Impressão 3D e tecnologia assistiva: estudo sobre a concepção de materiais táteis para uso de pessoas cegas com ênfase na leitura e na escrita em Braille

Letícia C. Ishiuchi[12], Leonardo M. R. Machado[1], Fabiana F. G. Bonilha[1]

lcishiuchi@cti.gov.br, lmachado@cti.gov.br, fbonilha@cti.gov.br

[1]Laboratório Aberto de Tecnologias Tridimensionais – LAPRINT
CTI Renato Archer – Campinas/SP

[2]Faculdade de Engenharia Biomédica
Universidade Pontificia Universidade Catolica– Campinas/SP

Abstract. *This paper presents the use of 3D printing in the development of tactile materials for visually impaired people, focusing on Braille reading and writing. The study continues a previous research that created software capable of converting printed text into three-dimensional models. In this stage, the program was improved by correcting characters, adding Perkins typing logic, and optimizing the interface. Plates were printed using different additive manufacturing technologies (FDM, SLS, and resin) and their tactile readability was evaluated. Results showed that resin printing achieved superior sensory performance, being the most suitable for educational and accessibility purposes. The research also applied the tool to scale models with Braille labels, highlighting new possibilities in pedagogical and cultural contexts.*

Keywords: *3D Printing; Assistive Technology; Braille; Accessibility; Additive Manufacturing*

Resumo. *Este artigo apresenta a aplicação da impressão 3D no desenvolvimento de materiais táteis para pessoas com deficiência visual, com foco na leitura e escrita em Braille. O estudo dá continuidade a uma pesquisa anterior, na qual foi criado um software para converter texto em tinta em modelos tridimensionais. Nesta etapa, o programa foi aprimorado com a correção de caracteres, inclusão da lógica de digitação Perkins e melhorias na interface. Foram impressas placas em diferentes tecnologias de manufatura aditiva (FDM, SLS e resina) e analisada sua legibilidade tátil. Os resultados indicaram que a impressão em resina apresentou melhor desempenho sensorial, destacando-se como a mais adequada para fins educacionais e acessibilidade. A pesquisa também explorou o uso da ferramenta em maquetes com legendas em Braille, demonstrando novas possibilidades de aplicação em contextos pedagógicos e culturais.*

Palavras-Chave: *Impressão 3D; Tecnologia Assistiva; Braille; Acessibilidade; Manufatura aditiva.*

1. Introdução

O acesso à informação escrita é um direito fundamental, garantido a todas as pessoas, incluindo aquelas com deficiência visual. O sistema Braille, criado por Louis Braille no século XIX, continua sendo uma das principais formas de leitura e escrita para pessoas cegas, promovendo autonomia, inclusão educacional e social (OLIVEIRA, 2018).

O Braille é constituído por sinais formados a partir das combinações entre seis pontos em relevo, dispostos em duas colunas verticais de três pontos cada. Cada sinal ocupa um espaço denominado de “Cela Braille”. A combinação desses pontos possibilita a

formação de 63 símbolos distintos, capazes de representar letras, sinais de pontuação, símbolos matemáticos, anotações científicas, partituras musicais e até a escrita estenográfica. O sistema pode ser empregado de duas formas principais: no grau 1, em que a escrita é feita letra por letra, e no grau 2, em que se utilizam abreviaturas e contrações com o objetivo de reduzir o volume das obras impressas. Existe ainda o grau 3, mais complexo, que exige amplo domínio da língua e elevada sensibilidade tátil (INSTITUTO BENJAMIN CONSTANT, 2022).

Trata-se de um sistema de notável universalidade, capaz de expressar diferentes línguas baseadas no alfabeto ocidental, sendo utilizado em diversos suportes, desde a tradicional reglete com punção até dispositivos digitais modernos como a linha braille e a impressora braille. No Brasil, o Braille foi usado em sua forma original até a década de 1940, quando modificações decorrentes da reforma ortográfica da Língua Portuguesa tornaram necessária sua atualização. Contudo, apenas em 1999 foi criada a Comissão Brasileira do Braille, que, em conjunto com a comissão portuguesa, elaborou a Grafia Braille para a Língua Portuguesa, oficializada em 2002 e adotada em todo o território nacional, seguindo as recomendações da União Mundial de Cegos e da UNESCO. Esse documento passou a ser referência normativa para o ensino, a produção e a difusão do sistema, garantindo sua padronização e continuidade (SOUZA et al., 2017; INSTITUTO BENJAMIN CONSTANT, 2022).

Com o avanço da tecnologia, alguns dispositivos foram desenvolvidos para adaptar esse sistema ao meio digital, visando ampliar a acessibilidade e a autonomia das pessoas com deficiência visual. Neste sentido, em 1892 o americano Frank Haven Hall criou a primeira máquina pensada para escrever o Braille, em seguida em 1951 o carpinteiro David Abraham da Perkins School for the Blind(Escola Perkins para o Braille), criou a máquina de escrever Perkins, com uma performance simples e intuitiva, e bem similar a máquina de escrever tradicional (PINHEIRO; ZARDO, 2023). Essa máquina utiliza seis teclas principais, cada uma correspondente a um ponto da célula Braille, permitindo que os caracteres sejam formados por meio da combinação simultânea dessas teclas(WIKIPEDIA, 2025), uma abordagem que influenciou fortemente os padrões contemporâneos de digitação Braille em dispositivos físicos e digitais. O uso da lógica da Perkins Brailler no meio computacional é reconhecido como uma estratégia eficaz para facilitar o processo de alfabetização e produção textual por usuários com deficiência visual, por meio das teclas f, d, s, j, k e l (JULLION, 2022).

Apesar dos avanços, a produção e distribuição de materiais em Braille ainda enfrentam desafios significativos, especialmente devido à escassez de recursos e ao alto custo de produção. Estima-se que o custo médio por página varie entre US$ 0,25 e US$ 0,45 em impressões de tiragens, podendo ultrapassar US$ 1,00 por página em edições unitárias. Além disso, impressoras Braille (embossers) podem custar de US$ 1.800 a US$ 5.000, enquanto displays eletrônicos variam de US$ 3.500 a US$ 15.000, o que limita a acessibilidade desses recursos (D’ALESSIO et al., 2023). Nesse cenário, tecnologias emergentes como a impressão 3D surgem como alternativas viáveis e com maior durabilidade, para a criação de recursos táteis personalizados, ampliando as possibilidades de acesso à informação para pessoas com deficiência visual.

Dessa forma, o desenvolvimento de programas que realizam a conversão automática de texto em tinta para Braille e gerem modelos tridimensionais para impressão de placas e outros objetos representa uma contribuição relevante para a democratização do acesso à leitura, unindo tradição e inovação na busca por inclusão social e educacional.

Na etapa anterior desta linha de investigação foi desenvolvido, no ambiente paramétrico Grasshopper, um script em Python capaz de realizar a conversão automática de texto em tinta para representação em Braille. O algoritmo implementa a lógica de mapeamento entre caracteres convencionais e células Braille, gerando como saída modelos tridimensionais parametrizados para manufatura aditiva (ISHIUCHI,L. C et al., 2024). Essa abordagem viabilizou a produção de placas táteis e outros objetos acessíveis, constituindo uma ferramenta que integra processamento computacional e fabricação digital.

Os resultados obtidos configuraram uma base sólida para a presente investigação, que busca avançar por meio do aperfeiçoamento da conversão de caracteres, da implementação da lógica de digitação no padrão Perkins e da avaliação de diferentes processos de impressão 3D (como FDM, SLS e resina). Esses avanços buscam consolidar um método mais robusto e preciso para a prototipagem de recursos de leitura em Braille, contribuindo para o desenvolvimento de soluções tecnológicas acessíveis e replicáveis no contexto da educação inclusiva. Como reconhecimento da originalidade e aplicabilidade do sistema, o software resultante obteve registro junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), assegurando sua proteção e destacando seu caráter inovador.

2. Objetivos

O objetivo desta pesquisa foi dar continuidade ao estudo sobre as aplicações da impressão 3D no campo da tecnologia assistiva e da acessibilidade para pessoas com deficiência visual, por meio do aprimoramento e validação de um software desenvolvido em pesquisa anterior, capaz de converter caracteres em tinta para Braille e gerar modelos tridimensionais. Pretende-se conceber e avaliar artefatos táteis que possibilitem a leitura de textos e conteúdos pedagógicos em Braille, além de explorar a criação de modelos táteis que traduzem informações visuais em recursos acessíveis, identificando contextos de uso e métodos de aplicação desses materiais.

3. Materiais e Métodos

3.1 Materiais

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas ferramentas computacionais e de prototipagem. O Grasshopper, extensão do software Rhinoceros mostrados na Figura 01, foi empregado na modelagem dos objetos tridimensionais, permitindo a automatização do processo de geração das celas Braille.
Para a validação e ajustes do código, utilizou-se a plataforma Google Collaboratory.

Figura 01. Software rhinoceros e sua extensão.
Fonte: ROBERT MCNEEL & ASSOCIATES, 2023

Para a etapa de impressão 3D, foram utilizadas diferentes tecnologias de manufatura aditiva, conforme o material empregado. As peças em filamento foram produzidas por meio de tecnologia FDM (Fused Deposition Modeling), com impressora FDM presente no laboratório. As peças em resina foram confeccionadas por meio de impressão por fotopolimerização. Já as peças em poliamida foram produzidas por meio da tecnologia SLS (Selective Laser Sintering), em equipamento disponível no laboratório.

3.2 Métodos

A metodologia envolveu duas frentes principais: aprimoramento do software e avaliação tátil das impressões. Primeiramente, foram corrigidos caracteres que apresentavam falhas no processo de conversão, incluindo ‘ç’, ‘á’, ‘ú’, ‘ñ’, ‘ï’, ‘y’, ‘q’ e ‘x’. Infelizmente, o caractere de exclamação ("!") não pôde ser corrigido devido à sua interpretação pelo software Rhinoceros como comando de exclusão.

Em seguida, foi adicionada uma interface mais eficiente: um botão que permite ao usuário selecionar, digitar em tinta e gerar automaticamente a transcrição em Braille, eliminando a necessidade de abrir o bloco de script e clicar em “test” repetidamente, como pode ser observado na Figura 02. Ademais, a espessura das placas tridimensionais foi reduzida para otimizar o uso de material.

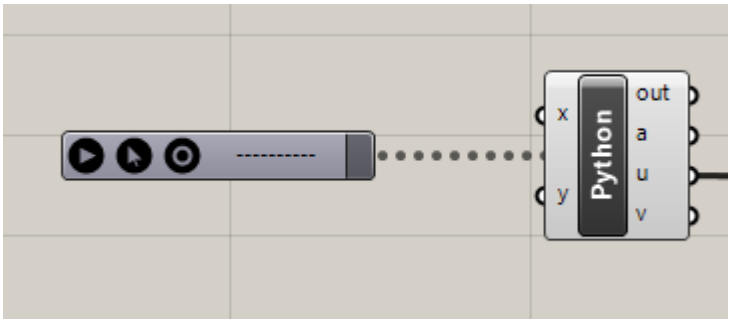

Figura 02. Botão da interface desenvolvido para a geração automática da transcrição de texto em Braille.

Para permitir a digitação em Braille no ambiente digital, foi adotado um mapeamento baseado na lógica da máquina Perkins, utilizando o teclado padrão do computador. A célula Braille é composta por seis pontos organizados em duas colunas verticais, numerados de 1 a 6. No método implementado, as teclas F, D e S, operadas pela mão esquerda, correspondem respectivamente aos pontos 1, 2 e 3; enquanto as teclas J, K e L, acionadas pela mão direita, representam os pontos 4, 5 e 6. E a tecla A do lado esquerdo representa a mudança de posição entre as celas, por exemplo, a tecla deve ser pressionada a cada combinação de caracteres.

A Figura 03 ilustra essa associação entre as teclas do teclado e os pontos da célula Braille, permitindo que o usuário digite caracteres pressionando simultaneamente as teclas

correspondentes aos pontos desejados, de forma análoga ao funcionamento de uma máquina Perkins. Já a Figura 04, demonstra como ficou a interface do programa para a digitação em Perkins

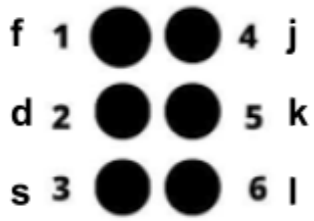

Figura 03. Representação da célula Braille e a correspondência entre os pontos e as teclas do teclado no padrão Perkins.
Fonte: VISSOSSI,2023

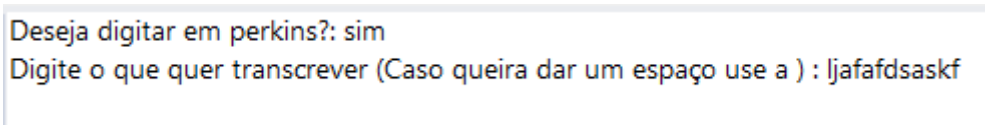

Figura 04. Interface para a digitação em Perkins.

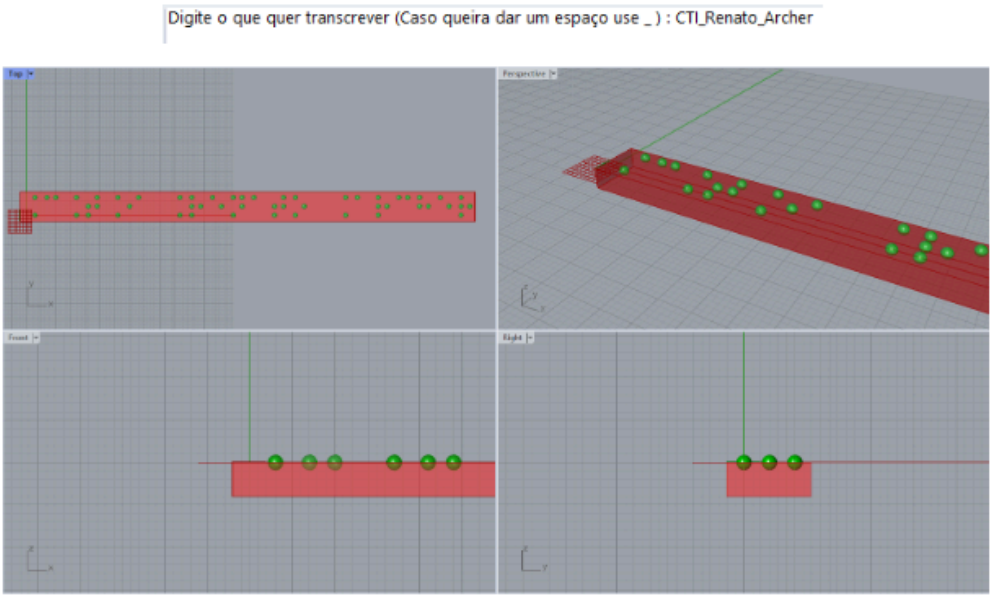

Figura 05. Tela do software desenvolvido no ambiente Rhinoceros/Grasshopper durante a execução do programa de conversão de texto em tinta para Braille e geração do modelo tridimensional.

Na etapa de manufatura aditiva, foram impressas três placas iguais em materiais diferentes: resina, filamento (FDM) e poliamida (SLS). Em cada placa estava escrito em Braille “Braille 3D”. Foram então estabelecidos alguns critérios relativos à avaliação da legibilidade do Braille em cada placa. Foram considerados os seguintes critérios:

- A legibilidade, ou seja, a compreensão de todos os caracteres escritos;

- Textura agradável ao toque;
- Leitura fluida;
- Tamanho e relevo dos pontos adequados para a leitura;
- Distância entre as celas;
- Nitidez dos caracteres;
- Velocidade da leitura / facilidade de deslizamento dos dedos sobre os pontos;

A avaliação da legibilidade tátil foi realizada de forma qualitativa e comparativa entre os diferentes materiais, considerando a percepção sensorial durante a leitura em Braille. A análise foi conduzida pela orientadora da pesquisa, pessoa com deficiência visual e fluente na leitura em Braille, que realizou a leitura tátil das placas e avaliou os critérios estabelecidos com base em sua experiência prática. Não foram empregadas, nesta etapa, técnicas instrumentais de caracterização da superfície, sendo a análise baseada exclusivamente na percepção tátil durante a leitura.

Além das placas de teste, o software foi aplicado em um projeto colaborativo no Laboratório Laprint, liderado pelos servidores Eduardo Bertoni da Fonseca e Leonardo Mendes Ribeiro Machado para a produção de uma maquete com legendas em Braille. Trata-se de uma maquete da planta do CTI com identificação de cada local por meio de letras minúsculas em Braille. Foi também construída uma legenda contendo o nome de cada local associado aos números. Por ser um texto extenso, optou-se por imprimir a legenda em papel com o uso da impressora Braille.
Essa experiência mostrou novas possibilidades de uso da ferramenta, principalmente em materiais educativos e de acessibilidade.

Ressalta-se que a avaliação apresentada neste estudo possui caráter preliminar, uma vez que, por dificuldades logísticas, não foi possível compor uma amostra de avaliadores/sujeitos externos, concentrando-se essencialmente na definição de critérios a partir da leitura tátil realizada pela orientadora. Desse modo, não foram feitos testes com um grupo ampliado de usuários cegos, nem controle sistemático de variáveis como tempo de leitura ou repetibilidade. Essas limitações foram consideradas na interpretação dos resultados e indicam a necessidade de estudos futuros com amostras mais amplas e metodologias complementares.

4 Resultados e discussão

Os testes realizados com placas impressas em diversas tecnologias de manufatura aditiva (resina, filamento FDM e poliamida SLS) mostraram variações consideráveis, tanto no aspecto visual quanto na legibilidade tátil. Apesar de as impressões em resina e filamento exibirem um acabamento superficial aceitável, a resina se destacou na leitura tátil, oferecendo maior suavidade e exatidão no reconhecimento dos pontos Braille. Esse resultado pode ser observado na Figura 06. Ressalta-se que, durante o processo de registro, apenas a placa produzida em poliamida SLS e em resina, com o escrito “Braille 3D”, pôde ser documentada em detalhe, sendo apresentada na imagem como exemplo ilustrativo.

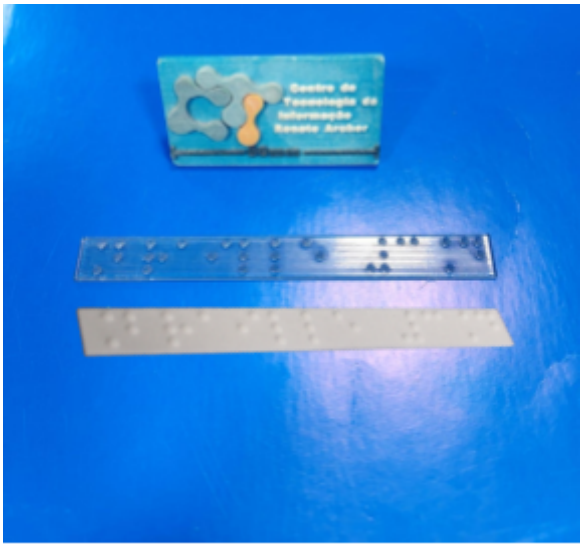

Figura 06. Plaquinha com a impressão SLS e Resina.

A placa produzida por meio da tecnologia FDM, contendo o texto “Braille 3D”, não pôde ser documentada fotograficamente para fins comparativos, uma vez que a amostra sofreu danos mecânicos após a impressão e não houve tempo hábil para sua reimpressão dentro do cronograma do estudo. Ressalta-se, entretanto, que peças produzidas por tecnologia FDM estão representadas na Figura 08, referente à aplicação do software em objetos cotidianos, evidenciando a viabilidade do processo para a geração de marcações em Braille, ainda que com acabamento superficial distinto das tecnologias de resina e SLS.

A resina foi indicada como a alternativa mais apropriada pela orientadora, que tem deficiência visual e fluência na leitura em Braille, sendo o filamento a segunda opção. Por outro lado, a poliamida apresentou problemas de leitura em razão de sua superfície rugosa. Esse resultado confirma a literatura, que enfatiza a necessidade de assegurar não só a precisão geométrica do Braille, mas também a qualidade sensorial da superfície impressa para proporcionar ao usuário uma experiência de leitura eficaz e confortável (VISSOSSI; LIMA, 2023).

Ademais, o uso do software em iniciativas educacionais, como a criação de maquetes com legendas em Braille, expandiu as possibilidades de aplicação da ferramenta, como observado na Figura 07. Além disso, outras aplicações cotidianas também podem ser exploradas, como a adaptação de objetos simples para identificação tátil, por exemplo, prendedores plásticos com marcação em Braille mostrado na Figura 08. Essa abordagem está alinhada com a noção de que a acessibilidade não deve se limitar apenas à alfabetização em Braille, mas também à conversão de conteúdos visuais e espaciais em formatos táteis, promovendo a inclusão em contextos educacionais, culturais e do dia a dia (OLIVEIRA, 2018; INSTITUTO BENJAMIN CONSTANT, 2022).

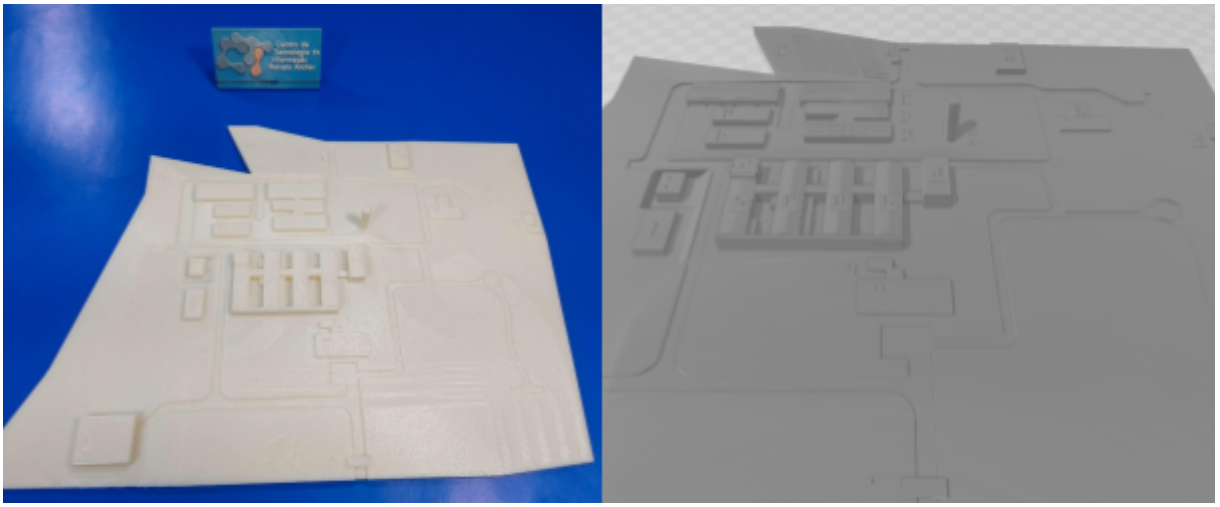

Figura 07. Maquete com Braille.
Fonte: Realizada pelo LAPRINT em conjunto com a autora deste artigo.

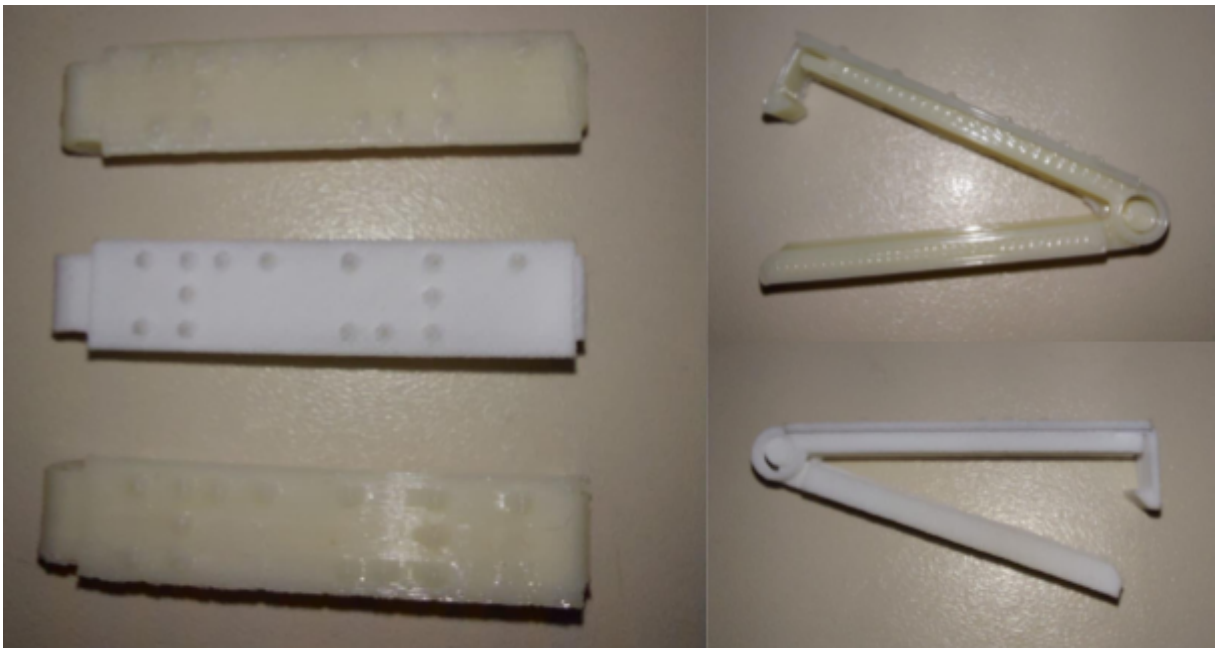

Figura 08. Impressão de nome em um prendedor.

A seguir na Figura 09, pode-se observar o resultado de uma das placas feitas utilizando a escrita em Perkins.

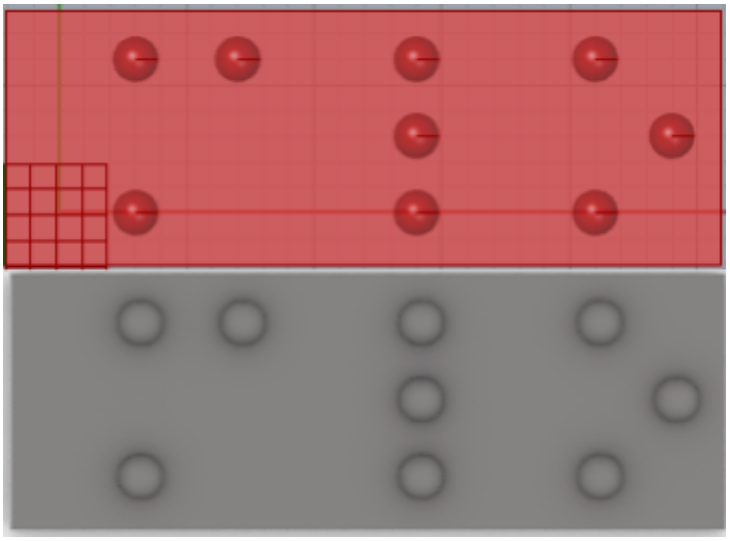

Figura 09. Placa produzida com a escrita em Perkins, gerada por meio do software desenvolvido.

5 Conclusão

Este estudo evidenciou o potencial da impressão 3D como um recurso para a criação de materiais táteis em Braille, com o objetivo de promover a educação e a acessibilidade para pessoas com deficiência visual. A análise comparativa de várias tecnologias de manufatura aditiva mostrou que, com base nos critérios definidos, a resina se destacou por proporcionar uma boa legibilidade tátil e suavidade ao toque, parecendo ser potencialmente a opção mais apropriada para usos educacionais. Ademais, o aperfeiçoamento do software, que incluiu a correção de caracteres, a implementação da lógica de digitação Perkins e a simplificação da interface, expandiu suas capacidades e tornou o processo de criação de modelos Braille mais acessível e eficaz.

A utilização da ferramenta na criação de maquetes com legendas em Braille demonstra sua flexibilidade e cria novas oportunidades de aplicação em âmbitos educacionais e culturais. Assim, pode-se concluir que a combinação da impressão 3D com tecnologia assistiva é uma abordagem promissora para tornar a leitura e o conhecimento mais acessíveis, ajudando na inclusão social e educacional de pessoas com deficiência visual. Embora os resultados obtidos sejam promissores, este estudo apresenta limitações, como a amostra restrita de avaliação tátil e a ausência de técnicas instrumentais de caracterização da superfície das peças produzidas. A análise foi baseada predominantemente na percepção sensorial qualitativa, o que reforça o caráter exploratório da pesquisa. Estudos futuros poderão ampliar o número de participantes, incorporar protocolos quantitativos e empregar técnicas como microscopia para uma análise mais detalhada da relação entre material, processo de fabricação e legibilidade tátil. Pesquisas futuras podem investigar a validação do software e dos protótipos com uma quantidade maior de usuários por meio de questionários e protocolos a serem desenvolvidos, aumentando a confiabilidade dos resultados e descobrindo novos contextos de uso.

6 Agradecimentos

Agradeço à minha orientadora, Fabiana Fator Gouvêa Bonilha, e ao meu coorientador, Leonardo Mendes Ribeiro Machado, pelo apoio, dedicação e ensinamentos ao longo do desenvolvimento desta pesquisa, que foram fundamentais para a construção deste trabalho. Também sou grata ao CTI Renato Archer pela infraestrutura e pelo ambiente de pesquisa que possibilitaram a realização deste estudo. À Comissão PIBIC, pelo incentivo ao crescimento acadêmico e científico, que contribuiu de forma significativa para minha formação. Aos meus familiares e colegas, pelo incentivo e pela colaboração durante esta jornada. Por fim, reconheço o apoio financeiro e institucional do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), que foram essenciais para a concretização deste projeto.

Referências

D'ALESSIO, Antonio; CHHEDA, Priti; MORIMOTO, Cindy H.; LEE, Hon W. Cost of Braille production and accessibility of assistive technology for visually impaired individuals. Journal of Blindness and Innovation in Research, v. 13, n. 2, p. 45-63, 2023. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11008803/

. Acesso em: 25 ago. 2025.

ISHIUCHI, L. C.; MACHADO, L. M. R.; BONILHA, F. F. G. Aplicação da Tecnologia 3D à Tecnologia Assistiva com ênfase na prototipagem de recursos para leitura em Braille. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO CTI RENATO ARCHER (JICC), 26., 2024, evento virtual. Anais... Campinas: MCTI/CTI Renato Archer, 2024. p. 1-10. https://www.gov.br/cti/pt-br/publicacoes/producao-cientifica/jicc/xxvi-jicc2024/pdf/jicc-2024-paper-11.pdf.

INSTITUTO BENJAMIN CONSTANT. O sistema Braille. Rio de Janeiro: Instituto Benjamin Constant, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/ibc/pt-br/pesquisa-e-tecnologia/materiais-especializados-1/livros-em-braille-1/o-sistema-braille

. Acesso em: 25 ago. 2025.

JULLION, Jeff. Braille Writing with Braille Keyboards. Allyant Blog, 08 dez. 2022. Disponível em: https://allyant.com/blog/braille-writing-with-braille-keyboards/

. Acesso em: 22 ago. 2025.

OLIVEIRA, Regina Fátima Caldeira de. Braille!? O que é isso? Série Deficiência Visual, v. 5. São Paulo: Fundação Dorina Nowill para Cegos; Conselho Brasileiro de Oftalmologia, 2018. Disponível em: https://visaosubnormal.org.br/downloads/serie_deficiencia_visual_vol5_cbo_bq.pdf. Acesso em: 22 ago. 2025.

PINHEIRO, Carolina Dias; ZARDO, Sinara Pollom. Braille e seis pontos em relevo na linha do tempo da acessibilidade. UnB Notícias, 6 jan. 2023. Disponível em: https://noticias.unb.br/artigos-main/6239-braille-e-seis-pontos-em-relevo-na-linha-do-tempo-da-acessibilidade. Acesso em: 8 ago. 2025.

ROBERT MCNEEL & ASSOCIATES. Rhinoceros [software]. Versão 7. Seattle: Robert McNeel & Associates, 2020. Disponível em: https://www.rhino3d.com/download/archive/rhino/7/latest/

. Acesso em: 28 ago. 2025.

WIKIPEDIA. Perkins Brailler. In: Wikipedia, The Free Encyclopedia. [8 ago 2025], publicado em data não informada e atualizado recentemente. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Perkins_Brailler

. Acesso em: 22 ago. 2025.

VISSOSSI, Alessandra Aparecida; LIMA, Hylea de Camargo Vale Fernandes. Guia digital de Tecnologia Assistiva na área da deficiência visual: uma ferramenta para a prática docente nas Salas de Recursos. Rio de Janeiro: Instituto Benjamin Constant, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/ibc/pt-br/educacao/educacao-superior/pos-graduacao-stricto-sensu/anexos-1/anexos/produto-educacional_guia-digital-de-tecnologia-assistiva-na-area-da-deficiencia-visual-uma-ferramenta-para-a-pratica-docente-nas-salas-de-recursos_alessandra-aparecida-vissossi.pdf

. Acesso em: 25 ago. 2025.