

InBraille: Uma Abordagem Tecnológica para a Democratização do Braille através da Impressão 3D

Lucas Guerra, Marcos Cardoso, Marcos Castro

Departamento de Computação
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) – Recife, PE – Brasil

{lucas.guerra,marcos.cardoso,marcos.castro}@ufrpe.br

Abstract. *InBraille is a tool that converts texts to Braille and generates inclusive 3D signs, following Brazilian and American standards. Developed in Python, the software uses 3D conversion and modeling algorithms to create accessible materials, exported in STL format for printing. The web interface, available in Portuguese and English, allows the conversion of text to Braille and vice versa. Validated prototypes have demonstrated accuracy in measurements and tactile readability. InBraille is available online, promoting inclusion and the democratization of knowledge for people with visual impairments.*

Resumo. *O InBraille é uma ferramenta que converte textos para Braille e gera placas 3D inclusivas, seguindo os padrões brasileiro e estadunidense. Desenvolvido em Python, o software utiliza algoritmos de conversão e modelagem 3D para criar materiais acessíveis, exportados no formato STL para impressão. A interface web, disponível em português e inglês, permite a conversão de texto para Braille e vice-versa. Protótipos validados demonstraram precisão nas medidas e legibilidade tátil. O InBraille está disponível online, promovendo a inclusão e a democratização do conhecimento para pessoas com deficiência visual.*

1. Introdução

A inclusão de pessoas com deficiência visual é um desafio significativo, especialmente no contexto educacional, onde a falta de materiais acessíveis pode limitar o aprendizado e a participação desses indivíduos. O sistema Braille, criado por Louis Braille no século XIX, é uma ferramenta essencial para a leitura e escrita tátil, mas a produção de materiais em Braille enfrenta obstáculos como custos elevados, complexidade técnica e falta de padronização. Este artigo apresenta o InBraille, uma ferramenta inovadora que combina tecnologias de software e impressão 3D para converter textos em Braille e gerar placas 3D inclusivas, seguindo os padrões brasileiro e estadunidense. O objetivo é democratizar o acesso ao Braille, promovendo a inclusão e a autonomia de pessoas com deficiência visual.

Agradecemos à empresa Beehive 3D pelo apoio fundamental neste projeto, que contribuiu significativamente para a validação das placas. A Beehive 3D disponibilizou o filamento Nacional 3D – Filamento PLA Max High Speed Branco Dental 1,75 mm –, o qual se mostrou essencial para a experimentação e aprimoramento dos protótipos. Essa parceria reforça a importância do suporte de empresas especializadas para o desenvolvimento de soluções inclusivas.

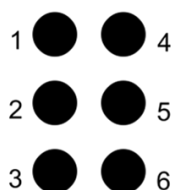
2. O Sistema Braille

O sistema Braille é um método de escrita e leitura tátil desenvolvido para pessoas cegas ou com baixa visão, que representavam 6,5 milhões de brasileiros em 2010, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Criado pelo francês Louis Braille no século XIX, o sistema revolucionou a forma como indivíduos com deficiência visual acessam informações e se comunicam. Louis Braille, que perdeu a visão aos três anos de idade devido a um acidente, idealizou o sistema baseado em uma combinação de pontos em relevo, permitindo a representação de letras, números, símbolos matemáticos, notas musicais e até mesmo abreviaturas (Instituto Benjamin Constant, 2022).

2.1. Estrutura do Sistema Braille

O Braille é composto por celas Braille, unidades básicas formadas por seis pontos em relevo, dispostos em duas colunas verticais de três pontos cada, como o representado pela Figura 1. A combinação desses pontos permite a formação de 63 símbolos diferentes e o espaço (uma cela Braille sem ponto algum), que representam letras, números, pontuações e outros caracteres específicos. Essa simplicidade e versatilidade tornam o Braille um sistema universal, utilizado em praticamente todas as línguas que empregam o alfabeto ocidental.

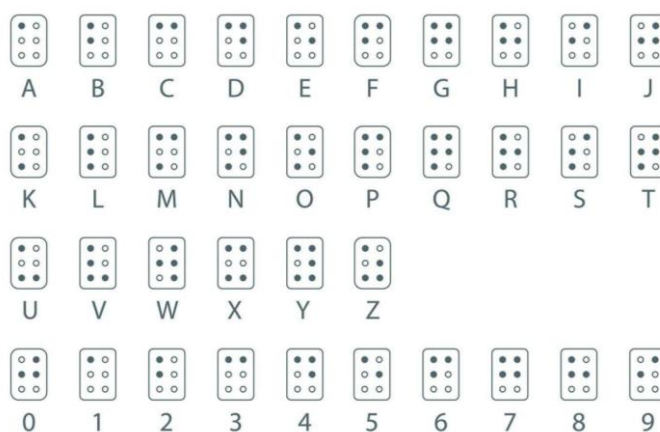
Figura 1 - Representação de uma cela Braille.



Fonte: BRASIL, 2018.

A Figura 2 apresenta as celas Braille que representam as letras do alfabeto brasileiro e os números. Para definir normas para a escrita de materiais em Braille, o Ministério da Educação, através da Secretaria de Educação Continuada, Alfabetização, Diversidade e Inclusão, publicou em 2018 a 3ª edição das Normas Técnicas para a Produção de Textos em Braille. (Brasil, 2018).

Figura 2 - Representação das letras do alfabeto brasileiro e dos números em Braille.



Fonte: BRASIL, 2018.

2.2. Aplicações e Universalidade

O Braille é empregado em diversas áreas, desde a leitura de textos literários e científicos até a escrita musical e estenográfica. Sua universalidade permite que pessoas cegas de diferentes países utilizem o sistema para ler e escrever em suas línguas nativas. Além disso, o Braille pode ser produzido manualmente, com o uso de reglete e punção (equivalente ao lápis e papel para pessoas videntes), ou por meio de tecnologias modernas, como impressoras Braille e dispositivos eletrônicos.

2.3. O Braille no Brasil

No Brasil, o sistema Braille foi adotado em sua forma original até a década de 1940, quando passou por adaptações devido à reforma ortográfica da Língua Portuguesa. Durante décadas, a atualização e a padronização do Braille ficaram a cargo de professores e técnicos especializados em instituições dedicadas à educação de cegos. No final do século XX, o governo brasileiro estabeleceu diretrizes para o uso, ensino, produção e difusão do Braille em todo o país.

Em 1999, foi criada a Comissão Brasileira do Braille, que, em conjunto com uma comissão portuguesa, desenvolveu a Grafia Braille para a Língua Portuguesa. Esse documento, concluído em 2002, foi adotado como padrão no Brasil e em Portugal, seguindo as recomendações da União Mundial de Cegos e da Unesco. A normatização do Braille no Brasil garantiu sua aplicação consistente em todas as modalidades, desde a educação até a produção de livros e materiais didáticos, contribuindo significativamente para a inclusão social e o desenvolvimento das potencialidades das pessoas com deficiência visual.

3. Dificuldades na Criação de Materiais em Braille

3.1. Custos Elevados

Um dos principais obstáculos para a produção de materiais em Braille é o alto custo dos equipamentos especializados, como impressoras Braille e máquinas de escrever. Além disso, a manutenção desses dispositivos também pode ser dispendiosa, limitando o acesso a instituições com recursos financeiros mais robustos (Ramirez et al., 2016).

3.2. Complexidade Técnica

A produção de materiais em Braille requer conhecimentos específicos, tanto na operação dos equipamentos quanto na adaptação de textos para o sistema Braille. A criação de modelos 3D inclusivos, por exemplo, demanda habilidades em softwares de modelagem e impressão 3D, o que pode ser um desafio para educadores e instituições sem formação técnica adequada (Barroso et al., 2024).

3.3. Falta de Padronização

Embora o sistema Braille seja universal, a produção de materiais em Braille no Brasil enfrenta desafios relacionados à padronização. Até a década de 1940, o Braille no Brasil seguia o padrão original, mas mudanças na ortografia da língua portuguesa exigiram adaptações. A falta de uma normatização clara por parte do governo resultou em variações na produção de materiais, dificultando a consistência e a qualidade dos textos em Braille (Barroso et al., 2024).

3.4 Qualidade da Impressão

Embora a tecnologia tenha avançado, ainda existem limitações na produção de materiais em Braille. Por exemplo, impressoras Braille caseiras, como a desenvolvida por Ramirez et al. (2016), apresentam desafios relacionados à velocidade de impressão e à qualidade do relevo. Além disso, a produção de materiais em Braille em larga escala ainda é um desafio, especialmente em países com recursos limitados.

4. Metodologia

O desenvolvimento do InBraille, uma ferramenta para conversão de texto em Braille e criação de placas 3D inclusivas, foi realizado em etapas bem definidas, que incluíram pesquisa, modelagem, desenvolvimento de software, produção de protótipos e validação. A metodologia adotada baseou-se na pesquisa-ação, que combina a identificação de um problema com a proposição e implementação de uma solução prática. A seguir, descrevemos as etapas do projeto:

4.1. Definição do Problema e Objetivos

O projeto partiu da necessidade de criar uma ferramenta que permitisse a conversão de textos para Braille de forma automatizada, seguindo os padrões brasileiro, e a geração de placas 3D e que atendessem às normas gramaticais e dimensionais do Braille.

O objetivo principal foi desenvolver um programa com uma interface web que fosse simples, acessível, que pudesse ser utilizado por instituições educacionais e pessoas com deficiência visual e que exportasse o material em Braille em um arquivo de fácil manipulação para impressão 3D.

4.2. Revisão da Literatura e Estudo de Soluções Existentes

Foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o sistema Braille, suas normas gramaticais e dimensionais, além como as tecnologias disponíveis para geração de objetos em tridimensionais e exportação desses objetos para impressão 3D.

Também foram analisados softwares de conversão de texto para Braille, como o Tradutor Braille ⠠⠠⠠ (2022) e Filgueiras (2019), identificando suas limitações e oportunidades de melhoria. Não foram encontrados softwares que realizassem a conversão de Braille para caracteres textuais.

4.3. Desenvolvimento do Software

A linguagem de programação Python foi escolhida para o desenvolvimento do software devido à sua simplicidade, ampla comunidade de desenvolvedores e à disponibilidade de bibliotecas especializadas para processamento de texto e geração de modelos 3D.

4.3.1 Algoritmo de Conversão

O algoritmo de conversão é composto por três itens que operam em conjunto, como o descrito abaixo.

- Alfabeto: Lista responsável por armazenar os caracteres textuais e os seus equivalentes em Braille em uma determinada língua;
- Codificador: Algoritmo que realiza a conversão dos caracteres textuais para os equivalentes em Braille seguindo as normas de um determinado idioma;

- Decodificador: Algoritmo que realiza a conversão de Braille para caracteres textuais seguindo as normas de uma determinada língua.

Para o programa desenvolvido, foram selecionadas duas línguas, a Língua Portuguesa e a Língua Inglesa, seguindo as normas da Grafia Braille para a Língua Portuguesa (Brasil, 2018) e da Rules of Unified English Braille (International Council on English Braille, 2024) respectivamente. Por tanto, existe um conjunto com esses três itens para cada uma dessas línguas.

4.3.2 Modelagem 3D

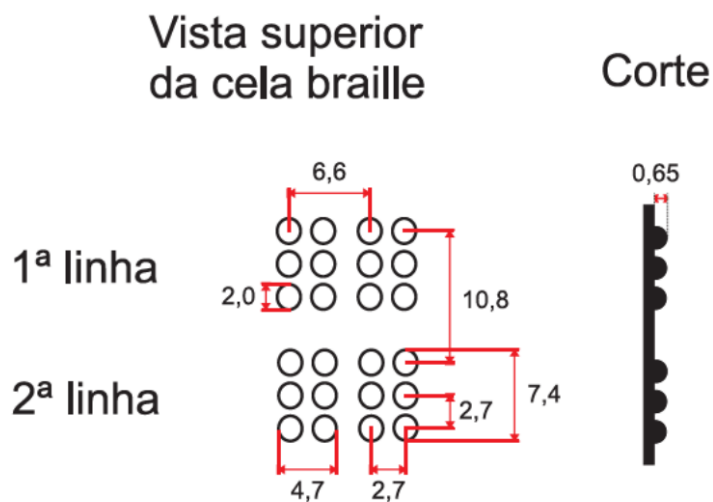
O algoritmo responsável pela modelagem 3D utiliza a biblioteca VTK (Schroeder et al., 2006) para gerar os objetos em 3D e posteriormente exportá-los no formato STL.

A primeira etapa é o mapeamento dos caracteres em Braille para a sua respectiva representação numérica, utilizando os valores 1, 2 e 3 para representar os pontos da coluna esquerda da cela Braille, e 4, 5 e 6 para a coluna direita da mesma, como pode-se ver nos exemplos abaixo, onde temos os caracteres textuais, seguidos pelo respectivo caractere em Braille e pôr fim a representação numérica desse mesmo caractere Braille.

- p ⠏ (1234)
- o ⠕ (135)
- g ⠒ (1245)

A partir desse mapeamento, as celas Braille são geradas em 3D de acordo com as medidas disponíveis no Apêndice D das Normas Técnicas para a Produção de Textos em Braille (Brasil, 2018), apresentadas na Figura 3.

Figura 3 - Medidas da cela Braille em milímetros.



Fonte: BRASIL, 2018.

Posteriormente, essas celas são agrupadas em uma superfície com dois milímetros de espessura por padrão, mas esse valor pode ser alterado na interface do programa para criar placas com uma espessura maior. Por fim, o programa unifica esses objetos e exporta como um único arquivo no formato STL.

4.3.3. Interface do Usuário

Para facilitar o uso da ferramenta, foi desenvolvida uma interface gráfica simples e intuitiva, como mostra a Figura 4, utilizando HTML, JavaScript e a biblioteca de estilização TailwindCSS. A interface permite que o usuário:

- Escolha o padrão de Braille (brasileiro ou estadunidense);
- Insira o texto a ser convertido para Braille;
- Insira o Braille a ser convertido para texto;
- Visualize o Braille ou texto convertido;
- Exporte o arquivo STL para impressão contendo o Braille;
- Configure alguns parâmetros do arquivo STL final, sendo eles:
 - Se a placa será arredondada;
 - A espessura da placa;
 - O alinhamento do texto;
 - A resolução (esfericidade) dos pontos;
 - Se o Braille será inserido em uma única placa ou se cada linha ficará em uma placa diferente;
 - Em caso de diversas placas, se todas devem ter o mesmo tamanho (tamanho da maior placa).

Figura 4 - Interface desenvolvida para o programa

A ferramenta

Para começar, selecione o alfabeto braille:

Brasileiro

Atenção: No alfabeto brasileiro, a conversão de braille para texto tem problemas com alguns caracteres. Por exemplo, a letra "&" tem o mesmo braille que a letra "ç", por esse motivo, a conversão será feita para a letra "ç".

Coloque seu texto aqui:

Universidade
Federal Rural
de Pernambuco

Aqui está o texto em braille:

[illegible]

Exportar placa em STL

Opções Avançadas

Atenção: Essas opções estão em milímetros.

Placa Única:



Tamanho Único:



Arredondado:



Espeçura da Placa:

2

Alinhamento do Texto:

Centro

Resolução dos Pontos:

20

Fonte: O Autor

5. Protótipos e Validação

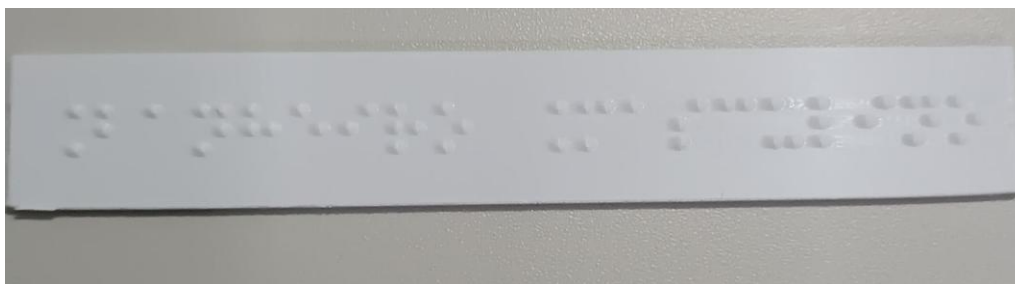
Foram impressos dois protótipos utilizados para validar as medidas necessárias, apresentados abaixo nas Figuras 5 e 6.

Figura 5 - Primeiro protótipo impresso em 3D com o texto “Universidade Federal Rural de Pernambuco” em Braille.



Fonte: O Autor

Figura 6 - Segundo protótipo impresso em 3D com o texto “Banheiro Masculino” em Braille.



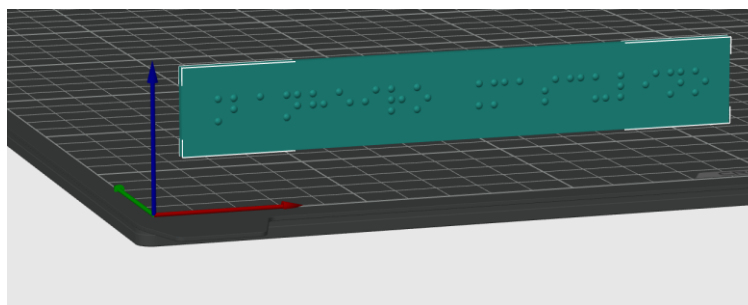
Fonte: O Autor

Os dois protótipos foram submetidos a medições com um paquímetro digital afim de garantir que as medidas estavam corretas, e em ambas medidas estavam de acordo com a norma, com um erro inferior a 0,1mm, que é o limite de medida do próprio paquímetro.

Vale ressaltar também que ambos foram impressos na vertical (90°), seguindo o que foi apresentado por Puerta et al. (2024), onde é validado que placas em Braille impressas em 75° ou 90° são mais confortáveis e melhores de ler, mas como o mesmo não apontou diferenças relevantes entre essas duas configurações e a impressão em 90° exclui a necessidade de suportes, polpando material, essa configuração foi a escolhida.

Para facilitar a utilização, o programa exporta todas as placas já em 90°, evitando que o usuário precise fazer essa configuração para ter a melhor qualidade de impressão, como mostra a Figura 7.

Figura 7 - Imagem do segundo protótipo aberto em um software de fatiamento 3D.



Fonte: O Autor

6. Impacto Social

O InBraille tem o potencial de gerar um impacto social significativo, promovendo a inclusão e a acessibilidade em diversos ambientes, especialmente para pessoas com deficiência visual. A ferramenta pode ser aplicada em contextos como escolas, universidades, espaços públicos, instituições de saúde e locais de trabalho, tornando esses ambientes mais acessíveis e inclusivos.

Essa ferramenta pode ser aplicada em parques, museus, estações de transporte público e outros locais de uso coletivo, criando placas de sinalização em Braille e mapas táteis que orientem as pessoas com deficiência visual. Como destacado em Queiroz (2014), esses espaços são essenciais para o lazer e a interação social, mas muitas vezes carecem de condições básicas para a navegação segura de pessoas com deficiência visual. O InBraille pode ajudar a superar essas barreiras, proporcionando informações sobre distâncias, obstáculos e rotas, permitindo que os usuários se movimentem com maior independência.

Também é possível produzir materiais informativos, como instruções de uso de medicamentos e orientações de saúde em hospitais e clínicas, garantindo que pacientes com deficiência visual tenham acesso a informações essenciais. Além disso, a ferramenta pode ser usada para criar placas que auxiliem na localização de consultórios, salas de espera e outros espaços dentro desses ambientes, melhorando a experiência do paciente.

Escolas e universidades também podem utilizar o InBraille para produzir materiais didáticos acessíveis, como livros, apostilas e placas informativas em Braille. Isso garante que alunos com deficiência visual tenham acesso ao mesmo conteúdo que seus colegas videntes, promovendo a igualdade de oportunidades educacionais, melhorando a acessibilidade em seus ambientes.

7. Conclusão

O desenvolvimento do InBraille, uma ferramenta para conversão de texto em Braille e criação de placas 3D inclusivas, demonstrou ser uma solução viável e inovadora para a promoção da acessibilidade e inclusão de pessoas com deficiência visual. O projeto alcançou seus objetivos principais ao oferecer uma ferramenta que não apenas converte textos para Braille de forma precisa, seguindo os padrões brasileiro e estadunidense, mas também gera modelos 3D que atendem às normas gramaticais e dimensionais do Braille. A combinação de tecnologias de software e impressão 3D permitiu a criação de materiais educacionais e informativos acessíveis, que podem ser utilizados em diversos contextos, desde salas de aula até espaços públicos.

Além disso, o uso de tecnologias acessíveis, como a linguagem de programação Python e softwares de modelagem 3D de código aberto, contribuiu para a viabilidade econômica do projeto, tornando-o uma alternativa de baixo custo em comparação com soluções comerciais disponíveis no mercado. A interface gráfica intuitiva desenvolvida também facilita o uso da ferramenta por educadores e instituições, ampliando seu potencial de impacto.

8. Disponibilização da Ferramenta

O InBraille está disponível para acesso e utilização no link: <https://inbraille.cienciaembarcada.com.br>. A plataforma oferece versões da página em Português e Inglês, garantindo que usuários de diferentes países e idiomas possam acessar a ferramenta de forma intuitiva e eficiente. Essa disponibilidade em múltiplos idiomas reforça o compromisso do projeto com a inclusão global, permitindo que pessoas com deficiência visual e educadores de diversas regiões utilizem o InBraille para criar materiais acessíveis e promover a democratização do conhecimento.

9. Disponibilização do Código

O código-fonte do InBraille está disponível publicamente em um repositório no GitHub, permitindo que desenvolvedores, pesquisadores e instituições possam acessar, utilizar e contribuir para o projeto. O repositório contém todo o código necessário para a conversão de texto em Braille, a geração de modelos 3D e a interface web. Além disso, estão disponíveis instruções detalhadas para instalação, configuração e uso da ferramenta.

O repositório pode ser acessado no link: <https://github.com/lucasguerra/InBraille>. O código é disponibilizado sob a licença MIT, que permite o uso, modificação e distribuição do software de forma livre, desde que sejam mantidos os créditos aos autores originais e incluída uma cópia da licença em qualquer redistribuição. Essa licença reforça o compromisso do projeto com a transparência, a colaboração e a democratização do acesso à tecnologia, especialmente no contexto da inclusão de pessoas com deficiência visual.

10. Referências

- Barroso, T. C. G., Vieira, K. F. de S., Rocha, E. F. da, Gomes, M. N., & Barth, A. T. (2024). Tabela periódica em 3D inclusiva destinada ao ensino de química de alunos videntes e com deficiência visual. In Anais do Seminário de Educação (SemiEdu). Porto Alegre.
- Brasil. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Continuada, Alfabetização, Diversidade e Inclusão. (2018). Normas técnicas para a produção de textos em Braille (3ª ed.). Ministério da Educação. <https://www.gov.br/ibc/pt-br/pesquisa-e-tecnologia/materiais-especializados-1/livros-em-braille-1/o-sistema-braille-arquivos/grafia-braille-para-a-lingua-portuguesa-pdf.pdf>.
- Filgueiras, M. (2019). Tradutor para Braille. <https://www.atractor.pt/mat/matbr/matbraille.html>.
- Instituto Benjamin Constant. (2022). O sistema Braille. <https://www.gov.br/ibc/pt-br/pesquisa-e-tecnologia/materiais-especializados-1/livros-em-braille-1/o-sistema-braille>.
- International Council on English Braille. (2024). Rules of unified English Braille (2ª ed., M. H. C. Simpson, Org.). <https://iceb.org/Rules%20of%20Unified%20English%20Braille%202024.pdf>.
- Puerta, E., Crnovrsanin, T., South, L., & Dunne, C. (2024). The effect of orientation on the readability and comfort of 3D-printed Braille. <https://doi.org/10.1145/3613904.3642719>.

- Queiroz, V. M. (2014). Acessibilidade para pessoas com deficiência visual: Uma análise de parques urbanos (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. <https://doi.org/10.11606/D.16.2014.tde-21102014-173356>.
- Ramirez, A. G., Fernandes, A. M. da R., & Passini, G. (2016). Sistema para impressão de textos em Braille. Revista Eletrônica Argentina-Brasil de Tecnologias da Informação e da Comunicação. <https://zenodo.org/records/230140>.
- Schroeder, W., Martin, K., & Lorensen, B. (2006). The Visualization Toolkit (4ª ed.). Kitware.
- Tradutor Braille ⠠⠠⠠. (2022). Tradutor Braille ⠠⠠⠠. <https://www.tradutorbraille.com.br/>