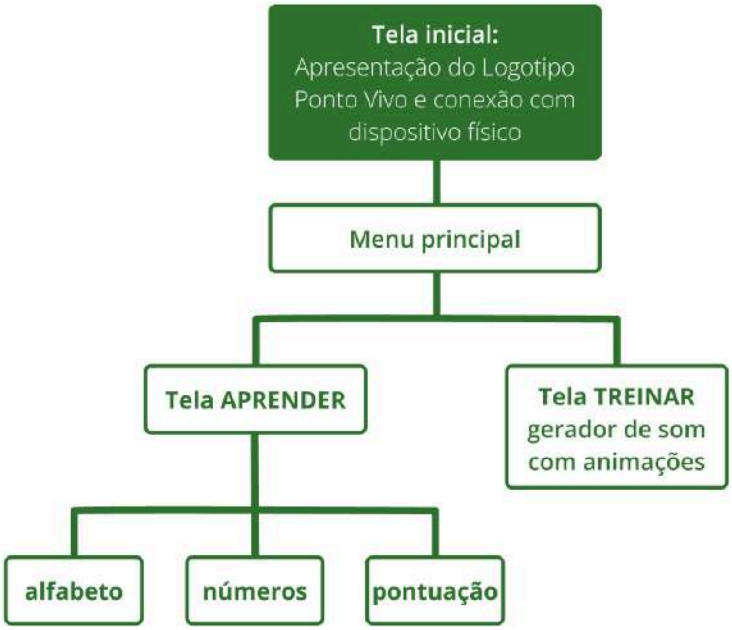
A interface digital do aplicativo Ponto Vivo foi concebida como uma extensão digital do dispositivo físico, com o objetivo de ampliar as possibilidades de ensino, facilitar a mediação do professor e permitir que os exercícios realizados na célula braille pudessem ser guiados por uma interface clara, acessível e intuitiva.

O desenvolvimento da interface digital acompanhou o processo de criação do protótipo físico e foi organizado em duas etapas. A primeira consistiu na elaboração de uma versão funcional em Python, linguagem de programação que permite construir interfaces simples e testar a comunicação entre software e hardware de forma direta. A segunda etapa corresponde a uma versão conceitual desenvolvida no Figma, ferramenta online utilizada para projetar interfaces digitais e simular fluxos de interação, empregada aqui para representar o funcionamento ideal futuro do aplicativo.

Ambas as fases seguiram a mesma arquitetura de informação (figura 55), que visa apresentar dois principais módulos: Aprender e Treinar. O módulo Aprender busca possibilitar ao aluno e professor a seleção de algum caractere, que levantaria automaticamente os pontos do dispositivo físico, uma vez que ele estivesse conectado ao aplicativo. Já o módulo Aprender visa trazer alguma dinâmica lúdica e interativa que

estimule o aluno a colocar em prática seus aprendizados.

Figura 55 - Arquitetura da Informação



Descrição da imagem: Diagrama mostra o fluxo do aplicativo, partindo da tela inicial para o menu principal e, em seguida, para as telas “Aprender” e “Treinar”, com subdivisões em alfabeto, números e pontuação.. Fonte: A autora, 2025.

5.3.1 Desenvolvimento inicial em Python

Com o objetivo de testar o funcionamento da interface durante o desenvolvimento do projeto, foi criada uma primeira versão do aplicativo em Python, utilizada apenas para simular as interações básicas do sistema. Essa versão permitia navegar entre telas, visualizar os módulos “Aprender” e “Treinar” e registrar ações simples do usuário. Também foi configurada para se comunicar com o protótipo físico, possibilitando verificar, de maneira inicial, se os comandos enviados pela interface correspondiam aos movimentos esperados na célula braille.

Todas as telas foram implementadas com sucesso, incluindo menus, botões, animações simples e a lógica de cada modo de navegação. Apesar disso, devido às limitações técnicas e ao tempo disponível, a integração entre o Python e o Arduino não

pôde ser concluída nesta etapa.

Mesmo com essas restrições, essa primeira versão foi essencial para validar a estrutura geral da interface, testar a navegabilidade e avaliar a clareza das interações propostas. Além disso, permitiu compreender de forma mais concreta quais aspectos da comunicação entre *software* e *hardware* precisariam ser aprofundados em versões futuras do sistema, orientando decisões posteriores sobre viabilidade técnica e caminhos possíveis para a integração completa com o dispositivo.

5.3.2 Ideação do Protótipo Projetado no Figma

Para representar o funcionamento ideal do aplicativo, tal como seria implementado em um cenário real e ideal de uso, foi desenvolvido um protótipo navegável no Figma, planejado como um aplicativo móvel capaz de se conectar ao dispositivo Ponto Vivo via Bluetooth.

O fluxo do aplicativo inicia com uma tela introdutória, orientando o usuário a ativar o Bluetooth do dispositivo físico. Em termos conceituais, esse pareamento ocorreria por meio de um botão triangular posicionado no próprio dispositivo, responsável por iniciar a conexão (figura 56).

Figura 56 - Telas iniciais

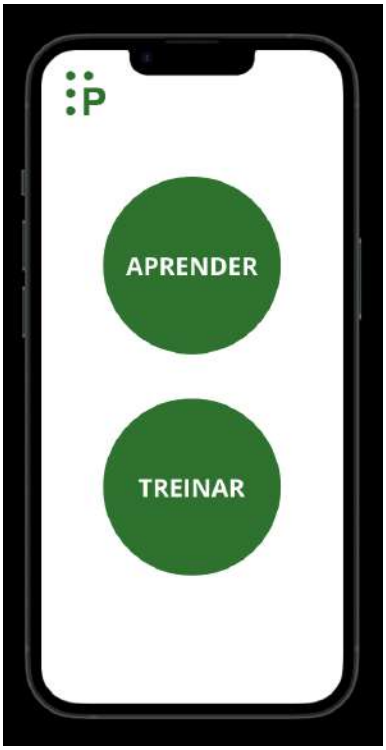


Descrição da imagem: A imagem apresenta três telas do aplicativo Ponto Vivo. A primeira mostra a tela inicial com o logotipo e o botão “conectar minha cela braille”. A segunda orienta o usuário a apertar o botão em formato de triângulo na célula braille para conectar. A terceira confirma a conexão com a

mensagem “Cela braille conectada!”. Fonte: A autora, 2025.

Uma vez conectado, o aplicativo apresenta a tela de menu (figura 57), composta por dois botões principais: Aprender e Treinar.

Figura 57 - Tela de Menu



Descrição da imagem: A imagem apresenta uma tela do aplicativo Ponto Vivo. A tela possui dois botões em verde, “Aprender”, acima, e “Treinar”, abaixo. Fonte: A autora, 2025.

5.3.3. Módulo “Aprender”

No módulo Aprender (figura 58), o usuário pode escolher entre três categorias: Alfabeto, Números e Pontuação.

Figura 58 - Tela Aprender



Descrição da imagem: A imagem apresenta uma tela do aplicativo Ponto Vivo. A tela tem três botões em verde, “alfabeto”, “números” e “pontuação”. Há um botão triângular na parte inferior esquerda da tela com a indicação de voltar para a tela anterior. Fonte: A autora, 2025.

Ao selecionar uma das categorias, o aplicativo exibe uma grade de caracteres em formato de botões grandes, com alto contraste, acompanhados das respectivas letras ou símbolos (figura 59). Ao tocar em qualquer caractere, o aplicativo enviaria o comando ao dispositivo físico para levantar automaticamente os pontos correspondentes na célula braille ampliada.

Figura 59 - Telas: Alfabeto, Números e Pontuação



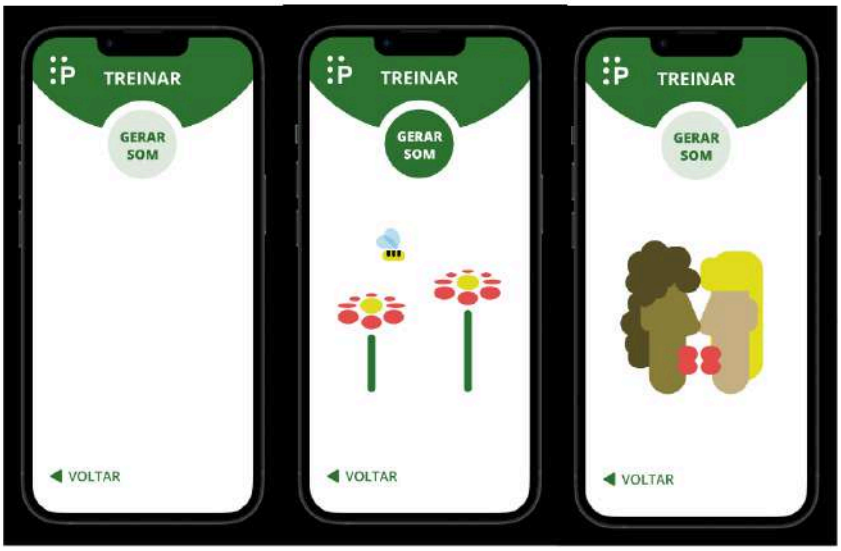
Descrição da imagem: A imagem apresenta três telas do aplicativo na seção “Aprender”. A primeira lista as letras do alfabeto, a segunda mostra os números e a terceira exibe sinais de pontuação, todos organizados em botões circulares. Fonte: A autora, 2025.

Esse processo é pensado para que o aluno reconheça a configuração tátil de cada caractere, associando visualmente o símbolo ao padrão braille correspondente, possibilitando a repetição do estudo de forma simples e progressiva.

5.3.4. Módulo “Treinar”

O módulo Treinar foi desenvolvido para estimular a autonomia do aluno e consolidar o reconhecimento de caracteres braille por meio da associação entre som, objeto, letra e tato. A tela apresenta o botão “Gerar som”, que, ao ser acionado, reproduz sons aleatórios, como barulho de abelha, beijo, ondas, entre outros, acompanhados de pequenas animações (figura 60).

Figura 60 - Tela Treinar



Descrição da imagem: A imagem apresenta três telas da seção “Treinar” do aplicativo. A primeira exibe apenas o botão “Gerar som”. A segunda mostra uma animação com flores e uma abelha, e a terceira apresenta uma ilustração de duas pessoas, todas ativadas após o comando de gerar som. Fonte: A autora, 2025.

Com base nesse estímulo, o aluno deve identificar qual letra corresponde ao som (por exemplo, “onda” → letra O) e reproduzir a configuração correta diretamente no dispositivo físico. O aplicativo poderia futuramente oferecer feedback de acerto ou erro, embora essa função tenha sido mantida para avaliação do professor, privilegiando a interação presencial.

Esse módulo reforça a aprendizagem ativa, a repetição e a construção de significado por meio de experiências sensoriais, aspectos essenciais na alfabetização braille.

5.3.5. Interface e Identidade Visual

O aplicativo foi projetado seguindo a identidade visual do Ponto Vivo, utilizando a combinação de verde-escuro e branco, que oferece alto contraste e favorece a percepção de pessoas com baixa visão. Os elementos gráficos foram reduzidos ao essencial, priorizando:

- Botões grandes;
- Texto de alta legibilidade;
- Poucos elementos na tela;

- Navegação direta;
- Ausência de informações secundárias desnecessárias.

Embora o aplicativo apresente elementos visuais e pequenas animações que podem enriquecer a experiência de usuários que enxergam ou têm baixa visão, ele também foi pensado para ser plenamente utilizável por pessoas cegas. Em dispositivos móveis, recursos nativos de acessibilidade, como o *TalkBack*, no Android, e o *VoiceOver*, no iOS, permitem que todos os elementos da tela sejam lidos em voz alta, incluindo botões, textos, labels e orientações. Esses leitores de tela possibilitam navegação por gestos, identificação dos comandos disponíveis e seleção segura de cada função, garantindo que tanto alunos quanto educadores cegos possam utilizar o aplicativo de forma autônoma. Assim, mesmo em etapas que incluem estímulos visuais, como pequenas animações do módulo “Treinar”, o funcionamento do aplicativo não depende da visão, pois toda a interação pode ser guiada por leitura sonora e feedback táctil do próprio dispositivo móvel.

Estabelecida a estrutura da interface digital e consolidado o funcionamento do protótipo físico, o capítulo seguinte apresenta o método de ensino elaborado para orientar a aplicação do Ponto Vivo em contextos pedagógicos.

5.4 Método de Ensino

A partir do funcionamento integrado entre o dispositivo físico e a interface digital, apresenta-se um método de ensino que estrutura o uso pedagógico do Ponto Vivo para a introdução ao sistema Braille.

O método de ensino proposto nesse projeto fundamenta-se em princípios do design inclusivo e da aprendizagem multissensorial, articulando abordagens clássicas da educação, como o Construtivismo e o Sociointeracionismo, às práticas contemporâneas de ensino voltadas à alfabetização em braille.

Assim, o método de ensino do Ponto Vivo organiza-se em torno de três eixos principais:

1. **Experiência sensorial tátil e motora**, possibilitando a compreensão concreta da célula braille ampliada;
2. **Interação social mediada**, com atividades colaborativas conduzidas pelo educador;
3. **Repetição estruturada**, garantindo prática progressiva e memorização dos

pontos e caracteres.

Trata-se de uma proposta acessível, introdutória e flexível, capaz de dialogar com diferentes idades e níveis de experiência, sem pretensão de substituir práticas pedagógicas formais, mas de complementar e enriquecer o processo inicial de contato com o braille.

Público-foco

O Ponto Vivo foi projetado para atender pessoas cegas e com baixa visão em processo de alfabetização tátil, independentemente da faixa etária. Embora tenha sido concebido com foco em jovens e adolescentes, o dispositivo e seu método podem ser aplicados também no processo de reabilitação de adultos, que perderam a visão em fases posteriores da vida.

Essa abrangência etária reforça o caráter inclusivo e adaptável da proposta, permitindo que o mesmo recurso possa ser utilizado tanto em contextos escolares, por professores especializados em educação para pessoas cegas, quanto em espaços não formais de aprendizagem, como bibliotecas acessíveis, centros de reabilitação e ambientes domésticos.

Objetivo pedagógico

O método de ensino proposto para o uso do Ponto Vivo, possui os seguintes objetivos pedagógicos:

1. Desenvolver a percepção tátil e a memória espacial, essenciais para a leitura e escrita braille;
2. Associar estímulos auditivos e táteis a letras, números e sinais de pontuação;
3. Introduzir a lógica da digitação braille por meio de um teclado com disposição semelhante à máquina de escrever em braille (Perkins) e ao dispositivo Braille Sense;
4. Estimular o aprendizado autônomo e lúdico, favorecendo a curiosidade e a experimentação;
5. Promover a interação entre alunos e aluno-professor, fortalecendo o papel da mediação social no processo de aprendizagem.

Estrutura de atividades

Com base nesses fundamentos, o método se organiza em quatro blocos de atividades, adaptadas em duplas ou em pequenos grupos.

BLOCO A

Exploração tátil motora / Reconhecimento da célula e mapeamento dos pontos

Os alunos manipulam livremente o dispositivo, identificando os seis pontos da célula ampliada e pressionando os botões correspondentes no teclado. Essa atividade não visa o reconhecimento dos caracteres, mas fazer um mapeamento de como é formada a célula braille e identificar a numeração dos pontos (pontos 1, 2, 3, 4, 5 e 6). Além disso, os alunos também se familiarizam com o funcionamento do dispositivo e começam a identificar qual botão aciona qual ponto.

BLOCO B

Associação botão-ponto / Introdução à máquina de escrever braille Perkins

O professor, ou outro aluno, joga os dados, que dá comandos de quais pontos devem ser levantados (ex.: pontos 1 e 4). Os alunos, organizados em duplas ou grupos, devem, em conjunto, conseguir levantar os pontos corretos. Essa atividade consiste em repetição, visando desenvolver uma memória da numeração dos pontos e da disposição dos botões em relação a eles, sendo já introduzidos a disposição dos botões da máquina de escrever braille Perkins.

BLOCO C

Introdução aos caracteres

O dispositivo é conectado ao aplicativo e, utilizando-o no modo “Aprender”, o professor aciona uma letra, que pode ser escolhida por algum aluno, que provoca o levantamento automático dos pontos corretos na célula. Aqui, a interação social e o engajamento são estimulados. A repetição sistemática facilita a internalização dos padrões. Algumas letras podem ser apresentadas e, em seguida, os alunos podem ser estimulados a repetí-las, controlando o dispositivo sozinhos.

BLOCO D

Relação som-letra-botão

No modo “Treinar”, o aplicativo gera sons aleatórios que os alunos devem interpretar e relacionar a alguma letra (ex.: barulho de zumbido; abelha; letra A). Os alunos podem discutir a interpretação do som e chegar em consenso de qual deve ser a letra a ser

criada. Em trios, os papéis alternam: um gera o som, um interpreta e define a letra, um aperta os botões gerando o caractere e todos verificam se está correta. Essa fase assume o caráter de atividade alegre e social, fortalecendo o engajamento e o senso de progresso.

Relação com os cinco princípios lúdicos

1. **Atividade significativa** – Cada tarefa tem propósito claro: conhecer a célula, mapear os pontos, associar símbolo-letra-som, digitar e verificar.
2. **Engajamento** – A dinâmica de jogo, alternância de papéis e desafio entre pares mantêm o foco e a motivação.
3. **Interação social** – Ao trabalhar em grupos, a aprendizagem se dá pela colaboração, correção mútua e regulação dos pares.
4. **Repetição** – A repetição dentro de cada atividade e a alternância entre modos “Aprender” e “Treinar”, com o dispositivo e o teclado, promove a fixação do conteúdo.
5. **Alegria** – A ludicidade está presente nos desafios, na sinestesia, nos papéis, nas trocas entre participantes, alinhada à referência da LEGO Braille Bricks como modelo de design pedagógico que valoriza o prazer em aprender (LEGO, 2023).

Papel do Professor e dos Alunos

O professor atua como mediador e facilitador do processo, criando situações de aprendizagem que estimulem a curiosidade e a colaboração. Sua função é guiar o aluno nas descobertas táteis, propor desafios progressivos e avaliar o desenvolvimento a partir da observação e do diálogo.

O aluno, por sua vez, é o protagonista da aprendizagem: manipula, experimenta, erra e acerta, construindo ativamente o conhecimento sobre o sistema braille. Essa abordagem busca estimular a autonomia e o engajamento, transformando o aprendizado em um processo de descoberta.

6. Resultados

Este capítulo apresenta os resultados alcançados com o desenvolvimento do Ponto Vivo, consolidando o percurso realizado ao longo da pesquisa e reunindo o produto final com os principais processos que possibilitaram sua construção. São descritos o protótipo do dispositivo, composto pela célula braille mecanizada e pelo teclado, o protótipo do aplicativo e a proposta do método de ensino elaborado para orientar seu uso pedagógico. Em seguida, detalham-se os processos de fabricação, os softwares empregados, os materiais e componentes utilizados, além de uma estimativa de custos baseada nos itens adquiridos durante a prototipagem. Também se discute o valor aproximado do dispositivo e sua relação com a acessibilidade, considerando tanto os custos reduzidos obtidos nesta etapa quanto o potencial de diminuição em uma eventual produção em escala. Por fim, o capítulo retoma os objetivos iniciais da pesquisa, apresenta limites e contribuições do trabalho e indica caminhos para desdobramentos futuros, incluindo a validação em ambiente controlado com pessoas cegas, pessoas com baixa visão e educadores especializados, encerrando assim o percurso projetual e reflexivo desenvolvido ao longo do estudo.

6.1 Dispositivo Ponto Vivo

Ao final do projeto, todos os elementos projetados, mecânicos, eletrônicos, gráficos e de interface, foram reunidos e operam de forma integrada. A célula braille possui seis pontos acionados individualmente por servomotores acoplados ao sistema de biela-manivela, garantindo movimento estável e linear. O teclado, conectado a ela, permite selecionar os pontos para subí-los ou baixá-los simultaneamente, estabelecendo uma interação direta e compreensível para o aluno.

A forma final do dispositivo pode ser observada em diferentes vistas, incluindo uma visão superior, uma perspectiva ortográfica e registros do manuseio do equipamento (figuras 61, 62 e 63 respectivamente). Também foi incluída uma imagem de detalhe mostrando o recorte lateral da célula responsável pela saída do cabo da fonte de energia e pelo cabo de comunicação do Arduino (Figura 64).

Figura 61 - Protótipo Ponto Vivo Vista Diagonal



Descrição da imagem: Imagem do conjunto completo do Ponto Vivo apoiado em uma superfície clara: a unidade principal com a célula braille mecanizada e o teclado conectado por cabo, ambos nas cores branca e verde. Fonte: A autora, 2025.

Figura 62 - Protótipo Ponto Vivo Vista Superior



Descrição da imagem: Vista superior do dispositivo Ponto Vivo mostrando a célula braille (seis pontos verdes) conectada ao teclado com sete teclas. Um pequeno dado aparece ao lado. Fonte: A autora,

2025.

Figura 63 - Protótipo Ponto Vivo sendo Manuseado



Descrição da imagem:A imagem mostra uma pessoa utilizando o conjunto Ponto Vivo: a unidade principal com seis pontos verdes em relevo e o teclado auxiliar conectado. As mãos estão posicionadas sobre ambos os módulos, demonstrando o uso simultâneo para leitura e digitação em braille. Fonte: A autora, 2025.

Figura 64 - Saídas de Cabos do Protótipo



Descrição da imagem: Close na lateral da unidade principal do Ponto Vivo, destacando a porta USB-B utilizada para alimentação e comunicação, além do acabamento das peças impressas em 3D nas cores branca e verde. Fonte: A autora, 2025.

6.2 Aplicativo e Método de Ensino

O aplicativo complementar oferece atividades e sequências didáticas compatíveis com o método proposto. O método, por sua vez, articula princípios de aprendizagem ativa, mediação social e exploração sensorial, alinhando-se às necessidades pedagógicas da alfabetização em braille.

6.3 Processos de Fabricação e Softwares Utilizados

A construção do protótipo final envolveu uma variedade de técnicas e ferramentas:

- **Modelagem 3D no Fusion 360**, onde foram projetadas todas as partes mecânicas e formais do dispositivo.
- **Impressão 3D** (PLA), utilizada para caixas, tampas, botões, pontos braille, mecanismos internos e suportes.
- **Desenvolvimento da placa no EasyEDA**, para definição dos circuitos, trilhas, posicionamento dos botões e componentes eletrônicos.
- **Aspire**, utilizado para gerar os caminhos de usinagem da placa.
- **Usinagem CNC**, empregada na produção da placa de circuito do teclado.
- **Ferramentas de bancada** (solda, parafusos, conectores, prototipagem manual), utilizadas na montagem final.
- **Adobe Illustrator e Adobe Photoshop**, utilizado para desenvolver todos os componentes da identidade visual e simulações de aplicações.
- **Arduino IDE**, para programação do Arduino Mega e controle dos movimentos dos servomotores.
- **PyCharm**, para a programação da versão inicial da interface.

Esse conjunto de técnicas reforça o caráter profundamente interdisciplinar do projeto, articulando conhecimentos de design de produto, eletrônica embarcada, design gráfico, manufatura digital e programação. A integração dessas áreas não apenas viabilizou o desenvolvimento do dispositivo e de seu ecossistema digital, mas também demonstrou como soluções educacionais acessíveis dependem da convergência entre diferentes competências técnicas e projetuais.

6.4 Materiais utilizados

Os componentes eletrônicos utilizados no protótipo podem ser adquiridos em qualquer

loja especializada. Contudo, considerando a disponibilidade local, já que na região existem apenas duas lojas desse tipo, a Hu Infinito e a Contato, ambas na Asa Norte, Brasília, optou-se por adquirir todos os materiais nesses estabelecimentos. Essa escolha facilitou o acesso aos itens, reduziu o tempo de obtenção dos componentes e permitiu acompanhar de perto a compatibilidade entre as peças selecionadas para o desenvolvimento do Ponto Vivo.

Para estimar o custo da impressão 3D, considerou-se a quantidade de filamento utilizada e o tempo total de impressão das peças. O protótipo final consumiu 435,5 g de PLA, equivalente a R$43,55 considerando o valor de R$100,00 por quilo. O tempo total de impressão foi de aproximadamente 20 horas, e adotou-se o valor de R$4,00 por hora para contemplar o consumo de energia, o desgaste da máquina e o trabalho de preparação e operação, resultando em aproximadamente R$80,00. Assim, o custo base da impressão é de R$123,55.

Com base nesses valores, foi adotado um acréscimo de 30% para representar os custos gerais envolvidos no processo, como mão de obra, totalizando R$160,62 para a fabricação das peças impressas em 3D.

Item	Quantidade	Valor unitário (R$)	Valor total (R$)
Impressão 3D filamento PLA	15 peças (tamanhos variados)	variável	R$ 160,62
Arduino Mega 2560 com cabo USB	1	R$ 126.00	R$ 126.00
Servomotor SG90	6	R$ 20,90	R$125,40
Regulador de tensão (LM2596)	1	R$12,50	R$12,50
Botão tátil	7	R$0,40	R$2,80
Resistores	7	R$0,05	R$0,35
Capacitores cerâmicos	7	R$0,05	R$0,35
Cabo Manga sem Blindagem 10X26 (10VIAS)	1	R$ 8,29	R$ 8,29
Placa Universal Perfurada (03x07cm)	1	R$3,50	R$3,50
Placa Fenolite 20x20cm	1	R$ 32,29	R$ 32,29
Total	—	—	R$ 472,10

6.5 Discussão sobre custo e acessibilidade

O custo aproximado do protótipo do Ponto Vivo, cerca de R$ 472,00, oferece um ponto de partida importante para refletir sobre a viabilidade de soluções educacionais acessíveis baseadas em eletrônica embarcada. Ainda que esse valor seja resultado de uma fabricação unitária, com processos artesanais e etapas experimentais, ele demonstra que a base tecnológica necessária para operar uma célula braille mecanizada, acompanhada de um teclado dedicado, pode ser construída com recursos relativamente acessíveis quando considerada a possibilidade de redução de custos em uma produção em escala.

No cenário atual, existem poucos dispositivos voltados especificamente para a alfabetização tátil que integrem mecânica, eletrônica e interação digital. A maior parte das tecnologias disponíveis no mercado para pessoas cegas atua em outras etapas da trajetória educacional, como leitura, escrita avançada ou navegação digital, e não no momento inicial de aprendizagem da estrutura do braille. Como referência, equipamentos amplamente utilizados em contextos educacionais e profissionais apresentam valores significativamente mais elevados, como máquinas de escrever braille que podem chegar a cerca de R$ 10.000,00 (Ampla Visão, 2025) e dispositivos multifuncionais como o Braille Sense, que variam entre R$ 15.000,00 e R$ 30.000,00 (Mundo da Lupa, 2025). Eles não são comparáveis em funcionalidade ao Ponto Vivo, pois cumprem papéis distintos, mas ilustram o panorama de custo das tecnologias assistivas baseadas em *hardware* especializado.

Nesse contexto, o custo do protótipo fornece um parâmetro importante para compreender a complexidade técnica do Ponto Vivo, mas também evidencia que há grande potencial de redução em uma etapa de produção em escala. Processos como a padronização das peças, a compra de componentes em maior quantidade, a otimização dos mecanismos e a substituição de etapas artesanais por métodos industriais tendem a diminuir significativamente o valor final por unidade. Dessa forma, embora o protótipo reflita as condições de uma fabricação manual e experimental, o dispositivo apresenta perspectiva concreta de se tornar mais acessível quando produzido de forma seriada, ampliando seu alcance e viabilidade como recurso pedagógico.

7. Considerações Finais

Este projeto teve como objetivo geral desenvolver, com base nos princípios do design inclusivo, um artefato educacional capaz de apoiar um método de ensino voltado à alfabetização em braille, articulando materialidade, identidade visual e interface digital. Ao longo do processo, cada objetivo específico orientou as etapas de pesquisa, análise e construção do dispositivo, contribuindo para uma solução que responde às necessidades identificadas e que dialoga com práticas contemporâneas de educação e acessibilidade.

A investigação inicial sobre o processo de alfabetização em braille permitiu compreender seus desafios, as práticas existentes e as necessidades de pessoas cegas e com baixa visão. A análise de referências e produtos similares forneceu parâmetros importantes para o desenvolvimento, ajudando a estabelecer requisitos de design para o artefato e para o método de ensino associado. Esses estudos fundamentaram as decisões formais, mecânicas e pedagógicas do projeto, permitindo avançar para a fase de experimentação prática.

A construção do dispositivo envolveu a exploração de materiais e tecnologias acessíveis, como impressão 3D, usinagem CNC, eletrônica embarcada e modelagem digital, que possibilitaram a prototipagem progressiva do Ponto Vivo, sendo uma tarefa bastante desafiadora para integrar tudo isso de forma funcional. A identidade visual foi desenvolvida de modo a garantir contraste, legibilidade e coerência com o campo da tecnologia assistiva, assegurando que o artefato pudesse ser reconhecido tanto por pessoas com deficiência visual em processo de alfabetização quanto por educadores e instituições. Paralelamente, foi elaborada uma interface digital prototipada e um método de ensino que integram o uso do dispositivo e do aplicativo, sugerindo atividades e dinâmicas que valorizam a exploração tátil, a mediação docente e a aprendizagem ativa.

O dispositivo final demonstra a viabilidade técnica da proposta e sua coerência com os princípios que orientaram o projeto. Ainda que o protótipo não tenha passado por testes com usuários nesta etapa, o conjunto formado pela célula braille mecanizada, pelo teclado dedicado, pelo aplicativo e pelo método de ensino aponta para um potencial significativo de aplicação pedagógica e amplia a discussão sobre o papel do design no desenvolvimento de recursos acessíveis e replicáveis. O custo relativamente baixo dos componentes utilizados também reforça essa perspectiva, mostrando que é possível construir soluções interativas para alfabetização tátil sem depender de tecnologias de

alto valor, que costumam atender funções mais complexas e não necessariamente voltadas ao momento inicial do aprendizado.

O projeto também revela caminhos importantes para evoluções futuras. Entre eles, destacam-se a possibilidade de integrar comunicação via Bluetooth (com PC e *smartphones*), desenvolver uma versão funcional do aplicativo para dispositivos móveis, incorporar bateria ou pilhas que permitam uso autônomo sem conexão à tomada, aprimorar o código e o movimento dos mecanismos internos e expandir o método de ensino com novas atividades e níveis de complexidade. Além disso, por utilizar Arduino Mega como base, o dispositivo pode ser reprogramado para atender diferentes abordagens pedagógicas, adaptando-se facilmente a outras necessidades de sala de aula. Outro aspecto relevante para versões futuras diz respeito à estrutura física: idealmente, o teclado e a caixa da célula braille deixariam de ser conectados por um cabo fixo, passando a utilizar um sistema de encaixe ou conector destacável. Isso facilitaria o transporte, o armazenamento e o manuseio do produto, além de favorecer a manutenção e a substituição de componentes.

Reconhece-se, contudo, que a consolidação plena do Ponto Vivo depende de uma etapa fundamental que ultrapassa os limites deste trabalho: a validação em ambiente controlado com pessoas cegas e/ou com baixa visão e educadores especializados. A experimentação do dispositivo, da interface digital e do método de ensino em situações reais de aprendizagem permitirá avaliar sua usabilidade, sua clareza pedagógica e seu impacto no processo de introdução ao braille. Essa fase futura é essencial para identificar ajustes necessários, confirmar a efetividade das atividades propostas e orientar possíveis aprimoramentos, garantindo que a solução responda de maneira sensível e precisa às necessidades do público ao qual se destina.

Assim, o Ponto Vivo cumpre aquilo a que se propôs: investigar, projetar e materializar um artefato educacional inclusivo, destacando a relevância do design na construção de tecnologias assistivas sensíveis às especificidades de seus usuários. O projeto reforça a necessidade de que mais iniciativas sejam desenvolvidas nesse campo, contribuindo para ampliar o acesso, a autonomia e as oportunidades de aprendizagem de pessoas cegas e com baixa visão.

8. Referências Bibliográficas

SASSAKI, Romeu Kazumi. *Como chamar as pessoas que têm deficiência?* São Paulo, 2005.

FRANÇA, Tiago Henrique. Modelo social da deficiência: uma ferramenta sociológica para a emancipação social. *Revista Lutas Sociais*, v. 31, n. 31, 2023. Disponível em: https://www4.pucsp.br/neils/revista/vol%2031/tiago-henrique-franca.pdf. Acesso em: 24 abr. 2025.

DINIZ, Débora; MEDEIROS, Mariana; SQUINTO, Camila. O modelo social da deficiência: as disputas por sua construção e interpretação. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, Ribeirão Preto, v. 17, n. 2, p. 197-204, mar./abr. 2009. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rlae/a/yBG83q48WG6KDHmFXXsgVkR/?format=pdf&lang=pt. Acesso em: 25 abr. 2025.

GOMES, Danila. *Introdução ao design inclusivo: o que é, o que não é e o que pode ser.* Curitiba: Appris, 2018.

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). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm. Acesso em: 28 nov. 2025.

IBGE. *PNS 2019: País tem 17,3 milhões de pessoas com algum tipo de deficiência.* Agência de Notícias IBGE, 2021. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/31445-pns-2019-pais-tem-17-3-milhoes-de-pessoas-com-algum-tipo-de-deficiencia. Acesso em: 29 abr. 2025.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. *Novo dicionário da língua portuguesa.* 2. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1986. Acesso em: 29 abr. 2025.

OXFORD LANGUAGES. *Dicionário de português.* Disponível em: https://languages.oup.com/google-dictionary-pt/. Acesso em: 25 abr. 2025.

CENTER FOR UNIVERSAL DESIGN. *About universal design.* North Carolina State University, 1997. Disponível em: https://design.ncsu.edu/research/center-for-universal-design/. Acesso em: 20 maio 2025.

ABNT — ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos.* Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

PIAGET, Jean. *A formação do símbolo na criança.* Rio de Janeiro: Zahar, 1971.

VYGOTSKY, Lev. *A formação social da mente.* São Paulo: Martins Fontes, 1984.

MONTESSORI, Maria. *A criança.* São Paulo: Ciranda Cultural, 2017.

FREIRE, Paulo. *Pedagogia da autonomia.* São Paulo: Paz e Terra, 1996.

SASSAKI, Romeu Kazumi. *Inclusão: construindo uma sociedade para todos.* Rio de Janeiro: WVA, 1997.

BRASIL. *Política Nacional de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva.* MEC, 2015.

STEINFELD, Edward; MAISEL, Jordana. *Universal design: creating inclusive environments.* Hoboken: Wiley, 2012. Acesso em: 20 maio 2025.

PEREIRA, Jaquelline de Andrade; SARAIVA, Joseana Maria. Trajetória histórico-social da população deficiente: da exclusão à inclusão social. *SER Social*, Brasília, v. 19, n. 40, p. 168-185, jan.–jun. 2017.

LEGO. *Introducing LEGO Braille Bricks – Play with Braille.* Billund: The LEGO Group, 2023. 1 vídeo (2 min 41 s), son., color. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=QLsP-qr_At8. Acesso em: 10 nov. 2025.

HOME CARE EXPERTS. *LEGO Braille Bricks: creating a more inclusive and brighter future for education!* Sydney: Home Care Experts, 15 jan. 2024. Disponível em: https://www.homecareexperts.com.au/lego-braille-bricks-creating-a-more-inclusive-and-brighter-future-for-education/. Acesso em: 10 nov. 2025.

FUNDAÇÃO DORINA NOWILL PARA CEGOS. *LEGO Braille Bricks.* São Paulo: Fundação Dorina Nowill para Cegos, 2023. Disponível em: https://fundacaodorina.org.br/braille-bricks/. Acesso em: 10 nov. 2025.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. *4ª Feira de Acessibilidade do Distrito Federal amplia projetos de inclusão para além da deficiência visual.* Agência Brasília, 26 ago. 2025. Disponível em: https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/w/4-feira-de-acessibilidade-do-df-amplia-projetos-d

e-inclusao-para-alem-da-deficiencia-visual. Acesso em: 15 nov. 2025.

EASYTS. *Sistema Braille: como funciona e é universal? Saiba tudo.* Disponível em: https://easyts.com/blog/comunicacao-linguagem/sistema-braille-como-funciona-e-universal-saiba-tudo/. Acesso em: 04 fev. 2025.

UNESP – Faculdade de Ciências e Letras. *Pesquisa da FCL.* Disponível em: https://www.fclar.unesp.br/#!/noticias/v/id::128/pesquisa-da-fcl-/. Acesso em: 04 fev. 2025.

B9. *LEGO Braille Bricks: projeto traz peças customizadas para ajudar no desenvolvimento de crianças com deficiências visuais.* B9, 24 abr. 2019. Disponível em: https://www.b9.com.br/107015/lego-braille-bricks-projeto-traz-pecas-customizadas-para-ajudar-no-desenvolvimento-de-criancas-com-deficiencias-visuais/. Acesso em: 15 nov. 2025.

PERKINS SCHOOL FOR THE BLIND. *Perkins Brailler.* Disponível em: https://www.perkins.org/perkins-brailler/. Acesso em: 15 nov. 2025.

CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS – CBPF. *Setembro Verde: ciência e inclusão.* Gov.br, 30 set. 2024. Disponível em: https://www.gov.br/cbpf/pt-br/assuntos/noticias/setembro-verde-ciencia-e-inclusao. Acesso em: 17 nov. 2025.

PJRC. *Teensy 4.0.* Disponível em: https://www.pjrc.com/store/teensy40.html. Acesso em: 17 nov. 2025.

MAIS ROBOTIC. *Arduino Mega 2560 – controlador.* Disponível em: https://loja.maisrobotic.com.br/controladores/3-arduino-mega-cabo-usb.html. Acesso em: 17 nov. 2025.

AMPLA VISÃO. *Máquina Braille Laramara.* Loja Virtual Ampla Visão, 2025. Disponível em: https://lojaamplavisao.com.br/produto/maquina-braille-laramara/. Acesso em: 18 nov. 2025.

MUNDO DA LUPA. *Braille Sense 6 Mini.* 2025. Disponível em: https://mundodalupa.com.br/produto/braille-sense-mini/. Acesso em: 18 nov. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Declaration on the Rights of Disabled Persons.* Aprovada pela Assembleia Geral da ONU em 9 dez. 1975. Disponível em: https://www.ohchr.org/en/instruments-mechanisms/instruments/declaration-rights-disabl

ed-persons. Acesso em: 28 nov. 2025.

ANEXOS

ANEXO A - Código-fonte utilizado no Arduino IDE

```
/ * Objetivo: Garantir que o RESET ABAIXE TODOS os 6 pontos.
 * - Pontos com lógica INVERTIDA (abaixam em 0 graus): 2, 3, 5, 6
 * - Pontos com lógica NORMAL (abaixam em 180 graus): 1, 4
 */

// --- 1. BIBLIOTECAS ---
#include <Servo.h>

// --- 2. CONFIGURAÇÃO DOS SERVOS (Pinos 2 a 7) ---
Servo servo1, servo2, servo3, servo4, servo5, servo6;

// pinos de conexão/controle

const int pinoServo1 = 2;
const int pinoServo2 = 3;
const int pinoServo3 = 4;
const int pinoServo4 = 5;
const int pinoServo5 = 6;
const int pinoServo6 = 7;

const int numServo = 6;
/*const int pinoServo[numServo] = { 2, 3, 4, 5, 6, 7 };*/

// --- 3. DEFINIÇÃO DOS ÂNGULOS GERAIS ---
const int ANGULO_ABAIXA_INVERTIDO = 0;  // Usado para servos 2, 3, 5, 6
const int ANGULO_ABAIXA_NORMAL = 180;   // Usado para servos 1, 4

// --- 4. MAPA DE LÓGICA DE CADA SERVO ---
// Indica quais servos têm a lógica INVERTIDA (ou seja, usam 0 graus para
Abaixar)
// Ponto:    1     2     3     4     5     6
// Índice:   0     1     2     3     4     5
const bool LOGICA_INVERTIDA[6] = {
```

```
  true, false, true, false, true, true
};

// --- 5. CONFIGURAÇÃO DOS BOTÕES ---
const int numBotoes = 7;
// Pinos: P1(41), P2(43), P3(45), P4(47), P5(49), P6(51), RESET(53)
const int pinosBotoes[numBotoes] = { 41, 43, 45, 47, 49, 51, 53 };

// --- 6. VARIÁVEIS DE CONTROLE ---
int ultimoEstadoBotao[numBotoes];
unsigned long ultimoTempoPressionado[numBotoes];
const long debounceDelay = 50;
int estadoPontos[6] = { 0, 0, 0, 0, 0, 0 };  // 0 = Abaixado, 1 =
Levantado

// --- Função setup() ---
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("--- Célula Braille OPERACIONAL ---");

  // confg pinos de entrada
  for (int i = 0; i < numBotoes; i++) {
    pinMode(pinosBotoes[i], INPUT_PULLUP);
    ultimoEstadoBotao[i] = HIGH;
    ultimoTempoPressionado[i] = 0;
  }

  // confg obj dos servo
  /*for (int i = 0; i < numServo; i++) {
    servo1.attach(pinoServo[i]);
  }*/


  servo1.attach(pinoServo1);
  servo2.attach(pinoServo2);
  servo3.attach(pinoServo3);
  servo4.attach(pinoServo4);
```

```
  servo5.attach(pinoServo5);
  servo6.attach(pinoServo6);

  // Estado Inicial: Todos Abaixados (usando a lógica corrigida)
  resetarTodosOsPontos();
  Serial.println("Sistema pronto");
}

// --- Função loop() ---
void loop() {

  unsigned long tempoAtual = millis();

  for (int i = 0; i < numBotoes; i++) {
    int leituraAtual = digitalRead(pinosBotoes[i]);

    /*Serial.print("Estado entrada do Botao ");
    Serial.print(pinosBotoes[i]);
    Serial.print("\t");
    Serial.println(leituraAtual);*/

    if (leituraAtual == LOW && ultimoEstadoBotao[i] == HIGH) {

      if (tempoAtual - ultimoTempoPressionado[i] > debounceDelay) {

        if (i < 6) {
          // Ação para os Botões de Ponto (índices 0 a 5)
          estadoPontos[i] = 1 - estadoPontos[i];  // Alterna o estado
          Serial.print("Estado Ponto ");
          Serial.println(estadoPontos[i]);

          moverServo(i);


          Serial.print("Ponto ");
          Serial.print(i + 1);
          Serial.print(" -> ");
```

```
          if (estadoPontos[i] == 1){
            Serial.println("LEVANTADO");
          }else{
            Serial.println("ABAIXADO");
          }


        } else if (i == 6) {
          // Ação para o Botão RESET
          resetarTodosOsPontos();
          Serial.println("Botão RESET acionado -> TODOS ABAIXADOS.");
        }

        ultimoTempoPressionado[i] = tempoAtual;
      }
    }
    ultimoEstadoBotao[i] = leituraAtual;
  }
}

// --- FUNÇÕES DE CONTROLE DOS SERVOS ---

/**
 * @brief Move um servo baseado no seu índice e estado lógico desejado
(0=Abaixado, 1=Levantado).
 * @param index O índice do ponto (0 a 5).
 */
void moverServo(int index) {
  int angulo;
  int estadoLogico = estadoPontos[index];  // 0 = Abaixado, 1 = Levantado
  bool invertido = LOGICA_INVERTIDA[index];

  if (estadoLogico == 1) {
    // LEVANTAR: Se invertido, usa 180. Se normal, usa 0.
    angulo = invertido ? ANGULO_ABAIXA_NORMAL : ANGULO_ABAIXA_INVERTIDO;
  } else {
    // ABAIXAR: Se invertido, usa 0. Se normal, usa 180.
```

```
    angulo = invertido ? ANGULO_ABAIXA_INVERTIDO : ANGULO_ABAIXA_NORMAL;
  }

  switch (index) {
    case 0: servo1.write(angulo); break;
    case 1: servo2.write(angulo); break;
    case 2: servo3.write(angulo); break;
    case 3: servo4.write(angulo); break;
    case 4: servo5.write(angulo); break;
    case 5: servo6.write(angulo); break;
  }
}

/**
 * @brief Define todos os pontos para o estado "Abaixado" usando a lógica
específica de cada servo.
 */
void resetarTodosOsPontos() {
/*
Ponto 1 2 Abaixado 180° = Abaixado /  0° = Levantado
Ponto 2 3 Levantado 180° = Levantado / 0° = Abaixado (INVERTIDA)
Ponto 3 4 Abaixado 180° = Abaixado / 0° = Levantado
Ponto 4 5 Levantado 180° = Levantado / 0° = Abaixado (INVERTIDA)
Ponto 5 6  Levantado 180° = Levantado / 0° = Abaixado (INVERTIDA)
Ponto 6 7 Abaixado 180° = Abaixado / 0° = Levantado

*/


  servo1.write(180);
  servo2.write(180);
  servo3.write(0);
  servo4.write(180);
  servo5.write(0);
  servo6.write(0);

  // 1. Zera a memória de estado LÓGICO
```

```
  /*for (int i = 0; i < 6; i++) {
    estadoPontos[i] = 0;  // Estado lógico 0 = Abaixado
  }

  // 2. Comanda cada servo para a posição de ABAIXADO (0 ou 180 graus)
  for (int i = 0; i < numServo; i++) {
    servo1.write(LOGICA_INVERTIDA[i] ? ANGULO_ABAIXA_INVERTIDO :
ANGULO_ABAIXA_NORMAL);
  }

  for (int i = 0; i < numServo; i++) {
    int angM = LOGICA_INVERTIDA[i] ? ANGULO_ABAIXA_INVERTIDO :
ANGULO_ABAIXA_NORMAL;
    Serial.print("Motor: ");
    Serial.print((i + 1));
    Serial.print("\tAngulo: ");
    Serial.println(angM);
    servo1.write(angM);
  }
}
```