

CONSTRUÇÃO DE UMA IMPRESSORA BRAILLE A PARTIR DO REAPROVEITAMENTO DE UMA IMPRESSORA CONVENCIONAL

CONSTRUCTION OF A BRAILLE PRINTER BY REPURPOSING A CONVENTIONAL PRINTER

Álvaro Maia Chaves*

Alexandro Lima Damasceno**

RESUMO

O acesso a materiais em Braille é frequentemente restrito devido ao custo elevado das impressoras comerciais, que variam de R\$ 22.997,00 a R\$ 43.000,00, fato que limita integração em ambientes educacionais e institucionais. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo de impressora Braille, *open source* e de baixo custo, visando replicar a funcionalidade básica de impressoras comerciais com custo reduzido. O projeto utiliza um microcontrolador Arduino Uno como unidade central de processamento e baseia-se predominantemente no reaproveitamento de componentes de uma impressora convencional. O protótipo foi desenvolvido e testado, demonstrando sua viabilidade conceitual e estrutural, apesar de anomalias, para produção de texto em braille a um preço acessível.

Palavras-chave: Braille. Impressora. Baixo Custo. Arduino. Reaproveitamento.

ABSTRACT

Access to Braille materials is often restricted due to the high cost of commercial printers, which range from R\$22,997.00 to R\$43,000.00, limiting their integration into educational and institutional environments. This work presents the development of a low-cost, open-source Braille printer prototype, aiming to replicate the basic functionality of commercial printers at a reduced cost. The project uses an Arduino Uno microcontroller as the central processing unit and is predominantly based on the reuse of components from a conventional printer. The prototype was developed and tested, demonstrating its conceptual and structural viability, despite anomalies, for producing Braille text at an affordable price.

Keywords: Braille. Printer. Low cost. Arduino. Repurposing.

* Autor, Graduando em Ciência da Computação, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Aracati, CE, Brasil. E-mail: alvaro.maia05@aluno.ifce.edu.br

** Orientador, Mestre em Ciência da Computação, docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Aracati, CE, Brasil. E-mail: alexandro.lima@ifce.edu.br

1 INTRODUÇÃO

A visão é um dos sentidos mais importantes no ser humano; sem ela, a deficiência visual impõe desafios significativos ao acesso à informação escrita, sobretudo em contextos educacionais e institucionais. No Brasil, de acordo com o último censo do IBGE (2022) (IBGE, 2022), cerca de 823 mil cidadãos possuem perda total da visão, enquanto 7,1 milhões tem grande dificuldades. Para mitigar os efeitos dessa deficiência, meios de acessibilidade foram criados, como conversão de texto para áudio e o sistema braille (ARROYO, 2020).

O braille foi criado em 1825 por Louis Braille e atingiu sua versão final em 1837. O sistema trouxe um alfabeto que poderia ser usado por pessoas com deficiência visual com 96 sinais, organizados em uma matriz de 6 pontos, o que permite que pessoas com deficiência visual se alfabetizem, se expressem e acessem a mídia física (BECHARA, 2017). Para produzir caracteres em braille, o indivíduo pode usar ferramentas de punção¹ como regletes, criando seu próprio material em pequena escala. Para produção em larga escala, utilizam-se impressoras específicas que agilizam a tradução do texto, que é revisado antes da publicação (SANTOS, 2018a).

Contudo, a aquisição dessas impressoras comerciais representa uma barreira. Segundo Moreira (2023), de acordo com a União Mundial dos Cegos, apenas 5% das obras são transcritas para braille globalmente, índice que cai para 1% em países não desenvolvidos. Um dos possíveis motivos é o custo elevado das impressoras braille, que variam entre R\$ 22.997,00 e R\$ 43.000,00 no mercado brasileiro Lupa (2025), limitando sua adoção em escolas públicas e centros de apoio pedagógico.

Diante disso, este trabalho teve como objetivo explorar a capacidade de converter uma impressora convencional em uma impressora capaz de produzir textos em braille a um custo significativamente inferior, comparado ao de outras impressoras braille comerciais. Para isso, foi utilizado um microcontrolador Arduino para controle e comunicação com o programa de impressão, além de maximizar o reaproveitamento de componentes elétricos e mecânicos da impressora convencional.

O restante deste trabalho está estruturado em: Seção 2, apresenta a fundamentação teórica dos componentes e conceitos que são usados neste trabalho; Seção 3, aborda os trabalhos relacionados relevantes ao presente trabalho; Seção 4, descreve a metodologia de construção e uso dos componentes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção, é apresentado o embasamento teórico necessário para o desenvolvimento e o melhor entendimento deste trabalho. Exploraram-se os conceitos e padrões do sistema Braille, bem como as especificações e o funcionamento dos componentes de hardware utilizados no

¹ Ferramentas de punção consistem em um bastão metálico com ponta moldada, geralmente cônica em uma extremidade

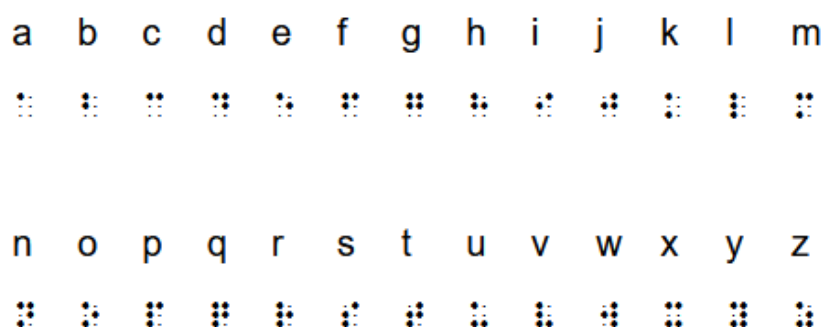
protótipo, incluindo o microcontrolador Arduino Uno, relés, servomotor, motores CC e encoders ópticos.

2.1 Braille

Os deficientes visuais constituem uma parcela da população que necessita de adaptações especiais para interagir com o mundo. A fim de proporcionar um nível maior de inclusão, como livros, para estes indivíduos foi criado o sistema braille. Idealizado por Louis Braille, o braille é um sistema de relevos em papel (gramatura 120 a 180 g/m²), organizado em células com pontos dispostos em duas colunas verticais de três pontos cada, assim cada célula permite formar 63 combinações distintas que representam caracteres alfabéticos, numéricos e símbolos da língua portuguesa (SANTOS, 2018a). Conforme ilustrado na Figura 1.

Dessa forma, o Braille é utilizado na produção de diversos materiais, como livros didáticos, documentos, sinalizações e embalagens.

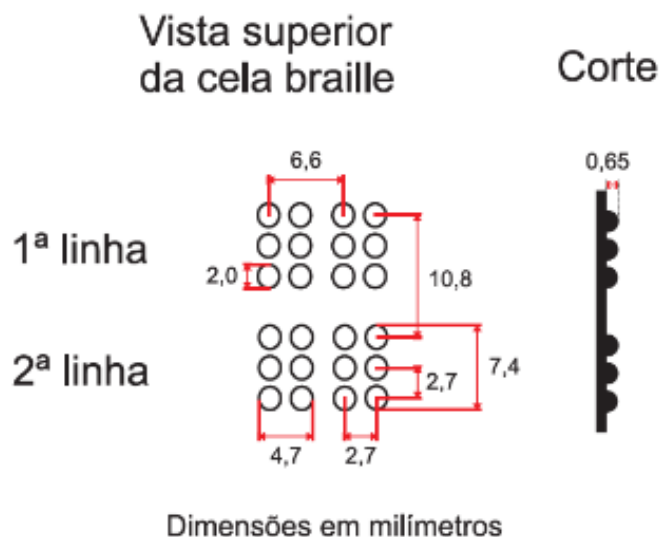
Figura 1 – Alfabeto Braille



Fonte: Grafia braille para língua portuguesa (SANTOS, 2018a).

Esse sistema permite produzir diversos materiais textuais e táteis, o que exige padronização para universalização da compreensão para que o leitor deficiente visual em qualquer parte do país possa acessar o conteúdo de forma consistente e eficiente. No Brasil, o documento que estabelece esse padrão é o documento Normas Técnicas para a Produção de Textos em Braille, do Ministério da Educação (MEC), que estabelece diretrizes para impressão – incluindo formatos, sequência e métricas das células. Segundo a ABNT NBR 9050 (SANTOS, 2018b), as células devem obedecer a dimensões específicas: distância entre pontos de 2,7 mm; espaçamento entre células de 6,6 mm (medido entre os primeiros pontos); dimensões totais da célula de 7,4 mm de altura por 4,7 mm de largura; e espaçamento entre linhas de 10,8 mm. Essas métricas são detalhadas na Figura 2.

Figura 2 – Padrão de Célula Braille



Fonte: Normas Técnicas para a Produção de textos em Braille (SANTOS, 2018b).

2.1.1 Impressoras

Impressoras Braille têm por finalidade agilizar a tradução e produção de textos em larga escala, sendo essenciais para a produção de material didático. Elas podem variar em funcionalidades que cada uma oferece, o que consequentemente influencia o preço. Tais funcionalidades incluem impressão frente e verso, impressão de texto ou elementos visuais (ou ambos), e outros elementos de acessibilidade, tanto técnicos quanto voltados para o usuário.

A impressora Braille Index Basic, na Figura 3, representa uma impressora comercial voltada para impressões em larga escala de qualidade, custando R\$ 43.000,00 possuindo capacidade para diversos meios de conexão, como Bluetooth, Wi-Fi e USB; alta compatibilidade com vários sistemas; textos, diagramas, tabelas e figuras em relevo; impressão contínua; 120 caracteres por segundo; e impressão frente e verso (VISÃO, 2025). Essas características a tornam uma impressora de alta qualidade, fácil uso e alta eficiência.

Figura 3 – Impressora Braille Index Basic



Fonte: <https://lojaamplavisao.com.br/produto/impressora-braille-index-basic/>

Para uma impressora mais acessível no mercado, a Embraille, na Figura 4, oferece o necessário básico para produção de textos em braille, custando R\$ 22.997,00. A Embraille oferece velocidade de impressão de 25 caracteres por segundo, impressão contínua e capacidade para imprimir gráficos e textos simultaneamente. Porém, não oferece impressão frente e verso e possui compatibilidade limitada com outros sistemas, restringe-se a USB e Windows (LUPA, 2025). Diferente da Index Basic, a Embraille é voltada para produções de texto básicas, em que é necessária apenas para impressões em pequena escala.

Figura 4 – Impressora Embraille



Fonte: <https://mundodalupa.com.br/produto/embraille/>

Assim o quadro 1 melhor representa a diferença de usabilidade e da necessidade de impressora. Demonstrando que a Embraille é ideal para demandas ocasionais, enquanto a Index Basic prioriza o desempenho industrial e como, devido a isso, a diferença de preço é justificada. Contudo, mesmo a opção de entrada sendo acima de R\$ 20.000,00, dificulta a aquisição tal equipamento, tornando necessário encontrar alternativas de mais baixo custo para impressão.

Quadro 1 – Comparativo impressoras comerciais

Característica	Index Basic (VISÃO, 2025)	Embraille (LUPA, 2025)
Preço	R\$ 43.000,00	R\$ 22.997,00
Caracteres por Segundo	120 cps	25 cps
Conectividade	Bluetooth, Wi-Fi, USB	USB
Compatibilidade	Vários sistemas	Windows
Impressão Frente e Verso	Sim	Não
Impressão Gráfica	Textos e Gráficos	Texto e Gráficos

Fonte: Autor

2.2 Arduino Uno ReV3 SMD

Para transformar uma impressora convencional em uma impressora Braille, é preciso uma unidade de processamento capaz de interpretar comandos de texto e executá-los, com precisão, o acionamento dos motores e a punção do sistema. Para esse fim, foi utilizado o Arduino Uno.

O Arduino Uno é um microcontrolador baseado no ATmega328, um pequeno computador em um chip, capaz de controlar componentes e sensores em protótipos profissionais ou educacionais. Conta com 14 pinos de E/S digitais (sendo 6 analógicos), entrada USB para comunicação serial e alimentação, 32 KB de memória flash e clock de 16 MHz (ARDUINO, 2025). Possui sua própria IDE, usando C/C++ como linguagem, com bibliotecas para facilitar e customizar projetos. Seu tamanho reduzido (Figura 5), preço acessível e capacidade de prototipagem o que o torna ideal para este projeto.

Figura 5 – Placa Arduino Uno ReV3 SMD



Fonte: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3-smd/>

2.3 Relé

O microcontrolador Arduino, devido à sua baixa tensão (5V), é incapaz de alimentar diretamente os motores reaproveitados de uma impressora, que exigem maior corrente (12V) para funcionar. Portanto, faz-se necessária uma fonte externa para alimentá-los. Contudo, para que o Arduino opere o chaveamento dessa tensão sem sofrer danos, é indispensável o uso de um dispositivo de interface, como o relé.

Relés funcionam como interruptores de um sistema elétrico. Seu funcionamento se dá por uma bobina que, ao ser energizada por uma corrente elétrica de baixo valor (proveniente do Arduino, por exemplo), gera um campo magnético que atrai uma alavanca metálica. Esse movimento mecânico fecha ou abre um conjunto de contatos, o que permite ou interrompe o fluxo de uma corrente elétrica muito maior em um circuito (GUSE, 2024b).

Figura 6 – Módulo Relé



Fonte: <https://www.eletrogate.com/modulo-rele-1-canal-5v>

2.4 Servomotor

Para executar a função de punção, é necessário um movimento rápido e controlado que avance o pino para punção no papel e volte para a posição original repetidamente, sendo assim necessário um motor capaz de controle angular para garantir a posição do pino.

Nesse contexto, o servomotor, figura 7, se mostra útil por utilizar um pulso de largura modulada (PWM) para definir o ângulo de rotação (entre 0° e 180°) (CAMERON, 2019); logo após isso, um sensor realiza a leitura da posição atual do eixo e envia essa informação ao controlador do motor, que compara a posição real com a desejada (definida pelo PWM recebido) e calcula a diferença (erro), fazendo os ajustes necessários para garantir que o motor avance até a posição recebida (GUSE, 2024a), tornando-o ideal para o controle de punção.

Figura 7 – Micro Servomotor



Fonte: <https://www.friendlywire.com/projects/ne555-servo-safe/SG90-datasheet.pdf>

2.5 Motor CC (Corrente Contínua)

Para o deslocamento horizontal do cabeçote (Eixo X) e o avanço do papel (Eixo Y), são exigidos motores com torque suficiente para superar o atrito gerado da estrutura da carcaça de impressoras convencionais.

Para esse fim, motores de corrente contínua (Motores CC) encontrados em impressoras convencionais já desempenham esse papel, convertendo energia elétrica em movimento rotacional

devido a campos magnéticos gerados por ímãs e bobinas no rotor localizado dentro da carcaça (Figura 8). Ao energizar o motor, os campos magnéticos induzem a rotação do eixo. Seu controle exige regulação da tensão aplicada para ajustar a velocidade (SIEMENS, 2006), contudo motores CC não monitoram a posição ou deslocamento, requerendo sensores ou dispositivos que façam esse controle monitorando a rotação de seu eixo.

Figura 8 – Motor CC (Corrente Contínua) retirado de uma impressora Epson



Fonte: <https://www.lojaimprex.com.br/motor-do-disco-encoder-epson-l355-l365-l375-l380-l395>

2.6 Encoder Óptico

Um problema ao usar motores como o de corrente contínua para tarefas de movimentação de precisão é a falta de controle de posicionamento. Diferente de servomotores, motores de corrente contínua não possibilitam o monitoramento do deslocamento posicional, o que, sem um sistema de compensação, dificulta o uso em impressoras. Para resolver a falta precisão, é usado um sensor chamado encoder óptico.

Encoders determinam a posição angular de eixos, como em motores CC. Os encoders ópticos operam mediante um feixe de luz (emitido por um LED) que atravessa um disco com faixas transparentes acoplado ao eixo (Figura 9). A rotação modula o feixe recebido por um sensor fotoelétrico, onde é interpretado e gera sinais que indicam a posição do eixo (LEINE, 2025). Encoders ópticos são frequentemente empregados em máquinas que exigem precisão de motores.

Figura 9 – Encoder Óptico



Fonte: (LEINE, 2025)

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Nesta seção, são apresentados trabalhos relacionados que abordam meios de construção e redução de custos em impressoras braille. Assim, foram procurados trabalhos que detalhem as especificações técnicas da forma mais precisa possível, para que se possa analisar a viabilidade e os possíveis meios de utilizá-las para a criação de uma impressora braille mais acessível.

No trabalho de Arroyo (2020), propõe-se a criação de um cabeçote de impressora braille para reduzir custos na produção de impressoras braille comerciais. Para alcançar esse objetivo, o autor faz um breve levantamento dos preços de impressoras no mercado americano, bem como dos possíveis meios de produção de um cabeçote, como os sistemas piezoelétrico, pneumático, eletromagnético e outros. Após isso, é apresentado o método do autor, que utiliza três pinos de punção movidos por um servomotor conectado a engrenagens. Essas transferem o movimento para três cames², que consequentemente controla os pinos de punção, que são alternados entre si a cada 120° pela rotação do servomotor. Para validar o protótipo, o autor também desenvolve um sistema de tradução para braille, capaz de receber arquivos e texto para tradução; porém, o autor não se aprofunda nesse aspecto. Como resultado, obteve-se um tempo de impressão de um caractere entre 0,5 e 1 segundo, mantendo a qualidade de gravação e reduzindo os custos.

Cruz, Giacomini e Galbarino (2019) propõem a criação de uma impressora braille multifuncional para auxiliar na escrita e leitura de deficientes visuais, ao desenvolverem uma máquina de baixo custo e fácil transporte que permite escrever autonomamente caracteres braille a partir de um teclado QWERTY. Os autores criaram um protótipo no software CAD Autodesk, dimensionado em torno de um solenoide³ que serve como meio de punção do papel. O protótipo também incluiu o dimensionamento de motores de passo e uma estrutura em PMMA (acrílico). Para controle dos componentes, foram usados Arduino Mega 2560 e módulo MOSFET IRF520N. Os autores atingiram os objetivos principais (facilidade de transporte e baixo custo) e obtiveram uma velocidade de impressão de uma linha em 23 segundos com qualidade satisfatória.

Odeh e Shehadeh (2023) têm como objetivo criar uma impressora braille de baixo custo, automática (alimentação de papel e impressão) e amigável ao usuário (com sons e displays). Para isso, os autores fizeram um levantamento dos componentes necessários e suas funções específicas. Em seguida, iniciaram a escolha do design, optando por uma estrutura inspirada em impressoras antigas. A construção foi realizada em madeira, utilizando os componentes previamente selecionados para controle. Posteriormente, foi desenvolvido um programa em React JS para interface com a impressora e envio do texto. Como resultado, obteve-se qualidade aceitável, embora tenham surgido dificuldades como problemas de precisão mecânica no solenoide, além de outros desafios relatados, desde a construção da estrutura em madeira até o funcionamento dos motores de passo.

² Uma came é uma peça excêntrica de movimento circular que compõe um conjunto mecânico. A função principal desse conjunto é transformar o movimento circular da came em movimento não circular no seguidor.

³ Um solenoide é um mecanismo eletromecânico que atua tanto como uma válvula pneumática quanto como uma válvula hidráulica.

No quadro 2 é mostrada uma comparação entre os trabalhos apresentados e o presente trabalho:

Quadro 2 – Comparativo dos Trabalhos Relacionados

Características	Galbarino (2019)	ARROYO (2020)	Odeh (2023)	Presente Trabalho
Baixo Custo	X	X	X	X
Usa Impressora Convencional			X	X
Brasileiro	X			X
Open Source			X	X

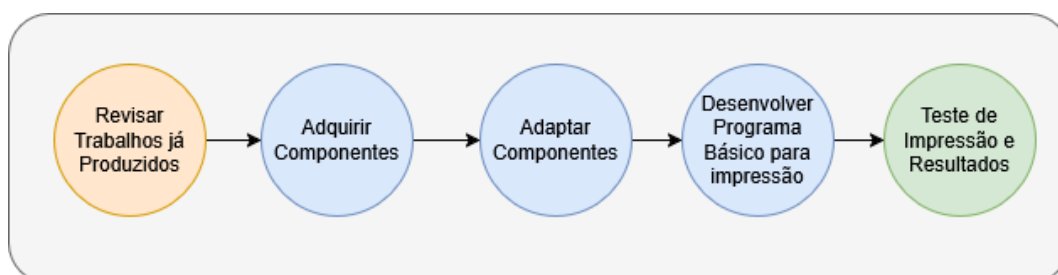
Fonte: Autor

Como mostrado pelo quadro 2, o presente trabalho, assim como os outros, também traz como principal objetivo ser de baixo custo, porém é focado no uso de uma impressora convencional no atual mercado brasileiro. Além disso, foi tomada como objetivo secundário a capacidade de reprodução ao detalhar o necessário para produção do protótipo, tornando-o open source.

4 METODOLOGIA

Nesta seção, é englobada a metodologia utilizada neste trabalho para a construção de uma impressora braille, dividida em cinco etapas, conforme representado no fluxograma da Figura 10. Na primeira etapa foi feita uma revisão dos trabalhos já existentes sobre esse tema, na qual o foco da revisão foi considerar métodos e componentes que seriam úteis ao decorrer deste trabalho. A segunda foi a aquisição de componentes, obtidos primariamente de uma impressora convencional. A terceira compôs a montagem, explorando-se métodos e adaptações para que os componentes se comportem de maneira adequada à impressão braille. Por fim, na quarta e quinta etapas, seguiu-se com a criação de um programa básico para que o usuário execute testes de impressão, seguido da análise e validação dos resultados.

Figura 10 – Fluxograma



Fonte: Autor

4.1 Aquisição de componentes

Para a aquisição de componentes, foram usados como referência trabalhos já existentes, nos quais são citados os componentes básicos de uma impressora e os elementos serão úteis para seu funcionamento, conforme explorado no trabalho de (ODEH; SHEHADEH, 2023). Para obter parte das peças, foi desmontada uma impressora convencional do modelo Epson 204, na qual foi possível obter dois motores CC, dois encoders e os componentes estruturais dela. Outros componentes não encontrados na impressora foram adquiridos por meio do laboratório LEMA, sendo eles um Arduino, um servomotor, dois relés e uma fonte externa de 12 volts. Tais componentes serviram como peças fundamentais para a montagem.

4.2 Adaptação de Componentes

Abaixo, apresentam-se os passos necessários para adaptar os componentes para o uso conjunto em uma impressora.

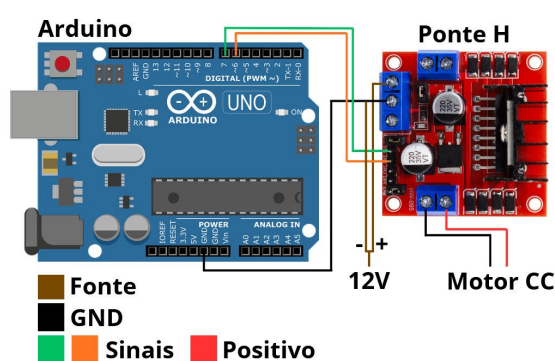
4.2.1 Adaptação do Eixo X

Para a movimentação no eixo X, ou seja, a movimentação do cabeçote para esquerda e direita, optou-se pela divisão em dois métodos. No primeiro método foi utilizado um dos motores CC, com o sensor encoder, ambos obtidos da impressora desmontada. Esse método dispõe de um controle mais preciso da posição do cabeçote, tornando-o o método ideal.

Para o segundo método foram usados dois relés para controle direto do motor CC da impressora, em que, apesar da falta de precisão de um encoder, o controle de precisão foi feito pelo tempo que os motores precisam estar acionados continuamente para executar os movimentos de espaçamento braille. Ambos os métodos visam à precisão do movimento do cabeçote no eixo X.

No primeiro método foi utilizado um dos motores CC da impressora em conjunto com uma ponte H⁴ para fazer a interface com o Arduino, conectado a uma alimentação externa de 12 volts. Em seguida, a ponte H ao Arduino, conforme esquema mostrado na Figura 11.

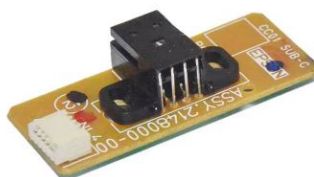
Figura 11 – Esquema de ligação motor CC



⁴ Um circuito de potência que pode determinar o sentido da corrente e a tensão em um dado componente.

Como citado anteriormente, o motor CC carece de precisão de movimento posicional, requisito necessário na impressão braille para mover o mecanismo de punção entre linhas e pontos. Portanto, o motor foi utilizado em conjunto com um encoder que foi adaptado da impressora Epson, mostrado na Figura 12.

Figura 12 – Encoder Epson do Cabeçote



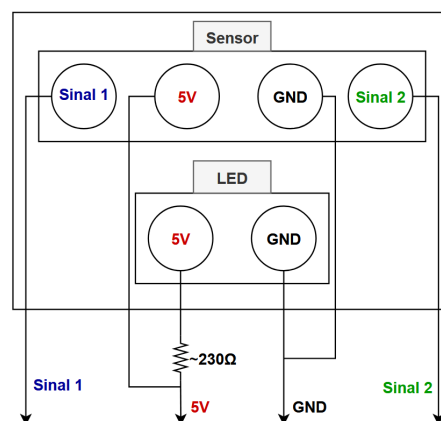
Fonte: <https://www.lojaimprex.com.br/sensor-fita-encoder-carro-impressao-epson-l3110-l3150-l3210-l3250>

Utilizando como base a adaptação feita por Criações MMS (2022), identificaram-se os pinos negativos, positivos e os de sinais, utilizou-se a biblioteca "Encoder" para o controle dos sinais recebidos pelo encoder.

Por meio de testes de continuidade com um multímetro, foi verificada a continuidade do negativo do LED em relação ao negativo do sensor, determinando ambos os negativos. A continuidade do positivo foi verificada em relação à saída flat do encoder, encontrando os positivos tanto do LED como do sensor; os restantes são dados como pinos de sinais.

Ao determinar o que cada pino representa, foi necessário soldá-los para fazer interface com o Arduino da seguinte forma: ambos os negativos foram ligados em um único fio; no pino positivo do LED foi inserido um resistor de $230\ \Omega$ entre o pino e a saída; o pino positivo do sensor foi ligado após o resistor do positivo do LED; e os dois sinais foram soldados individualmente, conforme o esquema da Figura 13. Após soldá-los, foram ligados o fio positivo à saída 5V do Arduino, o negativo ao GND, e os sinais às portas digitais do Arduino.

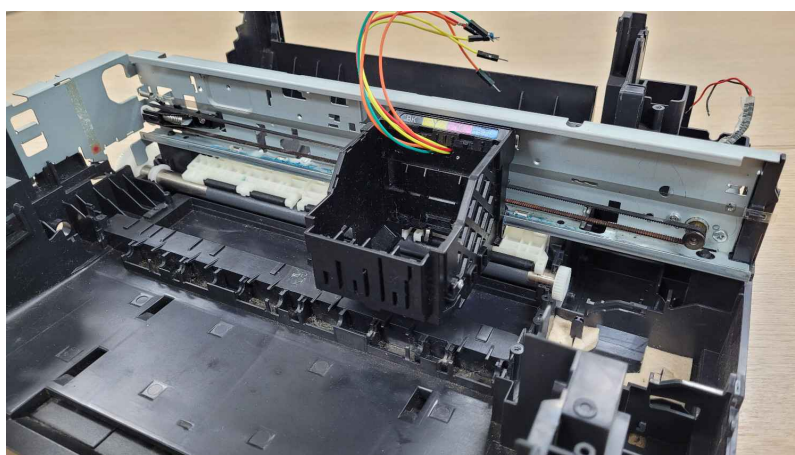
Figura 13 – Esquema de ligação Encoder



Fonte: Autor

Com os componentes conectados ao Arduino, o motor foi conectado à correia da estrutura da impressora para controlar o movimento do cabeçote de impressão. Enquanto que no cabeçote é feito uma pequena abertura para a passagem dos fios do encoder, que por sua vez informará a posição do cabeçote por meio da fita do encoder, também presente na estrutura, ambos mostrados na figura 14.

Figura 14 – Encoder acoplado no cabeçote



Fonte: Autor

Ao testar os componentes em funcionamento conjunto, observou-se que, para que o encoder retorne a posição correta do cabeçote para o Arduino, é necessário que o motor se mova em velocidade reduzida, fazendo a velocidade do cabeçote variar pelo percurso; assim, notou-se que em alguns locais se obtinha maior resistência no movimento. Com essa limitação causada pelo percurso do cabeçote, não foi possível obter um espaçamento constante e adequado ao padrão braille.

Para o segundo método, a fim de evitar a limitação encontrada no percurso do cabeçote, foram utilizados dois relés, um para controle de giro horário e outro para controle anti-horário do motor, ambos conectados a 2 entradas de sinais digitais no Arduino, uma fonte de alimentação externa de 12 volts, e os dois pólos do motor em cada relé, como mostrado no esquema na figura 15. Adicionalmente, foram adicionados botões de fim de curso⁵ em cada extremidade do percurso para determinar o início e o fim do caminho.

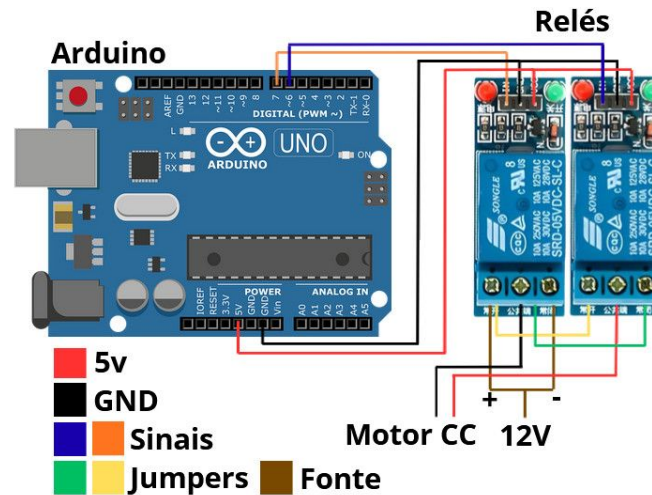
Para manter o controle da posição do cabeçote utilizando motores CC, calibraram-se os relés com o tempo de ativação necessário para cada espaço dos pontos e células braille, ou seja, o tempo que cada relé deve ser mantido acionado para que o motor alcance a posição necessária, resultando entre 22 milissegundos (2,5 mm) entre pontos e 30 milissegundos (3 mm) entre células.

Ao utilizar dois relés para fazer o movimento do motor CC, foi demonstrado um espaçamento melhorado e constante. Adicionalmente, ao ligar os motores em sua velocidade máxima

⁵ São como um interruptor que comuta circuitos elétricos ao serem acionados por uma força física, como quando uma parte móvel encosta em sua paleta.

em uma fonte de 12 volts de maneira controlada utilizando os relés, eliminou-se a alternância de velocidade causada pelo atrito em trechos do percurso do cabeçote.

Figura 15 – Esquema motor CC com dois relés

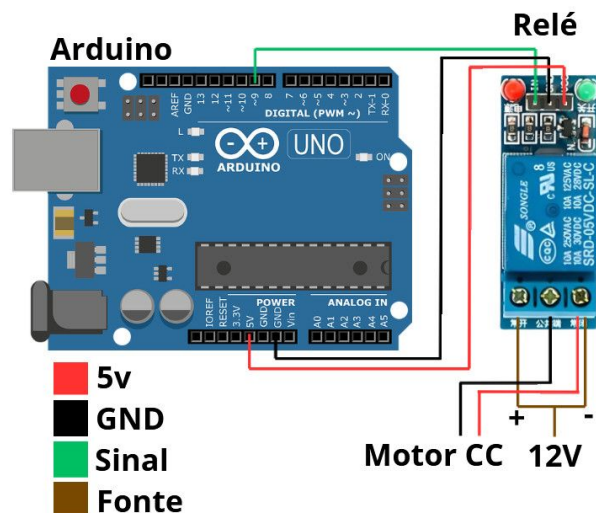


Fonte: Autor

4.2.2 Adaptação do Eixo Y

Para a movimentação do papel (no eixo Y), é necessária apenas uma direção, ou seja, o uso do outro motor CC conectado a um único relé para promover o avanço do papel. Similarmente ao método escolhido para movimentar o eixo X, este relé foi ligado à fonte externa de 12 volts junto com os outros relés, enquanto ambos os polos do motor foram ligados a ele, como mostrado no esquema da figura 16. Para calibragem também foi medido o tempo de ativação do motor pelo relé, necessário para espaçamento, levando a um espaçamento entre linhas de 22 milissegundos (2,5 mm) e quebra de linha entre células de 42 milissegundos (6 mm).

Figura 16 – Esquema motor CC junto ao um relé

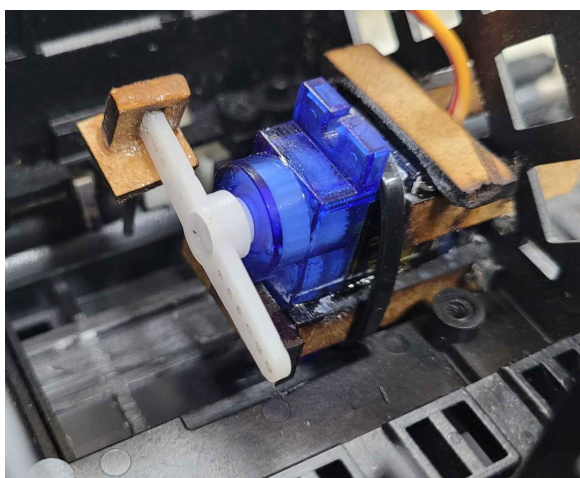


Fonte: Autor

4.2.3 Adaptação do cabeçote

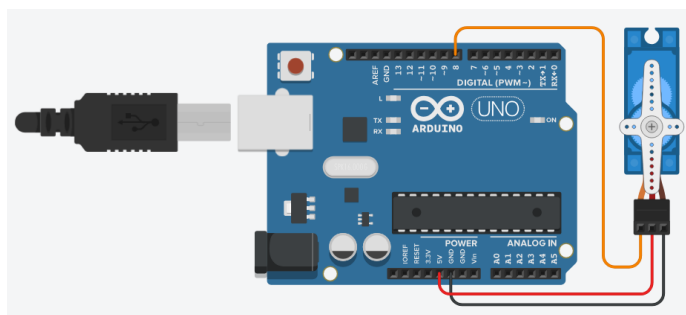
Para realizar a punção no papel, foi utilizado um servomotor fixado dentro do cabeçote da impressora com o auxílio de um suporte estrutural de madeira; adicionalmente, foi lixada a parte inferior do cabeçote para garantir a folga necessária entre o papel e a base. Para executar a punção, empregou-se uma haste metálica de 1 milímetro, que foi acoplada à extremidade do braço do servo com um adaptador de madeira, representado na figura 17. A figura 18 mostra o esquema de ligação do servomotor, no qual são conectados 5V, GND e um sinal digital ao Arduino.

Figura 17 – Cabeçote adaptado



Fonte: Autor

Figura 18 – Esquema de fios Servo Motor



Fonte: Autor

4.3 Implementação da Comunicação Impressora-Usuário

Para executar testes de impressão, é necessária uma interface simples que facilite o envio de comandos de impressão. Para isso, foi utilizada a comunicação serial entre o Arduino e um programa externo em Python⁶, que oferece suporte a essa comunicação.

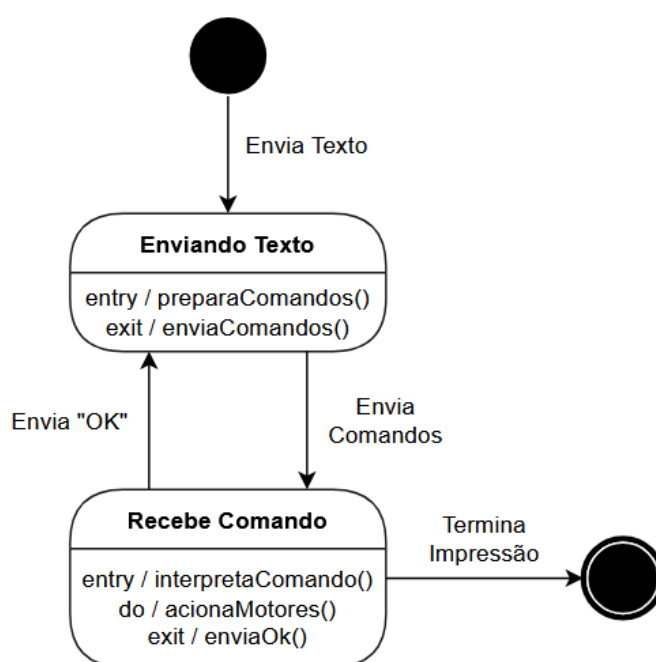
O código Python recebe um arquivo de texto, segmenta o conteúdo, identifica o braille e o converte em um vetor de números de 0 a 5, que representam comandos específicos: 0: Sem

⁶ Disponível em: <https://github.com/PreciousMy/Prototipo-Impressora-Braille.git>

punção e avanço. 1: Punção e avanço. 2: Espaço entre células. 3: Quebra de linha (avança o papel para a próxima linha e retorna o cabeçote ao início). 4: Avança o papel para a próxima linha de célula (salto entre linhas de células). 5: Ejeção do papel ao terminar a impressão.

Em seguida, aguarda que o Arduino envie a mensagem "OK" para começar a receber. O programa Python então começa a enviar os comandos do vetor. Após o envio, o Arduino interpreta os comandos e executa de acordo com suas funções de controle dos eixos e punção até concluir o processamento atual de comandos enviados, assim até o fim do vetor. Ao terminar, o Arduino envia "impressão terminada" e o programa Python envia o comando de ejeção do papel. Esse funcionamento é representado pelo diagrama de estados da Figura 19.

Figura 19 – Diagrama de Estado da impressora



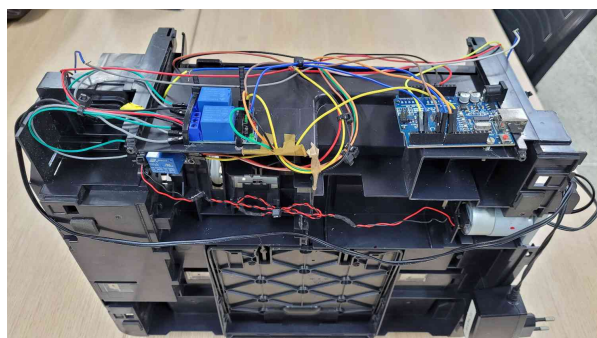
Fonte: Autor

5 RESULTADOS

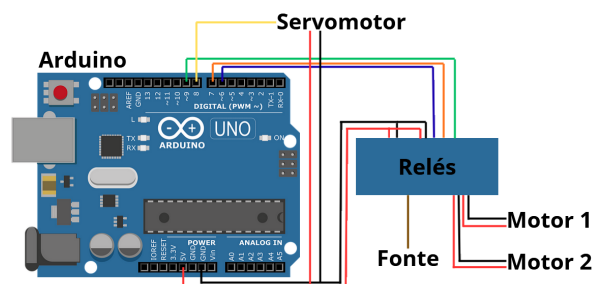
Nesta seção, apresentam-se os resultados dos testes de impressão realizados com o protótipo de impressora braille.

O protótipo desenvolvido, mostrado na figura 20, demonstrou viabilidade na produção de textos em braille. A integração dos componentes mostrou-se capaz de promover a operação conjunta, especialmente os motores que, apesar de não serem precisos, executaram os movimentos comandados pelo software via temporização.

Figura 20 – Protótipo finalizado da impressora braille



(a) Visão Traseira



(b) Esquema Final

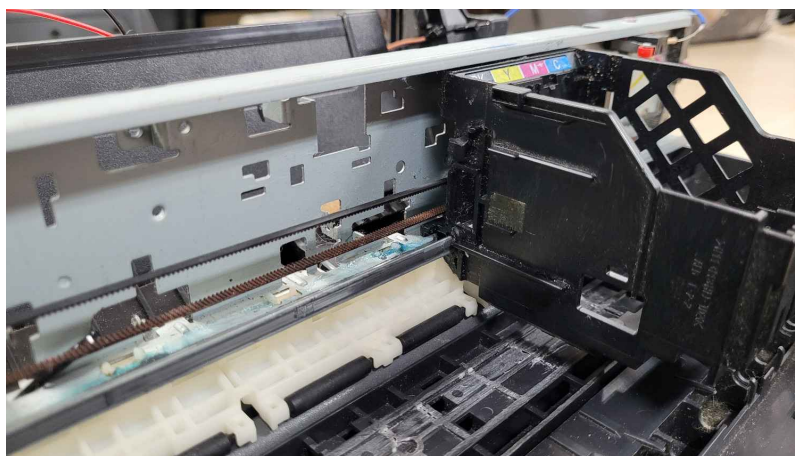
Fonte: Autor

Apesar de o sistema de punção demonstrar a capacidade de puncionar o papel, a estratégia adotada para adaptar o cabeçote não demonstrou resultados satisfatórios ao realizar a punção; devido à construção do cabeçote, não foi possível manter a fixação durante a operação contínua do sistema, além da inconsistência na punção. Assim, os resultados de impressão foram obtidos por meio da marcação manual no momento da punção. Para otimizar a precisão nessa abordagem, foi determinado um ponto de referência no cabeçote.

Para testar, a impressão foi realizada de duas formas: primeiro, com um texto curto que não exigisse quebra de linha, e segundo, com um texto extenso para simular uma quebra de linha na impressão.

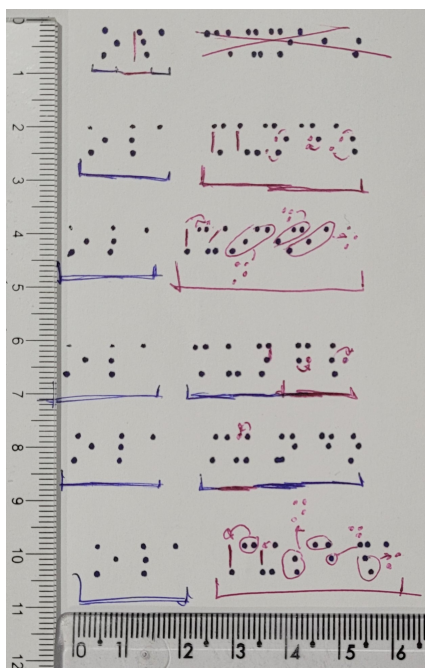
Para o texto curto, utilizou-se a sequência "Olá Mundo". Após a impressão ser repetida seis vezes, notou-se que, ao longo do percurso do cabeçote, figura 21, a impressão perde sua precisão, ocorrendo falhas de formação da célula ou apenas um desalinhamento entre pontos da mesma célula. Porém, no início do texto, a impressão apresentou resultados satisfatórios no formato de suas células braille, que respeitaram o espaçamento adequado com mínimas anomalias causadas pelo percurso do cabeçote, conforme destacado em azul na Figura 22.

Figura 21 – Percuso do cabeçote



Fonte: Autor

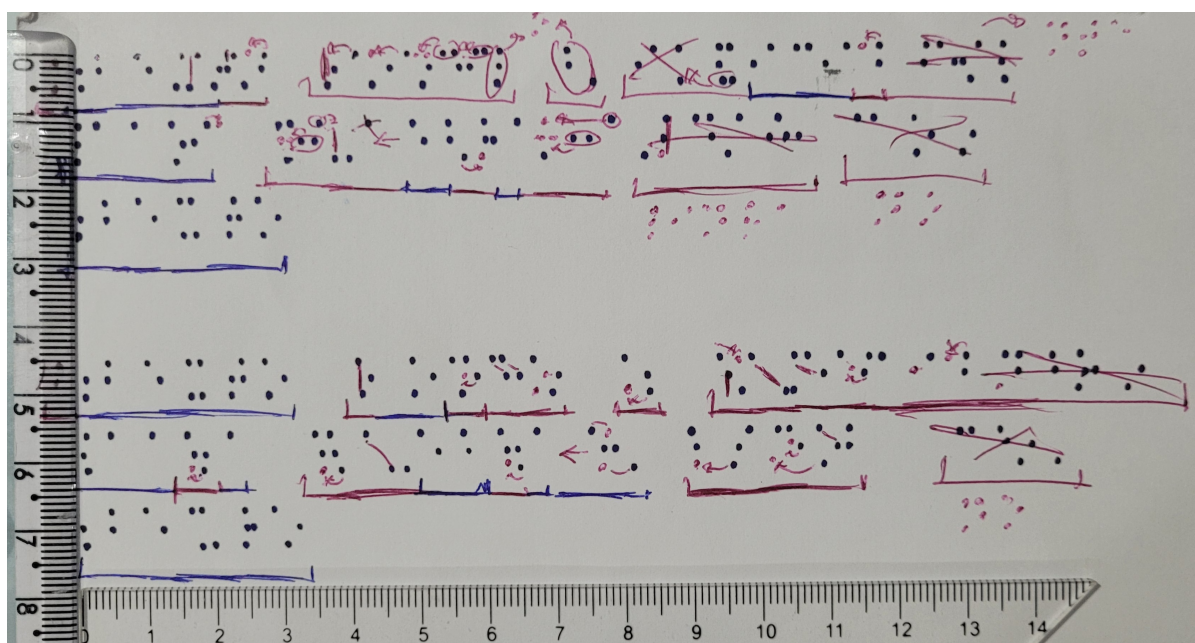
Figura 22 – Teste impressão com o texto curto.



Fonte: Autor

Para o texto extenso, utilizou-se a sequência de entrada "Texto longo o suficiente para quebrar linha no texto", para avaliar o movimento de quebra de linha da impressora. Após executar duas vezes o mesmo texto, observou-se o mesmo padrão de anomalias causadas pelo percurso do cabeçote, como apresentado no texto curto: a partir de uma determinada posição da impressão, perde-se o alinhamento entre os pontos das células, porém é mantida uma consistência nas células iniciais, demonstrado por azul na Figura 23.

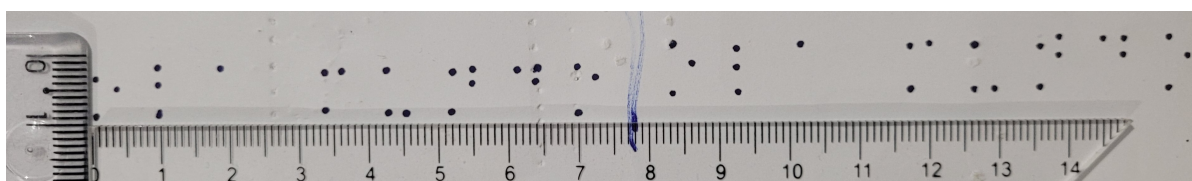
Figura 23 – Teste impressão com o texto extenso.



Fonte: Autor

Um teste adicional foi efetuado utilizando o texto "Olá Mundo" duas vezes, no qual o código Python responsável por enviar comandos foi adaptado de forma a criar uma impressão vertical começando da esquerda para a direita. O resultado, conforme previsto, foi a redução das anomalias causadas pelo percurso do cabeçote encontradas nas impressões anteriores, como mostrado na Figura 24, rotacionada para melhor visualização.

Figura 24 – Teste impressão na vertical



Fonte: Autor

Apesar das anomalias observadas no decorrer da impressão, criadas pela estrutura do percurso do cabeçote da impressora utilizada, o protótipo foi capaz de demonstrar capacidade de impressão braille a um custo reduzido, com uma média de tempo de impressão de 29,52 segundos para o texto curto e 154,70 segundos para o texto extenso, o que leva a um tempo aproximado de 0,30 caracteres por segundo. Comparada a outras impressoras comerciais no quadro 3, essa velocidade se mostra inferior a modelos de entrada como a Embraille; em contrapartida, o projeto valida-se como uma alternativa viável de acessibilidade de baixo custo em pequena escala.

Quadro 3 – Comparativo de Impressoras

Característica	Este Protótipo	Embraille (LUPA, 2025)	Index Basic (VISÃO, 2025)
Caracteres por Segundo	0,30 cps	25 cps	120 cps
Conectividade	USB	USB	Bluetooth, Wi-Fi, USB
Compatibilidade	Windows, Linux	Windows	Vários Sistemas

Fonte: Autor

Ao utilizar componentes primariamente reutilizados de uma impressora convencional, foi reduzido significativamente o custo necessário para a aquisição/produção de uma impressora. Além da impressora reutilizada, o uso de componentes de fácil acesso e de bom desempenho complementou este objetivo. Com o total de R\$ 513,39, sujeito a variações conforme a procedência da sucata, o protótipo desenvolvido se torna uma opção a outras impressoras comerciais, principalmente uma de entrada como a Embraille, como mostrado na tabela 4.

Tabela 4 – Tabela de custos do protótipo desenvolvido comparado a outras impressoras

Componente	Preço (R\$)
1x Impressora Convencional Reutilizada (Estimativa)	400,00
1x Arduino	44,90
3x Relés	14,53
1x Servomotor	24,90
Total do Protótipo	513,39
Impressora comercial Embraille	22.997,00
Impressora comercial Index Basic	43.000,00

Fonte: Autor

6 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo explorar a capacidade de converter uma impressora convencional em uma impressora capaz de produzir textos em braille a um custo significativamente inferior, comparado ao de outras impressoras braille comerciais.

A criação do protótipo demonstrou viabilidade conceitual e estrutural, permitindo produzir movimentos apropriados com os componentes provenientes da impressora reutilizada, minimizando a necessidade de componentes adicionais, além de proporcionar uma estrutura para acoplá-los. Porém, evidenciou-se a necessidade de reprojeter a abordagem de punção no cabeçote, devido ao seu desempenho insatisfatório obtido nos testes, em que, devido à estrutura do cabeçote, não foi possível garantir a estabilidade da fixação e a consistência de perfuração.

Os resultados de impressão, obtidos por meio de marcações manuais no momento da punção, confirmam a capacidade de produção de textos em braille do protótipo. Embora a impressão apresente anomalias ao longo do percurso (variando de erros completos a desalinhamentos) devido à estrutura reutilizada, observou-se que, no início do percurso, os resultados foram constantes e satisfatórios, aderindo ao padrão braille. Considerando as anomalias causadas pelo caminho do cabeçote, foi executado um teste de impressão vertical da esquerda para a direita, que confirmou que o problema se encontra na própria estrutura da impressora, no trilho de deslocamento do cabeçote.

Para trabalhos futuros, a reestruturação do método de punção é recomendada, de forma que ofereça um mecanismo mais duradouro, rápido e preciso com o uso de pistões ou solenoides. Testes com outra impressora reutilizada são uma possibilidade, em busca de confirmar de maneira definitiva se os problemas encontrados na impressão estão presentes apenas na estrutura de percurso da impressora utilizada ou em outros componentes. Além disso, a elaboração de uma estrutura externa para melhor manuseio seria ideal.

REFERÊNCIAS

- ARDUINO. **UNO R3 SMD | Arduino Documentation**. 2025. Acessado em: 16 de Abril de 2025. Disponível em: <<https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3-smd/>>.
- ARROYO, J. Design and Implementation of a Low-Cost Printer Head for Embossing Braille Dots on Paper. **International Journal of Emerging Trends in Engineering Research**, v. 8, n. 9, p. 6183–6190, set. 2020. ISSN 23473983. Disponível em: <<http://www.warse.org/IJETER/static/pdf/file/ijeter206892020.pdf>>.
- BECHARA, J. O Legado de Louis Braille. 2017. Disponível em: <<https://revista.ibc.gov.br/index.php/BC/article/view/440>>.
- CAMERON, N. Servo and Stepper Motors. In: **Arduino Applied**. Berkeley, CA: Apress, 2019. p. 157–176. ISBN 978-1-4842-3959-9 978-1-4842-3960-5. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-1-4842-3960-5_8>.
- Criações MMS. **Encoder de Impressora no Arduino**. 2022. Acessado em: 13 de Maio de 2025. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=GalWko4Z0Ow>>.
- CRUZ, B. S.; GIACOMIN, A.; GALBARINO, L. F. G. Fast Braille – Impressora com Múltiplas Funções para Auxiliar a Escrita de Deficientes Visuais II. 2019. Disponível em: <http://reunioessbpc.org.br/campogrande/inscitos/resumos/3916_1d4e15acebbc873c75aea56737078af82.pdf>.
- GUSE, R. **O que é servo motor? Funcionamento, tipos e como testar**. 2024. Acessado em: 02 de Dezembro de 2025. Disponível em: <<https://www.makerhero.com/blog/o-que-e-servo-motor/>>.
- GUSE, R. **O que é um relé? Funcionamento, tipos e como testar**. 2024. Acessado em: 03 de novembro de 2025. Disponível em: <<https://www.makerhero.com/guia/componentes-eletronicos/rele/>>.
- IBGE. **Censo Demográfico 2022 : pessoas com deficiência e pessoas diagnosticadas com transtorno do espectro autista : resultados preliminares da amostra / IBGE**. 2022. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2102178>>.
- LEINE, L. **Encoder Technology Details & Descriptions**. 2025. Disponível em: <https://pdb-media.leinelinde.se/media/file/5354/1073559-01_Encoder_technology_eng.pdf>.
- LUPA, M. da. **Impressora Braille Archives - Mundo da Lupa**. 2025. Acessado em: 01 de Maio de 2025. Disponível em: <<https://mundodalupa.com.br/categoria-produto/braille/impressora-braille/>>.
- MOREIRA, R. E. C. A Formação Leitora e a Deficiência Visual: Reflexões Sobre o Acesso à Literatura Braille. 2023. Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/27529>>.
- ODEH, M.; SHEHADEH, N. A. A. Brail Printer. 2023. Disponível em: <<https://hdl.handle.net/20.500.11888/18652>>.
- SANTOS, C. d. F. **Grafia braille para língua portuguesa**. Sec. de Educ. Continuada, Alfabetiz., Diversid. e Inclusão, 2018. ISBN 978-85-7994-092-7. Disponível em: <<https://www.gov.br/ibc/pt-br/pesquisa-e-tecnologia/materiais-especializados-1/livros-em-braille-1/o-sistema-braille>>.

SANTOS, F. C. d. **Normas técnicas para a produção de textos em braille**. Sec. de Educ. Continuada, Alfabetiz., Diversid. e Inclusão, 2018. ISBN 978-85-7994-094-1. Disponível em: <<https://www.gov.br/ibc/pt-br/pesquisa-e-tecnologia/materiais-especializados-1/livros-em-braille-1/o-sistema-braille>>.

SIEMENS. **Motores de Corrente Contínua Guia rápido para uma especificação precisa**. 2006. Disponível em: <http://marioloureiro.net/tecnica/electrif/Motores_CC_ind1.pdf>.

VISÃO, A. **Impressora Braille Index Basic - Loja Virtual Ampla Visão**. 2025. Acessado em: 04 de Junho de 2025. Disponível em: <<https://lojaamplavisao.com.br/produto/impressora-braille-index-basic/>>.