

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ (UTFPR)
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

FERNANDO HENRIQUE RATUSZNEI CAETANO
MATEUS FILIPE DE ORNELAS RAMPIM
RODRIGO MOLIANI BRAGA
VICTOR GABRIEL ALMEIDA E ALMEIDA

BOARDBOT

OFICINA DE INTEGRAÇÃO 2 - RELATÓRIO FINAL

CURITIBA
2025

FERNANDO HENRIQUE RATUSZNEI CAETANO
MATEUS FILIPE DE ORNELAS RAMPIM
RODRIGO MOLIANI BRAGA
VICTOR GABRIEL ALMEIDA E ALMEIDA

BOARDBOT

Relatório Final da disciplina Oficina de Integração 2, do curso de Engenharia de Computação apresentado aos professores que ministram a mesma na Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção da aprovação da disciplina.

Orientador: Prof. Dr. César Manuel Vargas Benítez

CURITIBA
2025

RESUMO

O projeto BoardBot trata-se da automação de desenhos em quadros brancos por meio de um robô plotter vertical. O sistema compõe-se por dois motores de passo para movimentar um pêndulo com uma caneta, permitindo a representação precisa de imagens enviadas por um software. O projeto destaca-se em suas aplicações destinadas a ambientes educacionais, profissionais e artísticos. A solução é composta por três principais componentes: uma interface de usuário, responsável pelo processamento da imagem, um controlador Raspberry Pi, cuja função é movimentar os motores de passo e controlar o uso da caneta, e a estrutura mecânica que permite a movimentação sobre o quadro branco. Os resultados demonstram a viabilidade do projeto, exibindo a capacidade do sistema em representar diversas figuras e ilustrações com precisão satisfatória.

Palavras-chave: Automação de desenhos, Plotter Vertical, Plotter Polar, Motores de passo.

ABSTRACT

The BoardBot project focuses on the automation of drawings on whiteboards through a vertical plotter robot. The system consists of two stepper motors that move a pendulum with a pen, allowing the precise representation of images sent by software. The project stands out for its applications in educational, professional, and artistic environments. The solution is composed of three main components: a user interface, responsible for processing the image; a Raspberry Pi controller, which moves the stepper motors and controls the pen usage; and the mechanical structure, which enables movement across the whiteboard. The results demonstrate the feasibility of the project, showcasing the system's ability to accurately represent various figures and illustrations.

Key-words: Drawing automation, Vertical Plotter, Polar Plotter, Stepper motors.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
1.1. MOTIVAÇÃO	5
1.2. OBJETIVOS	5
1.2.1. OBJETIVO GERAL	6
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	7
2.1. Conversão entre coordenadas bipolares e coordenadas cartesianas	7
2.2. Vetorização da Imagem	10
3. METODOLOGIA	11
3.1. Projeto mecânico	11
3.2. Projeto de hardware	13
3.3. Projeto de Software	17
3.4. Integração	17
4. EXPERIMENTOS E RESULTADOS	18
4.1. Descrição dos Testes	18
4.2. Resultados Obtidos	18
4.3. Discussão	19
5. CRONOGRAMA E CUSTOS DO PROJETO	20
5.1. CRONOGRAMA	20
5.2. CUSTOS	20
6. CONCLUSÕES	21
6.1. Conclusão	21
6.2. Trabalhos Futuros	21
7. REFERÊNCIAS	22

1.INTRODUÇÃO

Muitas pessoas hoje dependem de representações visuais e diagramas precisos em suas rotinas, seja no trabalho, em estudos, ou até em apresentações criativas. No entanto,desenhar manualmente em um quadro branco pode ser demorado e impreciso, dificultando a comunicação de ideias complexas. Pensando nisso, o Robô de Desenho em Quadro Branco foi desenvolvido para automatizar o processo de criação de gráficos, diagramas e ilustrações detalhadas. Esse dispositivo utiliza um sistema de plotagem polar vertical que permite desenhar com precisão em um quadro branco, oferecendo uma solução prática e eficaz para profissionais, educadores e artistas que buscam uma apresentação visual impecável e interativa.

1.1. MOTIVAÇÃO

A comunicação visual é essencial em diversos contextos acadêmicos, profissionais e artísticos, mas a criação manual de desenhos em quadros brancos pode ser imprecisa e demorada. Isso pode dificultar o aprendizado, a transmissão de ideias e a acessibilidade de informações.

A automação desse processo torna a comunicação mais eficiente e inclusiva, permitindo que mais pessoas, independentemente de habilidades motoras ou artísticas, tenham acesso a representações visuais precisas. Dessa forma, o BoardBot busca otimizar o uso de quadros brancos, tornando a apresentação de conteúdos mais ágil, clara e acessível para todos.

1.2. OBJETIVOS

Dado um desenho vetorial digital, desejamos criar uma reprodução do desenho em um quadro branco. Para tal, será desenvolvido um robô Plotter Polar Vertical, codinome BoardBot. O robô consistirá de um pêndulo com posição controlada por dois motores montados nos cantos superiores de um quadro branco.

1.2.1. OBJETIVO GERAL

Desenvolver o BoardBot para automatizar a plotagem de desenhos vetoriais em quadro branco, garantindo precisão, velocidade e fidelidade na reprodução das imagens.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Projetar e implementar o mecanismo de plotagem com controle polar vertical.
- Desenvolver algoritmos para converter desenhos vetoriais em trajetórias de movimento.
- Integrar os motores.
- Realizar testes práticos para validar a qualidade e a precisão da reprodução.

2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Conversão entre coordenadas bipolares e coordenadas cartesianas

O posicionamento na caneta no plano de desenho é definido pelo comprimento das correias montadas nos motores. Na figura 1 é apresentado o plano de coordenadas bipolares que é descrito pelo movimento das duas correias, as curvas desenhadas são arcos de circunferências traçadas alterando o comprimento de apenas uma correia por vez. A figura a ser desenhada existe sobre o plano cartesiano, apresentado na figura 2 Logo, é necessária a conversão entre esses dois sistemas de coordenadas.

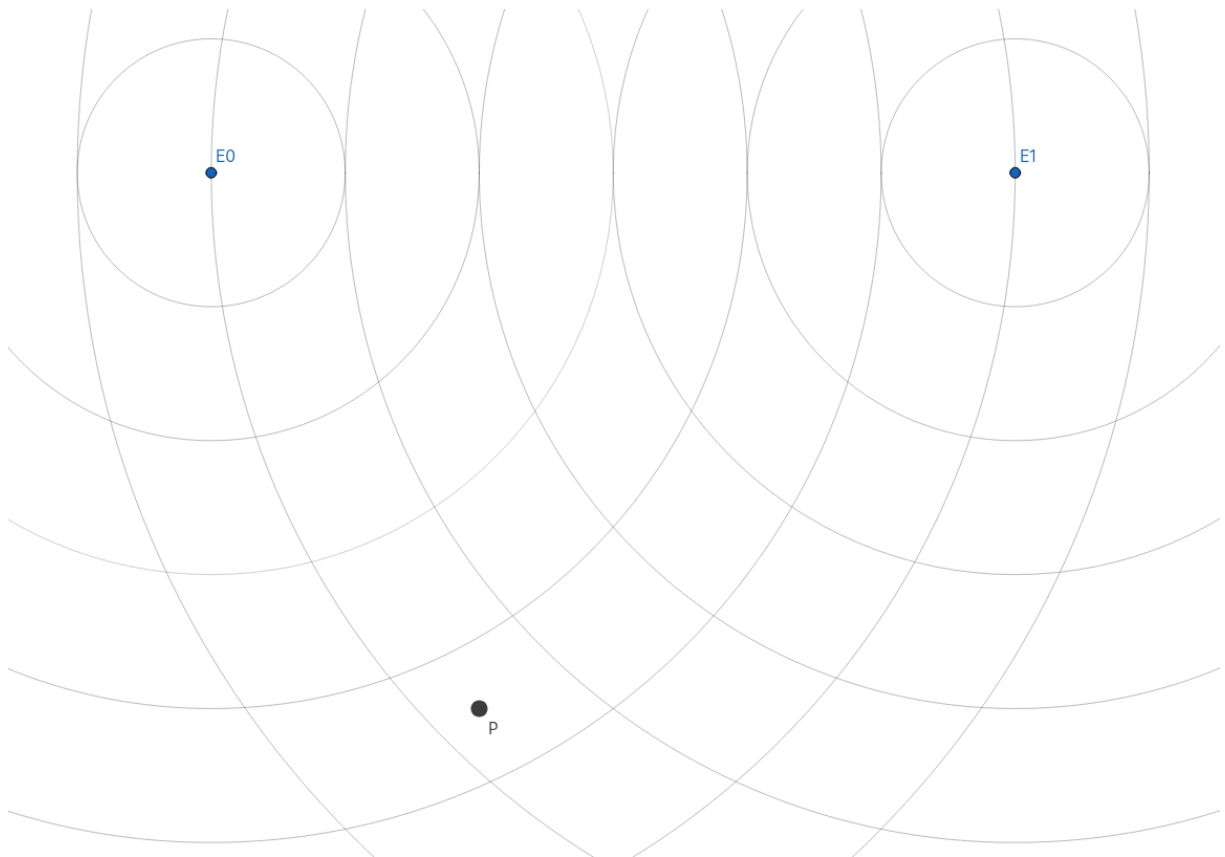


Figura 1: Plano de coordenadas bipolares

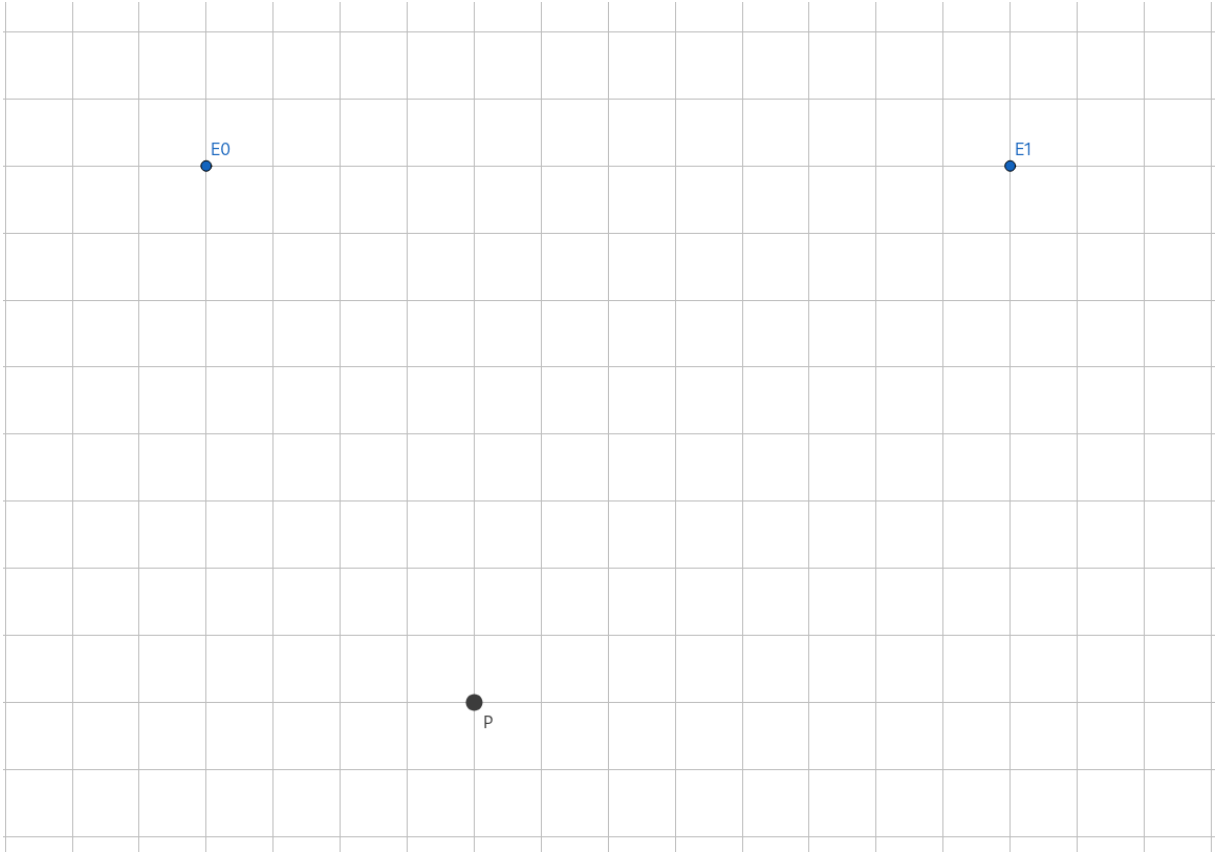


Figura 2: Plano cartesiano

As fórmulas para conversão entre os sistemas de coordenadas podem ser calculadas encontrando o ponto de intersecção entre duas circunferências centradas nos eixos dos motores de raios iguais aos comprimentos das correias. Essa imagem pode ser observada na figura 3

Para realizar a conversão do sistema cartesiano para o sistema de coordenadas bipolares basta calcular-se as distâncias entre o ponto P e cada eixo. Tendo as distâncias como entre P e os eixos como r_0 e r_1 , e a largura do quadro como w , as fórmulas são:

$$r_0 = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$r_1 = \sqrt{(w - x)^2 + y^2}$$

E para realizar a conversão do sistema de coordenadas bipolares para o sistema cartesiano, são aplicadas as fórmulas de intersecção entre duas circunferências. É considerada apenas a solução onde y é positivo. As fórmulas são:

$$x = \frac{r_0^2 - r_1^2 + w^2}{2w}$$

$$y = \sqrt{r_0^2 - x^2}$$

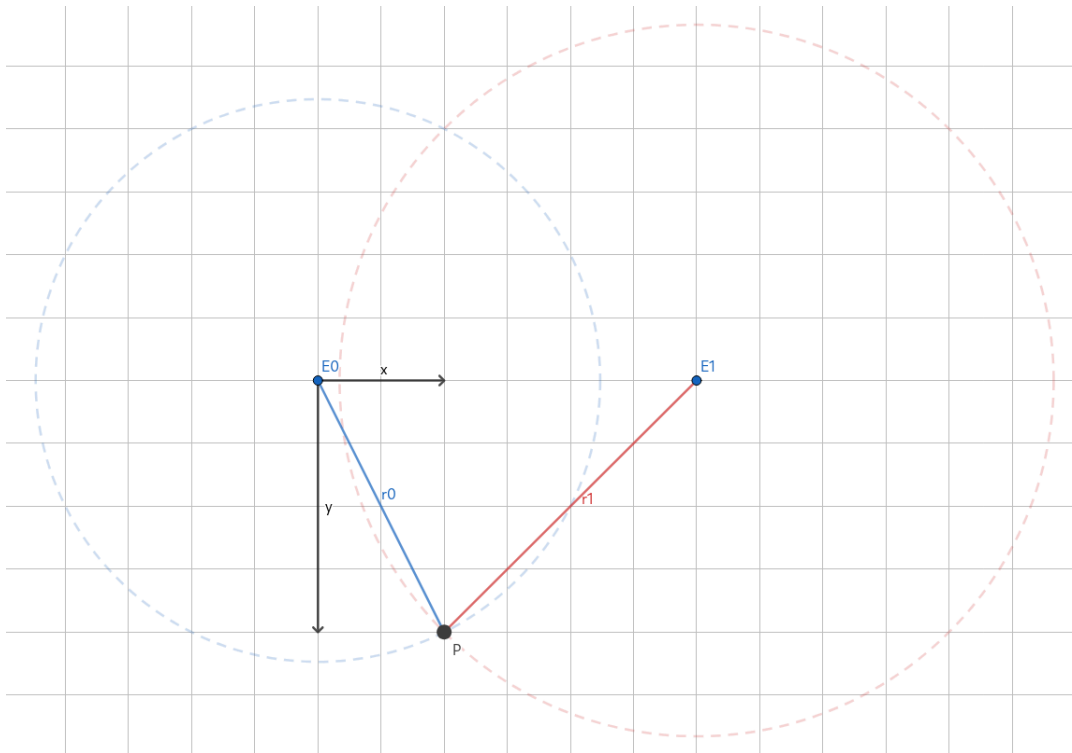


Figura 3: Interseção entre circunferências

Como os movimentos são todos realizados em coordenadas bipolares, quando traçadas, as retas aparentam ser curvas no plano cartesiano. Para se obter as linhas desejadas, um segmento de reta então é segmentado, como na figura 4 e quando desenhado é composta por diversas curvas pequenas que o aproximam.

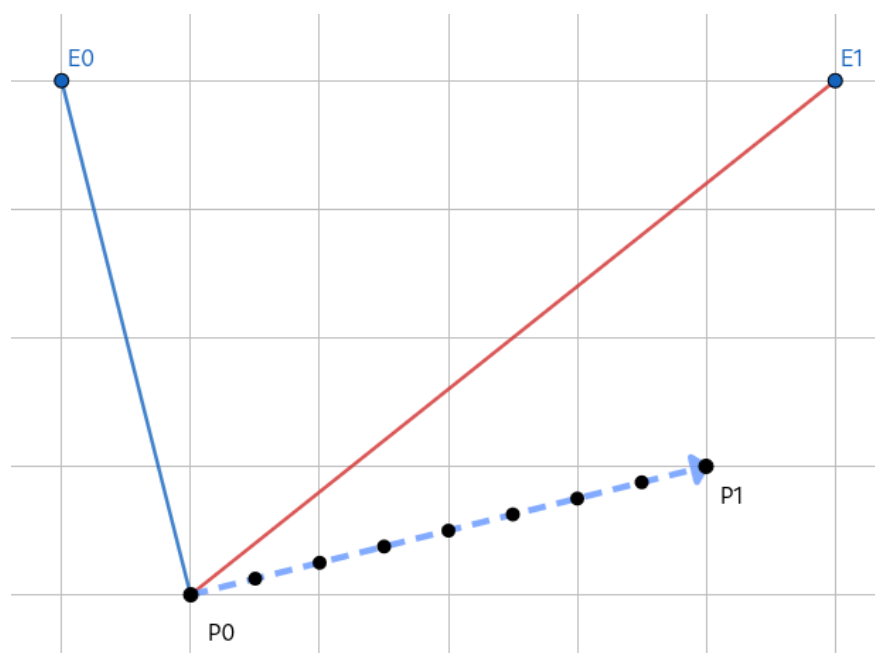


Figura 4: Movimento entre dois pontos

2.2. Vetorização da Imagem

Os trajetos desenhados são obtidos pela vetorização da imagem. São aplicadas etapas de pré processamento e então são encontrados os contornos da imagem. O pré processamento consiste em converter a imagem para uma representação binária, apenas em preto e branco. Então são encontrados os pontos que compõem os diversos contornos presentes na imagem e os trajetos são construídos a partir do passeio nos pontos de cada contorno.

Para o algoritmo que traça as bordas é considerada a vizinha de cada ponto, ilustradas na figura 5. Caso todos os pontos sejam da mesma cor, o ponto central não é um ponto de borda, caso ao menos um ponto seja de uma cor diferente, o ponto central é um ponto de borda. Caso um ponto p_1 tenha outro ponto p_2 como vizinho e ambos são pontos de borda, eles pertencem ao mesmo contorno. Essa situação pode ser observada na figura 6, onde os pontos com contorno em vermelho pertencem ao mesmo contorno.

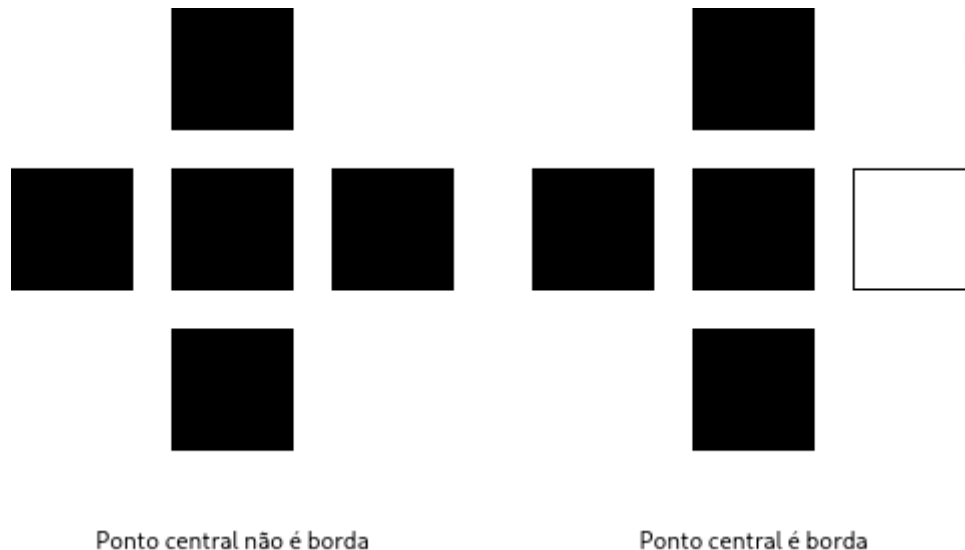


Figura 5: Vizinhança dos pontos durante o traçado das bordas

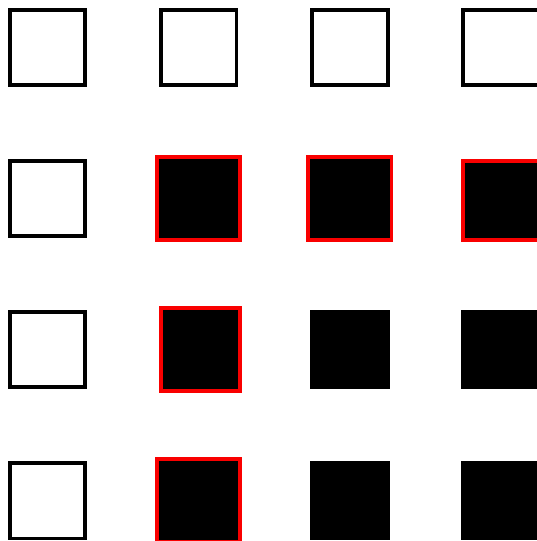


Figura 6: Pontos pertencentes ao mesmo contorno

O algoritmo escaneia a imagem, linha a linha, procurando por pontos de borda. Ao encontrar um deles, ele é inserido no respectivo contorno conforme o critério de vizinhança.

3.METODOLOGIA

A metodologia adotada no desenvolvimento do projeto foi estruturada em uma base interdisciplinar.

3.1. Projeto mecânico

Na etapa de projeto mecânico, define-se a estrutura física e o mecanismo de movimento do BoardBot. Para garantir a precisão do traçado, foi modelado e impresso em 3D um suporte exclusivo para a caneta, assegurando seu posicionamento adequado durante as operações.

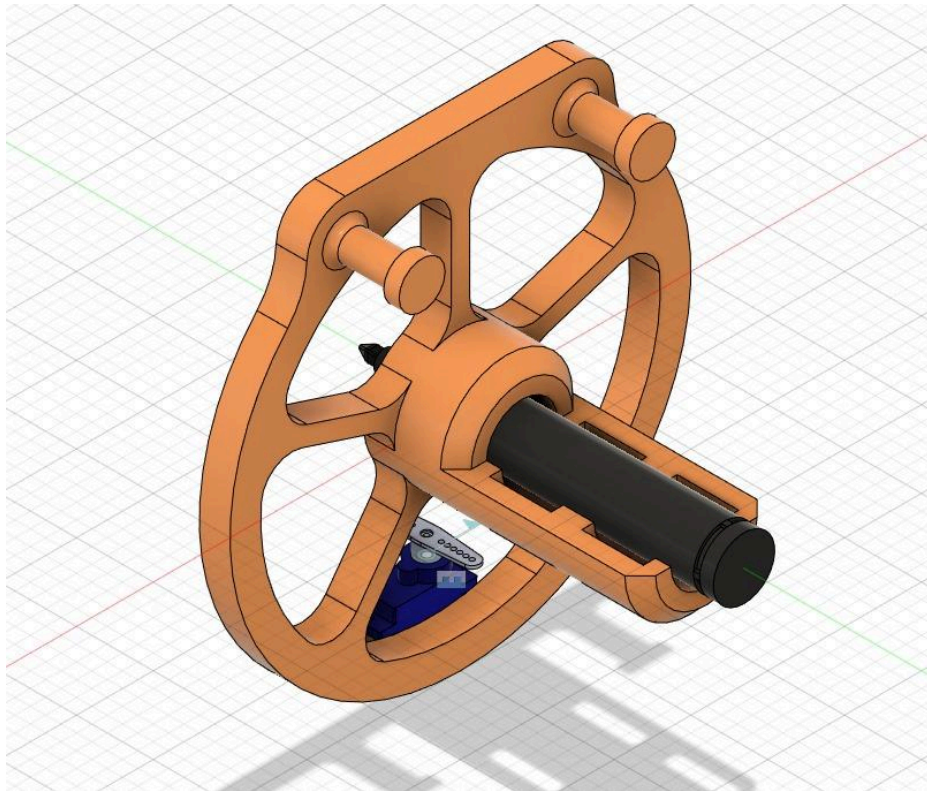


Figura 7: Modelo 3D do suporte da caneta

Adicionalmente, o suporte do motor é obtido por meio de um furo estrategicamente posicionado no quadro branco, o que proporciona uma fixação robusta e contribui para a estabilidade do sistema.



Figura 8: Quadro com perfurações para suporte dos motores.

Para conectar o motor ao suporte, foi utilizada uma correia, que transmite o movimento de forma precisa, permitindo uma sincronização eficiente entre os componentes.

3.2. Projeto de hardware

A implementação do hardware concentrou-se na integração entre o controle e a mecânica. O Raspberry Pi foi utilizado como controlador central, recebendo comandos de um usuário via interface web e gerenciando os motores de passo NEMA 17 por meio dos drivers DRV8825. Para garantir a precisão, calibraram-se os motores para o movimento do pêndulo em coordenadas polares, convertidas a partir do plano cartesiano. O circuito de alimentação foi dividido em duas fontes: 5V para o controlador Raspberry e o servo motor, e 12V para os motores de passo. Para os drivers dos motores, foram projetados no KiCAD circuitos shield para evitar interferências e instabilidades.

Foram realizados extensos testes de calibração manual, até alcançarmos o comportamento desejado. Através de testes isolados foi assegurado o funcionamento de cada etapa isolada antes da integração final.

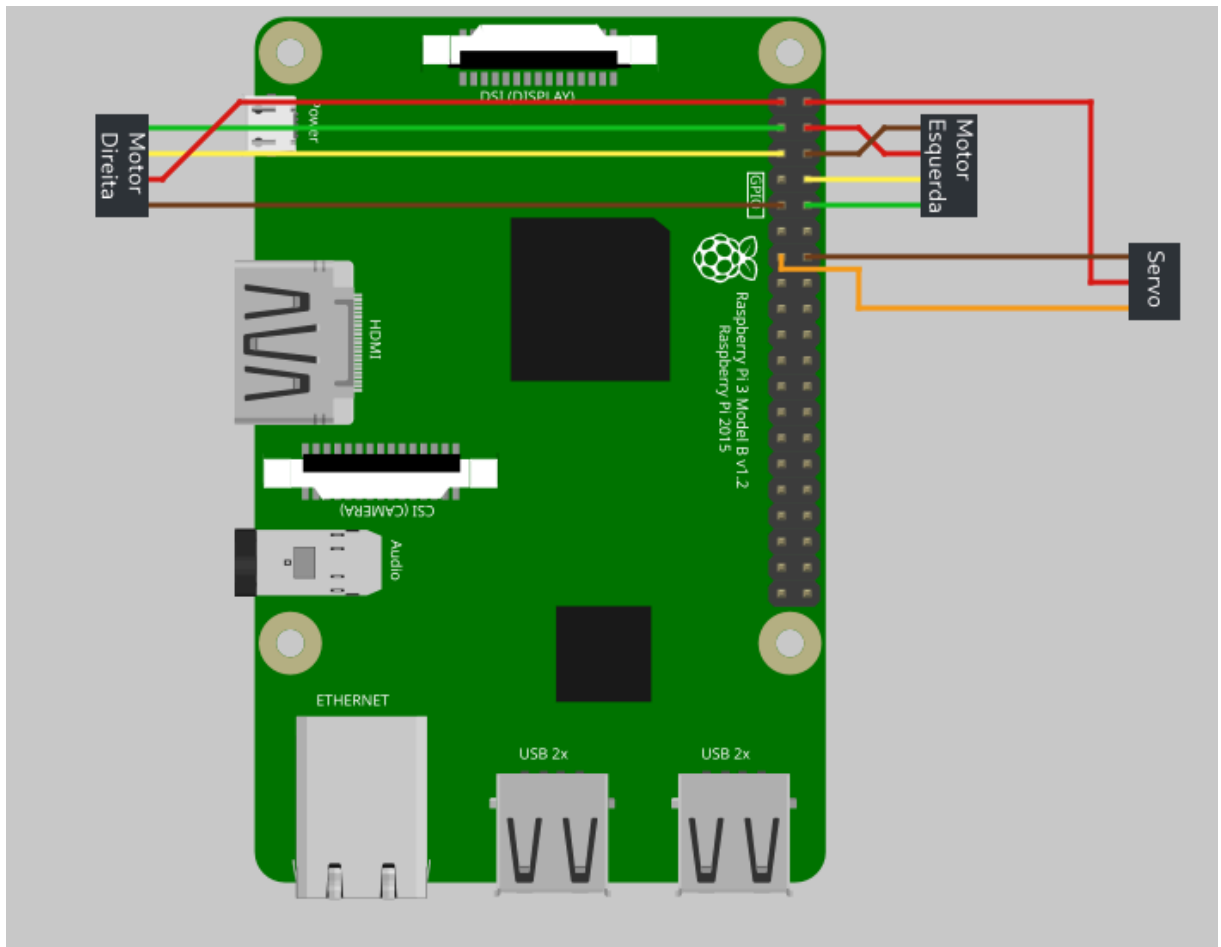


Figura 9 : Configuração de pinos do Raspbarry.

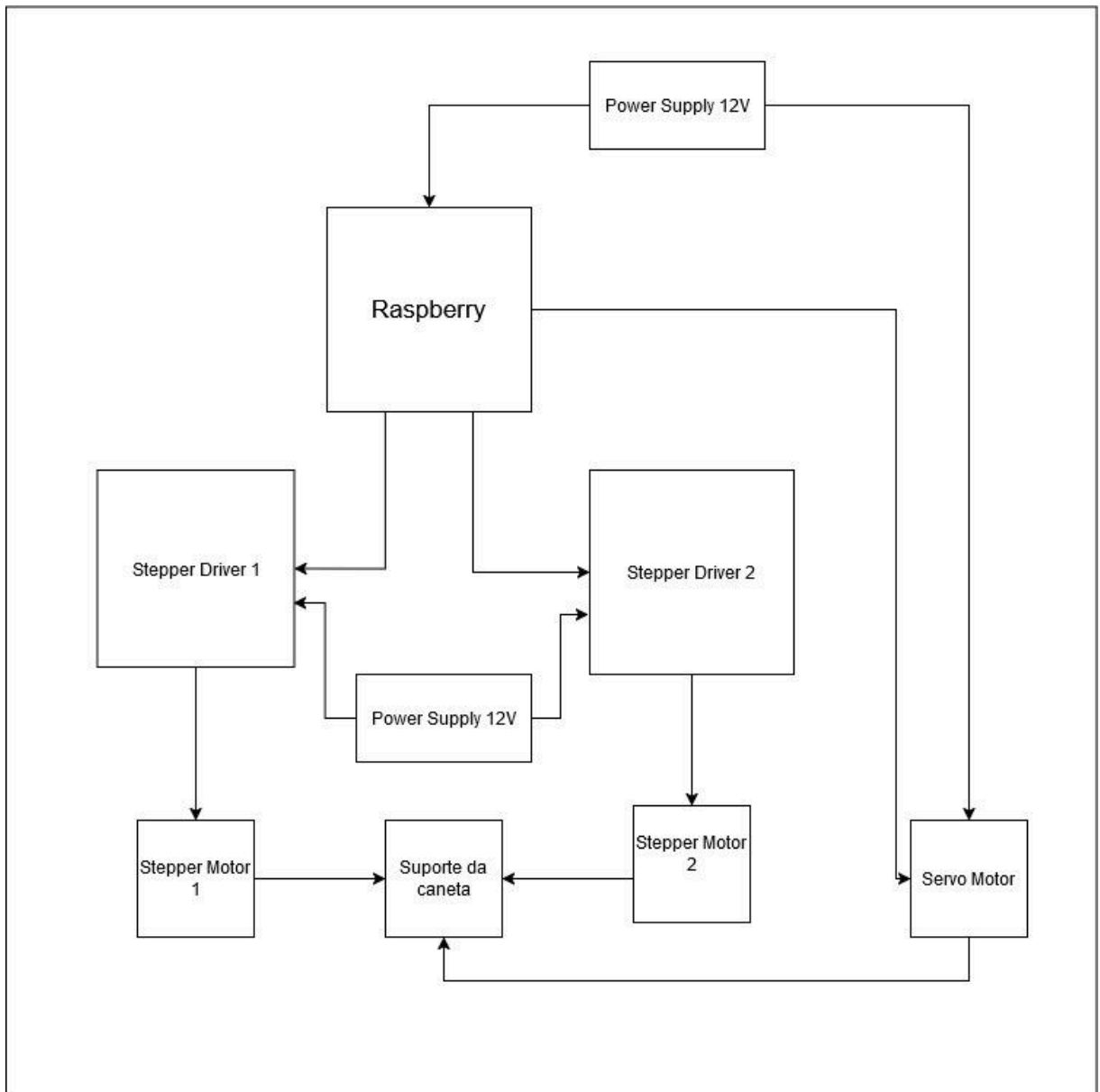


Figura 10 : Diagrama de blocos do projeto de Hardware.

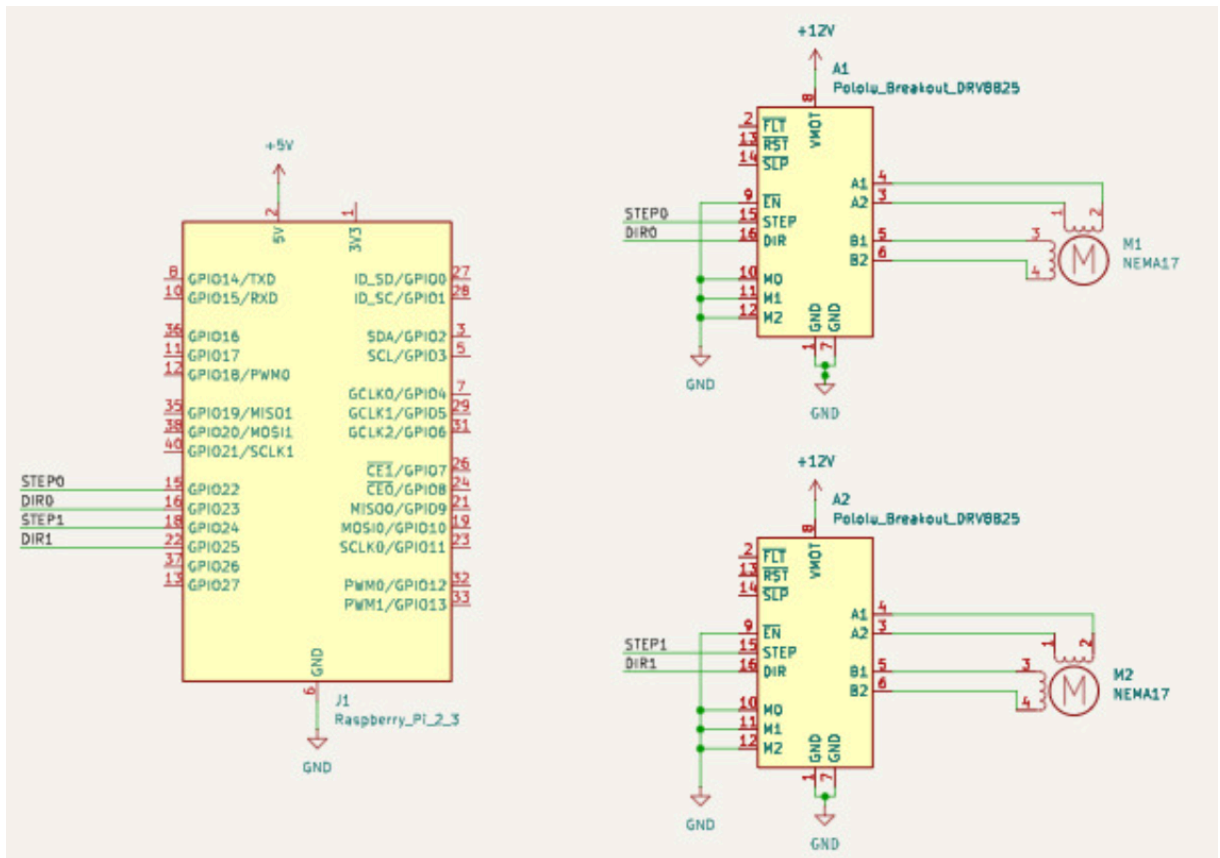


Figura 11: Esquemático dos drivers do motor e Raspberry Pi

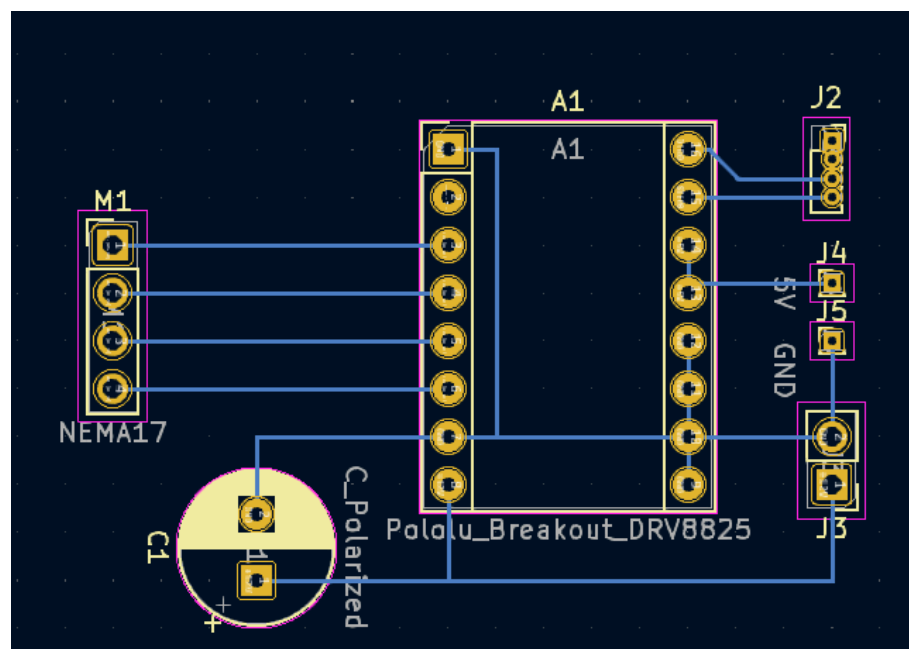


Figura 12: Projeto do Circuito para a Placa Universal

3.3. Projeto de Software

A arquitetura de software é dividida em módulos, incluindo a conversão de imagens em trajetórias, a geração do G-code e o controle do interpretador. Utilizando Python para o processamento e React Native para a interface, o sistema é complementado com diagramas de estados (statecharts) que descrevem a lógica de controle.

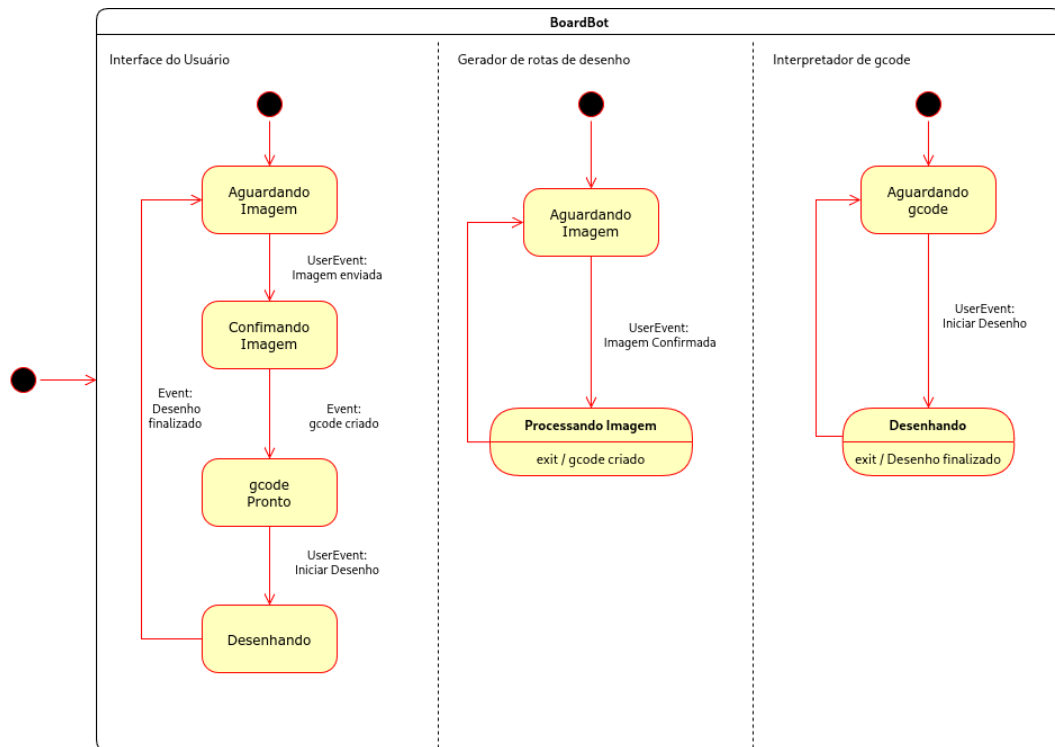


Figura 13 : Statecharts do projeto de Software.

3.4. Integração

A integração entre os módulos mecânico, de hardware e de software é fundamental para o funcionamento sinérgico do BoardBot. Por meio da comunicação via HTTP e websocket, os dados são trocados em tempo real, permitindo que as trajetórias geradas sejam interpretadas e executadas com precisão. Essa integração garante a execução confiável do G-code e a reprodução fiel dos desenhos.

4. EXPERIMENTOS E RESULTADOS

4.1. Descrição dos Testes

Foram realizados testes para avaliar a precisão, velocidade e repetibilidade do BoardBot. Estes testes incluíram a execução de trajetórias pré-definidas e medições da variação do traçado, verificando o acúmulo de erros e a confiabilidade do G-code interpretado.

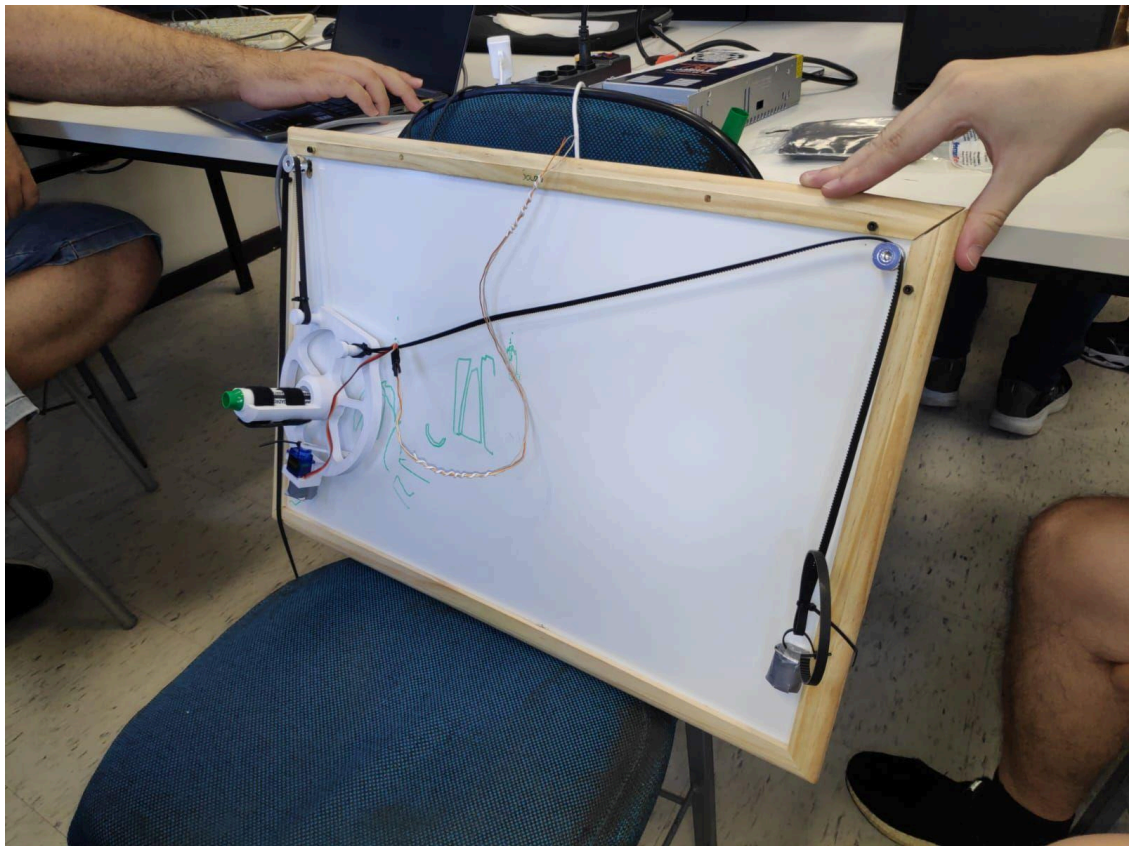


Figura 14: Testes do BoardBot.

4.2. Resultados Obtidos

Após ajustes finos no software de conversão e controle, foi possível obter uma precisão elevada na execução dos trajetos. Os experimentos mostraram que o BoardBot alcançou uma reprodução fiel dos desenhos, com variações mínimas atribuídas à transmissão por correia e à fixação mecânica. Os dados coletados confirmam a viabilidade prática do sistema, evidenciando sua capacidade de executar trajetórias com consistência.

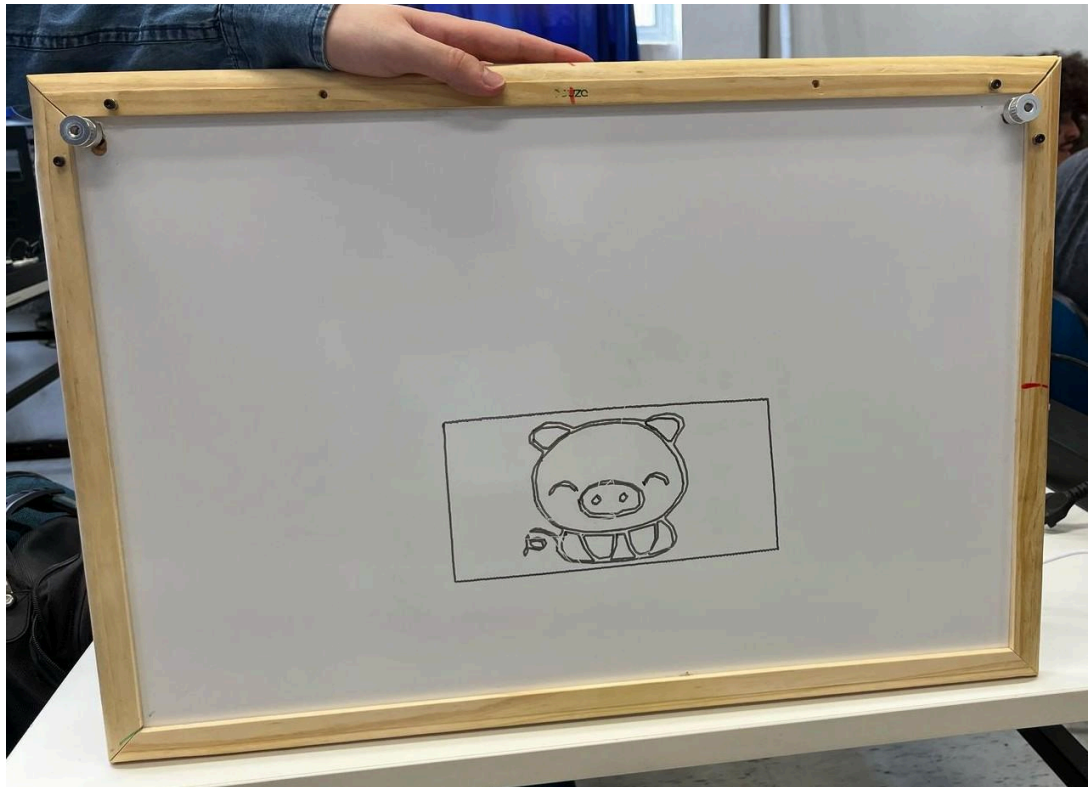


Figura 15: precisão final do BoardBot.


4.3. Discussão

Os resultados evidenciam que o BoardBot possui alta capacidade para reproduzir os desenhos com precisão, apesar de pequenas variações decorrentes de imperfeições mecânicas e desafios na transmissão por correia. Tais desvios sugerem a necessidade de uma calibração mais rigorosa e do ajuste fino do software interpretador, a fim de reduzir o acúmulo de erros ao longo dos trajetos. Ademais, os achados apontam oportunidades para otimizações futuras, que podem envolver a melhoria dos componentes mecânicos e a incorporação de métodos avançados de controle, garantindo maior robustez e confiabilidade ao sistema.

5. CRONOGRAMA E CUSTOS DO PROJETO

5.1. CRONOGRAMA

O cronograma foi dividido em etapas relacionadas ao projeto: estrutura do plotter, motores e correias, integração hardware-software e atividades de gerenciamento e organização, com datas de início e término.

 Oficina_de_Integracao 2- Cronograma

5.2. CUSTOS

Componente de Hardware	Quantidade	Preço estimado
Raspberry PI	1	R\$ 400
Motor de Passo NEMA 17	2	R\$ 160
Driver para motor de passo A4988	2	R\$ 25
Correia Dentada GT2	2 m	R\$ 30
Polias GT2	2	R\$ 38
Quadro Branco	1	R\$ 32
Caneta para quadro branco	1	R\$ 15
Suporte para a caneta impresso em 3D	1	R\$ 90
Suporte para motores e Raspberry em 3D	1	R\$ 15
Servo motor SG90	1	R\$ 22
Fonte 5V 2A USB	1	R\$ 22
Fonte 12V 4A	1	R\$ 30
Total		R\$ 879

6.CONCLUSÕES

6.1. Conclusão

O desenvolvimento do BoardBot demonstrou a viabilidade de um sistema automatizado para a reprodução de desenhos em quadros brancos, utilizando um mecanismo de plotagem polar vertical. O projeto integrou conceitos de mecânica, eletrônica e computação, resultando em um dispositivo capaz de interpretar e executar trajetórias de desenho com precisão satisfatória.

Os testes realizados comprovaram a funcionalidade do sistema, evidenciando a capacidade do BoardBot de reproduzir imagens vetorizadas com alto grau de fidelidade. Apesar de pequenos desvios identificados devido a limitações mecânicas e imprecisões na transmissão por correia, os ajustes no software e no hardware permitiram alcançar um desempenho satisfatório.

Dessa forma, o projeto se mostrou promissor para aplicações em ambientes educacionais, profissionais e artísticos, oferecendo uma solução inovadora para a automação de representações visuais.

6.2. Trabalhos Futuros

Para aprimorar o desempenho do BoardBot, algumas melhorias podem ser exploradas em trabalhos futuros:

- Implementação de um sistema de calibração automática para reduzir erros de posicionamento;
- Desenvolvimento de algoritmos mais avançados para otimização das trajetórias de desenho;
- Expansão da interface de usuário com funcionalidades adicionais, como edição e ajustes em tempo real;
- Integração de um sistema de visão computacional para ajuste dinâmico da posição da caneta.

Esses avanços permitiram tornar o BoardBot ainda mais eficiente e confiável, ampliando suas possibilidades de aplicação e garantindo uma experiência de uso mais intuitiva e precisa.

7.REFERÊNCIAS

LYONS, Gavin. *RpiMotorLib: A Raspberry Pi Python Motor Library*. Disponível em: <https://github.com/gavinlyonsrepo/RpiMotorLib>. Acesso em: 23 fev. 2025.

POLULU. *DRV8825 Stepper Motor Driver Carrier, High Current*. Disponível em: <https://www.pololu.com/product/2133>. Acesso em: 23 fev. 2025.

THE AI LEARNER. *Suzuki Contour Algorithm OpenCV*. Disponível em: <https://theailearner.com/tag/suzuki-contour-algorithm-opencv/>. Acesso em: 23 fev. 2025.