



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG
CENTRO DE CIÊNCIAS COMPUTACIONAIS
CURSO DE ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO

Projeto de Graduação em Engenharia de Automação

Desenvolvimento de Máquina Insersora SMD de Baixo Custo

Nickolas Bernardo Alvarez Gomes

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia de Automação da Universidade Federal do Rio Grande - FURG, como requisito parcial para a obtenção do grau de Engenheiro de Automação

Orientador: Prof. Dr. Vitor Irigon Gervini

Rio Grande, 2025

Dados de catalogação na fonte:

colocar NOME DO BIBLIOTECÁRIO – CRB-colocar número do crb do bibliotecário
Biblioteca Central – FURG

A999a

Gomes, Nickolas Bernardo Alvarez

Desenvolvimento de Máquina Insersora SMD de Baixo Custo / Nickolas Bernardo Alvarez Gomes. – Rio Grande, 2025. – 38 f: gráf. – Projeto de Graduação – Engenharia de Automação. Universidade Federal do Rio Grande - FURG. Centro de Ciências Computacionais. Rio Grande, 2025. – Orientador Vitor Irigon Gervini.

1. Insersora. 2. Openpnp. 3. Marlin. 4. Controle. I. Gervini, Vitor Irigon. II. Título.

CDD: 999.9



Projeto de Graduação em Engenharia de Automação

Desenvolvimento de Máquina Insersora SMD de Baixo Custo

Nickolas Bernardo Alvarez Gomes

Banca examinadora:

Prof. Dr. Rafael Budim Schwittz

Prof^a. Dr^a. Vagner Santos da Rosa

Prof. MSc. Rodrigo Zelir Azzolin

*Dedico á minha familia, por todo amor, apoio e paciênciam ao longo desta jornada.
À minha namorada Thaís, por todo amor e apoio incondicionais que foram de imensa
importância, me dando forças para persistir nesta jornada.
Sem o incentivo de vocês, este projeto não seria possível.
Aos meus amigos, por cada palavra de encorajamento e momentos de descontração, que
me ajudaram a continuar e superar os desafios.
E por fim, aos meus gatos, Kipo e Koda por sempre alegrarem mesmo meus piores dias.
Esta conquista é tão minha quanto de todos vocês.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família, pelo amor incondicional e pelo apoio contínuo durante todos os momentos, sejam eles difíceis ou alegres. Vocês foram minha base e inspiração para seguir em frente. Em especial à minha namorada Thaís, que esteve comigo em todos os momentos, bons e ruins me dando tanto apoio emocional quanto conselhos e sugestões, além de me ouvir monologar por horas esbanjando um nível quase divino de paciência, compreensão e amor desde o inicio da graduação.

Aos meus gatos Kipo e Koda por sempre estarem comigo e alegrarem mesmo os piores dias com suas trapalhadas e também por apenas estarem por perto.

Aos meus amigos, que estiveram ao meu lado durante esta jornada, compartilhando risadas, conselhos e motivação nos momentos de maior necessidade. A amizade de vocês foi essencial para que eu pudesse concluir este projeto.

Ao meu orientador, pela paciência, orientação e dedicação. Suas valiosas contribuições e ensinamentos foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores e colegas da Universidade Federal do Rio Grande – FURG, pela convivência enriquecedora e pelos conhecimentos adquiridos ao longo do curso.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste projeto. Cada gesto de apoio e incentivo fez toda a diferença.

"A ciência não é nada mais do que uma perversão, se não tiver como objetivo final melhorar a condição da humanidade."

— NIKOLA TESLA

RESUMO

GOMES, Nickolas Bernardo Alvarez. **Desenvolvimento de Máquina Insersora SMD de Baixo Custo.** 2025. 38 f. Projeto de Graduação – Engenharia de Automação. Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Rio Grande.

Este projeto teve como objetivo desenvolver uma máquina insersora de componentes SMD (Surface-Mount Device) de baixo custo, pensando em atender às necessidades de pequenos empreendedores, estudantes e entusiastas. Com recursos simples, como impressão 3D e o uso de software de código aberto, buscou-se criar uma alternativa viável e acessível para a montagem de placas de circuito eletrônico.

A máquina foi projetada para realizar operações básicas de coleta e posicionamento de componentes SMD, utilizando um sistema de vácuo, motores de passo e um microcontrolador ATmega 2560, configurado com o firmware Marlin 2.0. O software OpenPnP foi adotado para controlar as operações e também possibilitar futuras melhorias no sistema.

Embora simples, o projeto conseguiu demonstrar que é possível construir uma solução funcional com recursos limitados. A ênfase em tecnologias acessíveis e produção local não só ajudou a reduzir custos, mas também incentivou a busca por alternativas mais sustentáveis.

Os resultados alcançados são apenas um ponto de partida, com espaço para ajustes e melhorias futuras, como a integração de visão computacional. Esperamos que este trabalho inspire outras pessoas a criar, aprender e adaptar soluções tecnológicas às suas próprias necessidades.

Palavras-chave: Insersora, Openpnp, Marlin, controle.

ABSTRACT

GOMES, Nickolas Bernardo Alvarez. **Development of a Low-Cost SMD Inserter Machine.** 2025. 38 f. Projeto de Graduação – Engenharia de Automação. Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Rio Grande.

This project aimed to develop a low-cost Surface-Mount Device (SMD) component inserter machine to meet the needs of small entrepreneurs, students, and enthusiasts. Using simple resources such as 3D printing and open-source software, the goal was to create a viable and accessible alternative for assembling electronic circuit boards.

The machine was designed to perform basic pick-and-place operations for SMD components, employing a vacuum system, stepper motors, and an ATmega 2560 microcontroller configured with Marlin 2.0 firmware. OpenPnP software was used to control the operations and enable future system improvements.

Despite its simplicity, the project demonstrated that it is possible to build a functional solution with limited resources. The emphasis on accessible technologies and local production not only helped reduce costs but also encouraged the pursuit of more sustainable alternatives.

The results achieved are just a starting point, with room for adjustments and future enhancements, such as the integration of computer vision. We hope this work inspires others to create, learn, and adapt technological solutions to their own needs.

Keywords: Inserter, Openpnp, Marlin, control .

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Projeto 3D em Fusion360.	15
Figura 2	ATmega 2560.	16
Figura 3	RAMPS (RepRap Arduino Mega Pololu Shield).	17
Figura 4	Terminais soldados e isolados em fim de curso.	17
Figura 5	driver DRV8825.	18
Figura 6	Perfil de aluminio 15mm x 15mm de seção transversal.	18
Figura 7	guia linear de 8mm.	19
Figura 8	Rolamento linear LM8UU.	19
Figura 9	guia e carro linear mgn7.	20
Figura 10	motor de passo nema17.	20
Figura 11	polias e correia gt2	20
Figura 12	bomba de vácuo 12V.	21
Figura 13	motor nema11 modificado com bocal smt	21
Figura 14	Integração dos motores Nema17 e demais componentes relacionados ao sistema de movimentação linear.	23
Figura 15	Montagem do eixo Z e eixo C com ferramenta de coleta pneumático integrada.	24
Figura 16	Cabeamento realizado com awg24.	25
Figura 17	Finalização do cabeamento e adição do tubo pneumático.	26
Figura 18	Montagem da bomba pneumática.	27
Figura 19	Controlador e fonte de alimentação	28
Figura 20	Configuração dos pinos em pins_RAMPS.h	28
Figura 21	Configuração de eixo linear em OpenPNP	29
Figura 22	Configuração de eixo rotacional em OpenPNP	29
Figura 23	Configuração de offset para ferramenta em OpenPNP	30
Figura 24	Configuração da câmera em OpenPNP	30
Figura 25	Diagrama elétrico para ligações entre ATmega2560, drivers, sensores e atuadores	31
Figura 26	Fluxograma.	31
Figura 27	Componente smd posicionado em placa de circuito impresso com utilização da máquina.	34
Figura 28	Máquina insersora smd.	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SMD Surface-Mount Device

RAMPS RepRap Arduino Mega Pololu Shield

CNC Computer Numerical Control

SUMÁRIO

1	Introdução	12
1.1	Descrição do Problema	12
1.2	Referências Bibliográficas e Comentários	12
1.3	Objetivo Geral	13
1.4	Objetivos Específicos	14
2	HARDWARE	16
2.1	Microcontrolador	16
2.2	Estrutura Mecânica	17
2.3	Motores/Acionamento	18
3	SOFTWARE	22
3.1	Firmware	22
3.2	Software de Controle	22
4	CONSTRUÇÃO	23
5	RESULTADOS	32
5.1	Processo de Calibração e Testes Iniciais	32
5.1.1	Ajustes no Sistema Cinemático e Sensores	32
5.1.2	Precisão e Erros Observados	32
5.2	Avaliação de Velocidade e Funcionalidade	33
5.2.1	Desempenho Atual	33
5.2.2	Projeção de Velocidade Ideal	33
5.2.3	Justificativa para a Velocidade Reduzida	33
5.3	Processo de Coleta e Posicionamento	34
5.3.1	Resultados do Processo	34
5.4	Considerações Finais e Trabalhos Futuros	35
6	Conclusão	37
Referências		38
ANEXOS		

1 INTRODUÇÃO

1.1 Descrição do Problema

A montagem manual de placas de circuito impresso (PCBs) é uma prática comum, especialmente em pequenos empreendimentos e projetos acadêmicos. Contudo, essa abordagem apresenta limitações consideráveis em termos de produtividade e precisão, especialmente em contextos de demanda crescente. O processo manual é demorado, suscetível a erros e depende de operadores qualificados, o que eleva os custos de produção.

Pequenos empreendedores, estudantes e entusiastas frequentemente encontram barreiras para acessar máquinas de inserção automática de componentes SMD devido ao alto custo desses equipamentos, onde mesmo uma máquina usada adquirida nacionalmente passa a barreira dos BRL 20.000,00 (vinte mil reais) [2], ou caso seja adquirida via importação também facilmente passa a barreira dos BRL 10.000,00 (dez mil reais) [1] sem considerar as taxas de importação, enquanto este projeto, apesar de demandar conhecimentos técnicos e tempo de mão de obra, teve seu custo total abaixo de BRL 3.000,00 (três mil reais). Além disso, a terceirização de serviços de montagem nem sempre é viável, pois pode resultar em problemas como atrasos, custos elevados e riscos de comprometimento de propriedade intelectual. Portanto, há uma necessidade clara de uma solução acessível e eficiente que permita a automação de processos de montagem de PCBs em escala reduzida.

1.2 Referências Bibliográficas e Comentários

Conforme destacado por Wang[8], o transporte internacional de é responsável por 14% das emissões globais de gases de efeito estufa (incluindo gases não-CO₂) assim como cerca de um quarto das emissões provenientes da queima de combustíveis fósseis.

Assim como foi destacado por Jorge [7], controladores de arquitetura aberta baseados em eletrônicos de código aberto, como Arduino e TI LaunchPad, possibilitam a automação de processos de manufatura por meio de soluções customizadas e de menor custo, tornando cada vez mais acessíveis para adoção tecnologias como impressão 3D, tecnologias CNC (Computer Numeric Control) em geral e softwares de código aberto.

A popularização de softwares e hardwares de arquitetura aberta permite que mesmo a produção de eletrônicos se torne cada vez mais descentralizada e, graças às contribuições de indivíduos ao redor do globo.

Com a popularização de softwares de arquitetura aberta, destaca-se o OpenPnP como uma solução de software de código aberto que integra ferramentas de automação em processos de montagem eletrônica como abordado por Gokulnath [3].

Estes avanços em tecnologia aberta têm se mostrado uma alternativa eficaz para democratizar a automação e a produção em pequenos empreendimentos permitindo a produção local, que possui potencial para reduzir estas emissões, mas também, aliada promove maior autonomia para pequenos produtores e, aliada à projetos educacionais, se torna solo fértil para inovação tecnológica.

1.3 Objetivo Geral

Em consonância com as constatações apresentadas, este projeto tem como objetivo promover uma maior segurança e autonomia no desenvolvimento de novos produtos, especialmente no contexto da eletrônica e montagem de circuitos. Uma das preocupações centrais abordadas é a dependência excessiva de empresas terceirizadas, que pode trazer riscos significativos, como o vazamento de dados sensíveis e propriedade intelectual. Ao internalizar parte do processo de produção, espera-se mitigar essas vulnerabilidades, oferecendo maior controle sobre os projetos em desenvolvimento e protegendo as informações críticas que sustentam a inovação tecnológica.

Além da segurança, outro aspecto fundamental deste projeto é a preocupação com a sustentabilidade. O desenvolvimento de soluções mais eficientes pode contribuir diretamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Em um cenário global onde as mudanças climáticas são um dos maiores desafios, é imprescindível que novas tecnologias considerem não apenas a eficiência, mas também o impacto ambiental. A adoção de sistemas produtivos locais e a minimização do transporte de peças e produtos podem reduzir significativamente a pegada de carbono, alinhando o projeto com práticas mais sustentáveis.

Para atingir esses objetivos, o projeto propõe o desenvolvimento de uma máquina para inserção e posicionamento de componentes SMD, (Surface Mount Device), similar à máquina relatada em [3], que seja acessível, tanto em termos de custo quanto de complexidade. A proposta busca democratizar o acesso à tecnologia, permitindo que pequenos empreendedores, entusiastas e startups possam se beneficiar de ferramentas avançadas sem precisar fazer grandes investimentos. A Figura 1 ilustra o modelo preliminar da máquina, que, além de ser uma solução econômica, visa oferecer flexibilidade para que os usuários possam adaptá-la e expandi-la de acordo com suas necessidades específicas.

O projeto será estruturado em fases, começando pela construção de uma versão sim-

plificada da máquina como prova de conceito. Essa abordagem é essencial para validar os princípios básicos do sistema e identificar áreas que necessitam de ajustes antes de avançar para modelos mais complexos e robustos. A simplicidade inicial permitirá que o desenvolvimento se concentre nos elementos fundamentais, como a precisão da movimentação dos componentes e a confiabilidade do sistema, sem comprometer a viabilidade econômica do projeto.

Uma vez comprovada a eficácia da versão inicial, o projeto abrirá espaço para futuras iterações e aprimoramentos. Entre as possibilidades de evolução estão a integração de sistemas de visão computacional, que permitirão à máquina identificar e alinhar componentes de forma autônoma, aumentando a precisão e a eficiência do processo. Além disso, melhorias no controle de movimento e na interface do usuário poderão ser implementadas, garantindo uma experiência mais intuitiva e amigável para operadores com diferentes níveis de experiência técnica.

Este projeto não se limita a ser apenas uma solução técnica, mas também visa contribuir para um ecossistema mais colaborativo e acessível. A escolha por tecnologias de código aberto e componentes padronizados é um passo nesse sentido, possibilitando que a comunidade acadêmica, entusiastas e desenvolvedores possam participar ativamente do processo de evolução e melhoria contínua da máquina. Dessa forma, a inovação não fica restrita a grandes empresas, mas torna-se um esforço coletivo, beneficiando toda a sociedade.

O desenvolvimento desta máquina para inserção e posicionamento de componentes SMD representa uma oportunidade de promover a independência tecnológica, reduzir custos e impactar positivamente o meio ambiente. A partir de uma versão simplificada, que servirá como ponto de partida, o projeto se posiciona como uma plataforma aberta e evolutiva, pronta para ser aprimorada e adaptada às necessidades emergentes do mercado e da comunidade.

1.4 Objetivos Específicos

Projetar e construir uma máquina capaz de realizar a coleta e posicionamento de componentes SMD com precisão;

Garantir que o equipamento seja modular e expansível para futuras melhorias;

Utilizar materiais e tecnologias de baixo custo, como impressão 3D, para tornar o projeto economicamente acessível;

Contribuir com as comunidades tanto acadêmica quanto de hobbystas ao desenvolver uma plataforma da qual possam surgir novas e melhores ramificações.

E para alcançar estes objetivos, este projeto seguirá uma abordagem iterativa, iniciando com o levantamento de requisitos e passando por etapas de modelagem, prototipagem, testes e ajustes. O design inicial foi elaborado utilizando o software Fusion 360

(Figura 1), permitindo a criação de modelos tridimensionais detalhados.

A fabricação dos componentes foi realizada com impressoras 3D para as peças plásticas estruturais, tais quais os eixos estacionários que servem como parte da estrutura do frame e os carros que permitem a movimentação da ferramenta em toda a área de trabalho. Durante o processo de desenvolvimento, foram priorizados materiais acessíveis e amplamente disponíveis além de terem grande facilidade de uso.

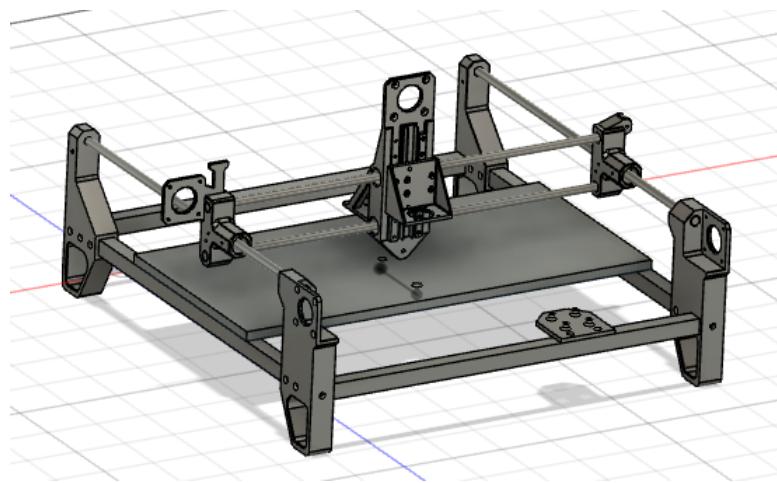


Figura 1: Projeto 3D em Fusion360.

2 HARDWARE

2.1 Microcontrolador

O sistema de controle da máquina foi desenvolvido utilizando o microcontrolador ATmega 2560 (Figura 2), amplamente reconhecido por sua robustez, confiabilidade e versatilidade em aplicações de automação. Este microcontrolador oferece recursos suficientes para o controle simultâneo de múltiplos componentes, como motores, sensores e atuadores, além de ser uma plataforma bem documentada e acessível.

Para complementar o ATmega 2560, foi empregada a placa RAMPS (RepRap Arduino Mega Pololu Shield) (Figura 3), que possibilita a conexão modular de periféricos. A RAMPS fornece suporte para o gerenciamento de múltiplos motores de passo, sensores de fim de curso (Figura 4) e outros dispositivos necessários para o funcionamento do sistema. Essa abordagem modular é essencial para facilitar upgrades e manutenções futuras.

Os drivers de motor de passo DRV8825 (Figura 5) foram escolhidos devido à sua excelente relação custo-benefício e às suas capacidades, incluindo operação em alta resolução e proteções contra sobrecarga. Esses drivers garantem que os motores de passo operem com precisão e confiabilidade, mesmo em condições de carga variáveis.

Plataformas semelhantes a esta já demonstraram eficácia em aplicações de tecnologia CNC, como documentado em [7], reforçando a escolha deste sistema de controle para a máquina insersora.



Figura 2: ATmega 2560.



Figura 3: RAMPS (RepRap Arduino Mega Pololu Shield).

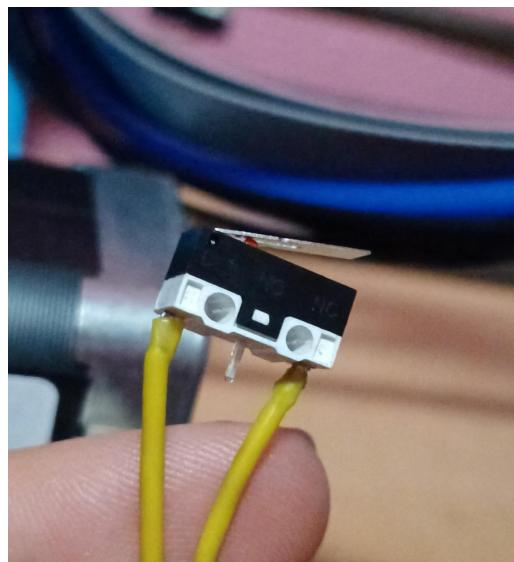


Figura 4: Terminais soldados e isolados em fim de curso.

2.2 Estrutura Mecânica

A estrutura da máquina foi projetada para utilizar perfis de alumínio (Figura 6) de 15x15mm como base para a construção do frame, oferecendo uma excelente relação entre custo e benefício, além de permitir uma montagem modular e fácil expansão futura.

Para os movimentos nos eixos X e Y, foram implementados eixos lineares de baixo custo (Figura 8), que atendem às necessidades do sistema sem comprometer a precisão. Estes eixos lineares são amplamente utilizados em soluções de automação devido ao seu custo-benefício e à sua capacidade de operar com baixos níveis de atrito.

No eixo Z, foi utilizada uma guia linear do modelo MGN7 (Figura 9), que garante movimentos suaves e consistentes, essenciais para aplicações que demandam alta precisão. Este tipo de guia é conhecido por sua robustez e capacidade de operar com cargas radiais e axiais, tornando-se uma escolha ideal para sistemas que requerem estabilidade ao longo do tempo.

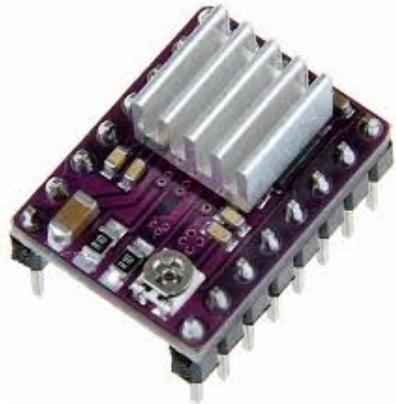


Figura 5: driver DRV8825.



Figura 6: Perfil de alumínio 15mm x 15mm de seção transversal.

2.3 Motores/Acionamento

A escolha e integração dos motores e do sistema de acionamento desempenharam um papel fundamental para garantir a precisão e a estabilidade do sistema. Foram utilizados motores de passo do modelo NEMA 17 (Figura 10), amplamente reconhecidos por sua robustez e confiabilidade, para movimentar os eixos principais da máquina. Esses motores apresentam torque suficiente para suportar as cargas mecânicas envolvidas, além de uma excelente resolução para o controle de movimentos.

Para a transmissão de movimento, foram utilizadas correias GT2 e polias (Figura 11), que garantem uma movimentação linear estável, com alta precisão e mínimo deslizamento. As correias GT2 são amplamente empregadas em sistemas de automação devido à sua durabilidade, baixa elasticidade e capacidade de operar em altas velocidades sem comprometer a precisão.

Adicionalmente, um motor de passo do modelo NEMA 11 (Figura 13) foi incorporado ao sistema de vácuo (Figura 12) para realizar a coleta e o transporte dos componentes.



Figura 7: guia linear de 8mm.



Figura 8: Rolamento linear LM8UU.

Este motor foi modificado com a instalação de um bocal SMT (Figura 13), o que permitiu a manipulação precisa de componentes SMD. Essa adaptação foi essencial para garantir o alinhamento correto dos componentes durante o processo de montagem.



Figura 9: guia e carro linear mgn7.



Figura 10: motor de passo nema17.



Figura 11: polias e correia gt2



Figura 12: bomba de vácuo 12V.



Figura 13: motor nema11 modificado com bocal smt

3 SOFTWARE

3.1 Firmware

O firmware Marlin 1.1.x foi escolhido para o controle da máquina devido à sua flexibilidade e ampla documentação. Configurações personalizadas foram feitas para atender às necessidades específicas do projeto, incluindo ajustes nos parâmetros de aceleração, velocidades de movimento. O firmware foi carregado no ATmega 2560 utilizando o programa Arduino IDE e configurado para comunicação com o software de controle OpenPnP.

3.2 Software de Controle

O OpenPnP foi utilizado como interface de controle da máquina, permitindo gerenciar operações de coleta e posicionamento de componentes. O software permite a integração com câmeras, o que possibilita futuros aprimoramentos na detecção e alinhamento automático de componentes.

4 CONSTRUÇÃO

Tendo em vista que os componentes necessários foram adquiridos e o projeto em CAD concluído, é possível avançar para as etapas subsequentes. Primeiramente, realiza-se a impressão 3D de todas as peças projetadas. Uma vez que os componentes estejam impressos, inicia-se o processo de montagem, começando pela estrutura e pelo sistema cinemático. Nesta etapa, as peças impressas em 3D são integradas aos perfis de alumínio, guias e rolamentos lineares, conforme ilustrado na Figura 14. Este procedimento requer atenção à precisão no alinhamento e fixação das peças, visando garantir a estabilidade estrutural e o correto funcionamento do sistema cinemático.

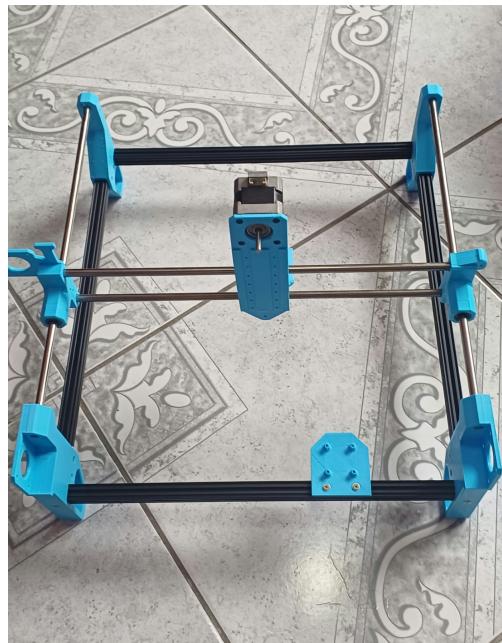


Figura 14: Integração dos motores Nema17 e demais componentes relacionados ao sistema de movimentação linear.

Em seguida, procede-se à montagem do eixo Z e da ferramenta destinada à coleta e inserção de componentes SMD. Esta etapa envolve a fixação precisa das partes móveis e dos elementos que compõem o sistema de manipulação, como mostrado na Figura 15. A precisão nesta fase é essencial para assegurar a funcionalidade da ferramenta e a exatidão

no manuseio dos componentes eletrônicos.

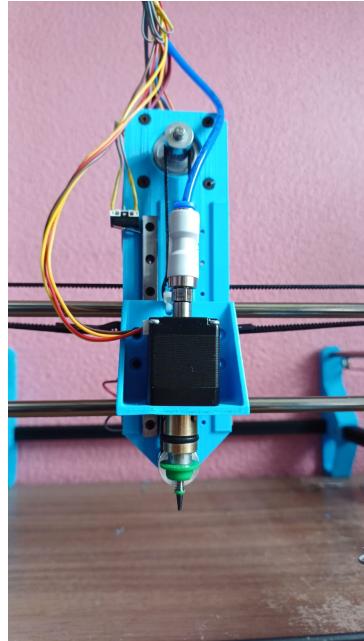


Figura 15: Montagem do eixo Z e eixo C com ferramenta de coleta pneumático integrada.

Com a estrutura básica e os sistemas principais montados, inicia-se a instalação dos sensores de fim de curso. Estes sensores são essenciais para delimitar os movimentos do equipamento e proteger os componentes contra possíveis danos. Os terminais dos sensores devem ser devidamente soldados e isolados, utilizando materiais apropriados para evitar falhas elétricas ou curtos-circuitos, conforme ilustrado na Figura 4.

Posteriormente, realiza-se a conexão do tubo pneumático à bomba de vácuo. Este processo exige o uso de um tubo termorretrátil para assegurar uma vedação adequada e evitar vazamentos de ar. A execução correta desta etapa pode ser observada na Figura 18.

Finalmente, integra-se o controlador e a fonte de alimentação ao sistema. Esta etapa requer atenção especial ao posicionamento e à fixação dos componentes eletrônicos, bem como ao roteamento adequado dos cabos para evitar interferências ou sobreaquecimento. A configuração final deste processo está representada na Figura 19.

Com a estrutura mecânica construída, procede-se à configuração do firmware Marlin 1.1.x utilizando a plataforma Arduino IDE. Na configuração inicial, a maioria dos parâmetros padrão é mantida, porém ajustes específicos são realizados para adaptar o firmware às características da máquina. No arquivo de configuração, ajusta-se o tamanho da área útil da máquina utilizando as diretivas: #define X_BED_SIZE 300 #define Y_BED_SIZE 300 Essas definições garantem que os eixos X e Y correspondam a uma área operacional de 300 mm por 300 mm. Configura-se o deslocamento máximo do eixo Z para 45 mm, considerando os limites físicos da máquina: #define Z_MAX_POS 45 Diferentemente dos eixos X e Y, o eixo Z inicia na posição máxima. Para isso, define-se: #define Z_MIN_POS 1

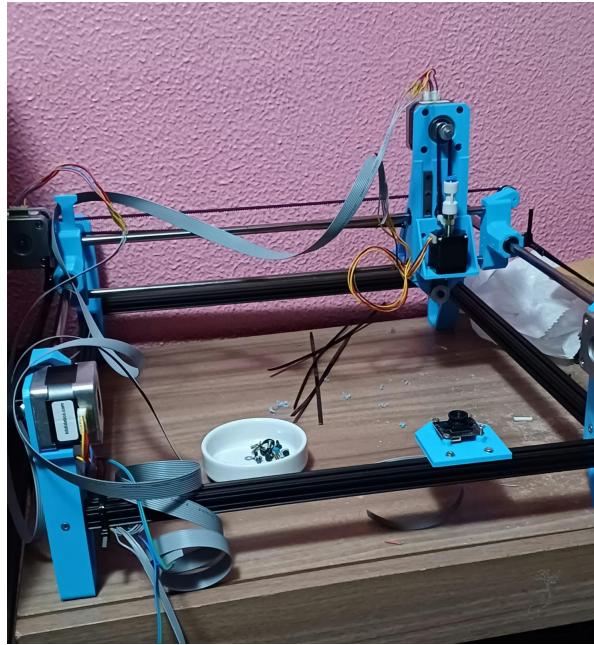


Figura 16: Cabeamento realizado com awg24.

Após ajustar os parâmetros principais, é necessário configurar os pinos no arquivo pins_RAMPS.h para garantir a correta atribuição de sinais aos componentes conectados à RAMPS. Nesse arquivo, modificam-se os pinos conforme demonstrado na Figura 20, assegurando correto acionamento da bomba pneumática.

Após baixar e instalar o OpenPnP, inicia-se o processo de configuração da máquina. Este procedimento é realizado na interface principal do software, seguindo os passos a seguir. Adicionar o Driver: Acesse a aba "Drivers" e clique no ícone de adição verde localizado no canto superior esquerdo da tela. Selecione a opção GcodeDriver entre as alternativas disponíveis.

Definir os Parâmetros dos Eixos: Acesse a aba "Axes", figura(21), para configurar os eixos X, Y e Z, garantindo que os valores de passos correspondam àqueles configurados previamente no firmware da máquina. Certifique-se de que as definições, como o número de passos por milímetro, limites de deslocamento e aceleração, estejam alinhadas com as características mecânicas e firmware da máquina. Para o eixo rotacional, acesse as configurações específicas na aba correspondente e ajuste os parâmetros de acordo com as instruções demonstradas na Figura 22. Isso inclui a definição do número de passos por rotação e o sentido de movimento do motor.

A diferença de posição entre o bico pneumático e o ponto focal da câmera é um parâmetro essencial para garantir a precisão das operações de pick-and-place. Essa diferença é determinada com base nas medições realizadas no projeto 3D da máquina e, posteriormente, inserida nas configurações do OpenPnP.

Conforme demonstrado na Figura 23, os dados obtidos do modelo 3D são utilizados para calcular os offsets necessários. Esses offsets representam a distância entre o centro

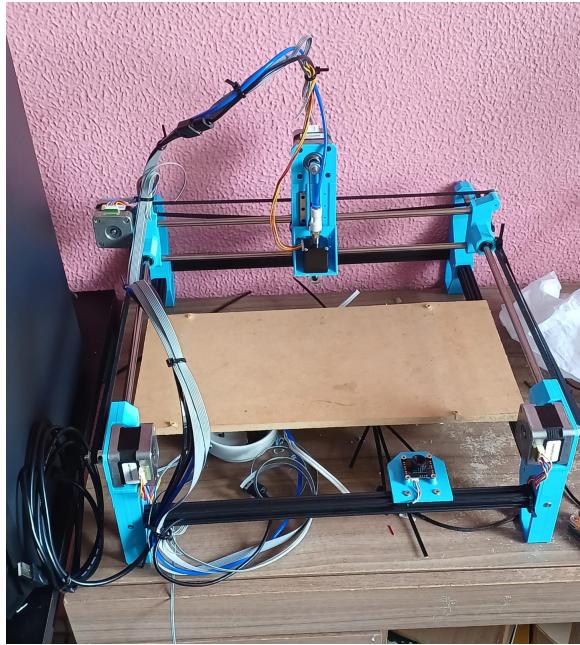


Figura 17: Finalização do cabeamento e adição do tubo pneumático.

do bico pneumático e o ponto focal da câmera do carro do eixo X., garantindo que o alinhamento dos componentes seja preciso durante o processo de montagem.

A configuração da câmera no OpenPnP é realizada acessando a aba "Cameras". Para adicionar uma nova câmera, clique no ícone de adição verde localizado no canto superior esquerdo da tela e selecione a opção Webcams. Após adicionar a câmera, insira os dados básicos correspondentes ao modelo utilizado, como resolução, taxa de quadros e dispositivo de captura. Clique na câmera recém-adicionada para acessar as configurações disponíveis. Na aba General Configuration (Figura 24), localize o campo Units Per Pixel. Essa seção é essencial para calibrar a câmera, garantindo que as medidas capturadas correspondam às dimensões reais do objeto observado.

Na seção de "Units Per Pixel", encontram-se as instruções detalhadas para realizar o processo de ajuste da câmera. Siga os passos indicados para determinar a relação entre os pixels capturados e as unidades de medida reais. Isso assegura que a posição e o alinhamento dos componentes sejam precisos

1. Coloque um objeto com largura e comprimento conhecidos sobre a mesa. Papel milimetrado é uma boa escolha para isso.
2. Insira a largura e o comprimento do objeto nos campos X e Y das Dimensões do Objeto.
3. Câmera superior: Ajuste a câmera para que fique centralizada sobre o objeto e em foco.
4. Câmera inferior: Coloque o objeto plano acima da câmera para que fique em foco.
5. Pressione Medir e use o retângulo de seleção da câmera para medir o objeto.
6. Pressione Confirmar quando terminar.
7. Os valores calculados de Unidades por Pixel serão inseridos automaticamente nos campos X e Y.

Assim, ao término dessas etapas, obtém-se um equipamento funcional, montado de



Figura 18: Montagem da bomba pneumática.

forma precisa e estruturada, com todos os subsistemas integrados e operacionais assim como projetado no seguinte diagrama elétrico (Figura 25) e com o seguinte fluxo de controle (Figura 26).



Figura 19: Controlador e fonte de alimentação

```
//  
// Heaters / Fans  
//  
#ifndef MOSFET_D_PIN  
    #define MOSFET_D_PIN      -1  
#endif  
#ifndef RAMPS_D8_PIN  
    #define RAMPS_D8_PIN      8  
#endif  
#ifndef RAMPS_D9_PIN  
    #define RAMPS_D9_PIN      70  
#endif  
#ifndef RAMPS_D10_PIN  
    #define RAMPS_D10_PIN     10  
#endif  
  
#define HEATER_0_PIN      RAMPS_D10_PIN
```

Figura 20: Configuração dos pinos em pins_RAMPS.h

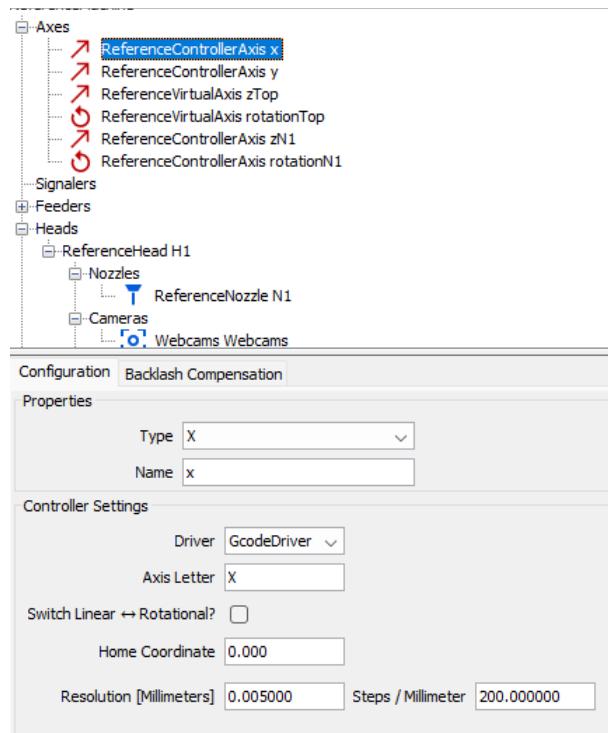


Figura 21: Configuração de eixo linear em OpenPNP

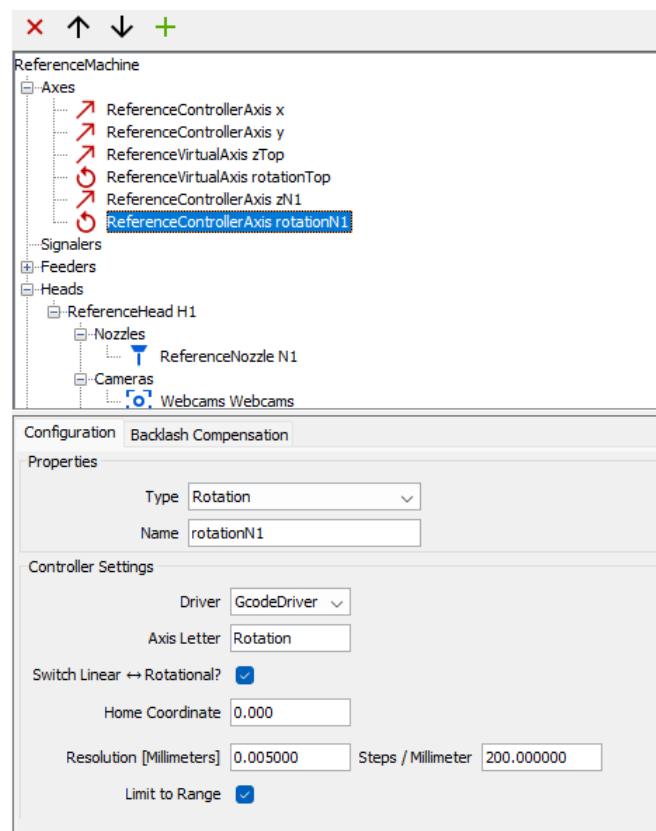


Figura 22: Configuração de eixo rotacional em OpenPNP

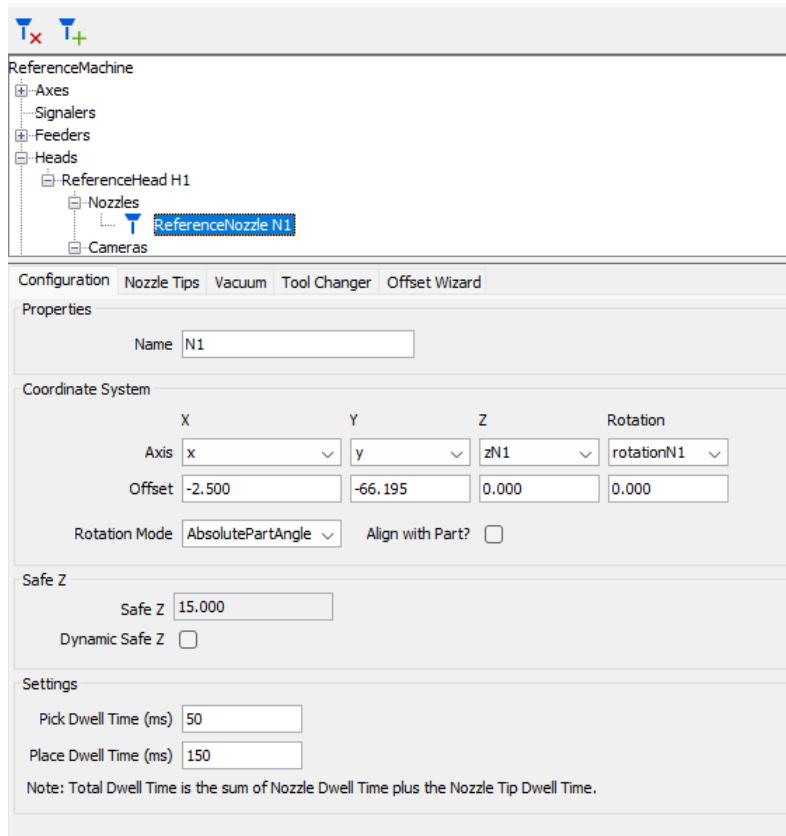


Figura 23: Configuração de offset para ferramenta em OpenPNP

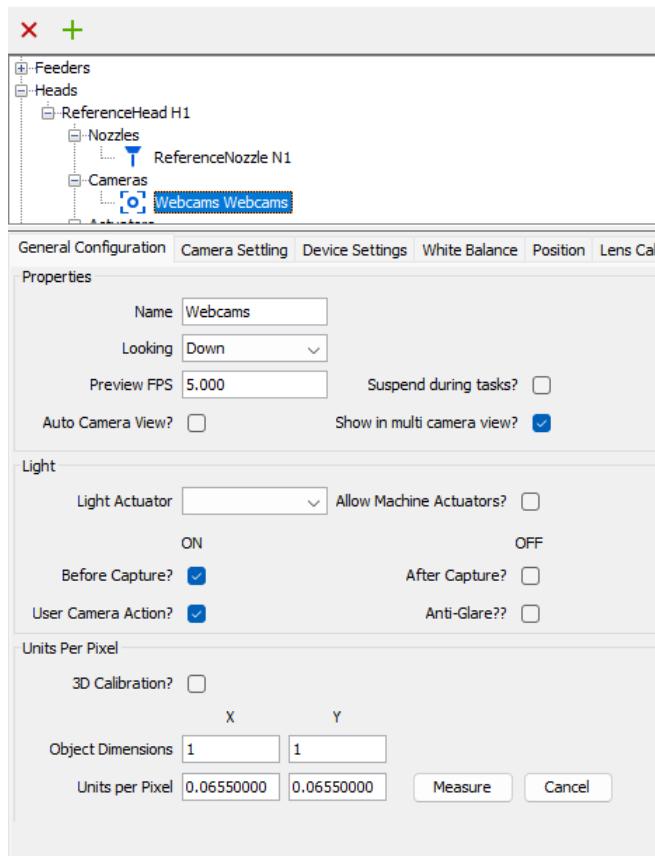


Figura 24: Configuração da câmera em OpenPNP

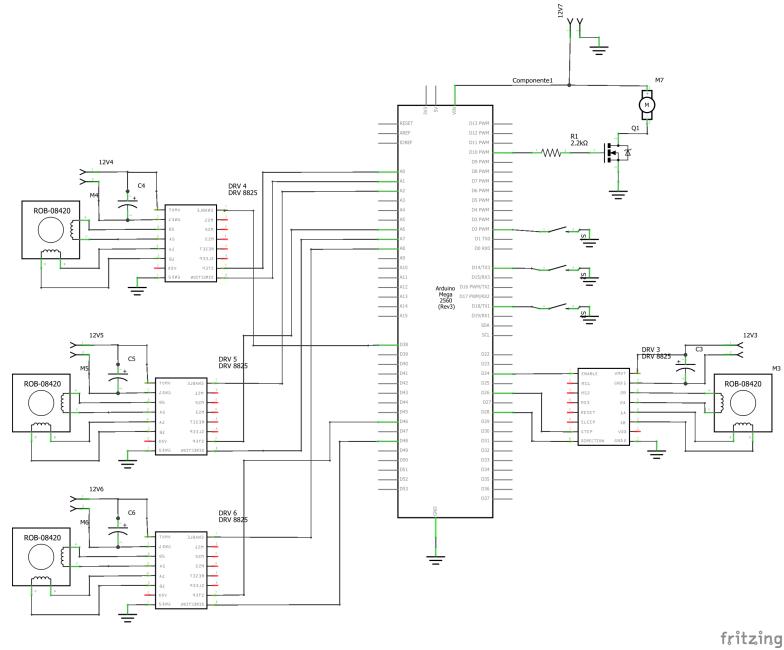


Figura 25: Diagrama elétrico para ligações entre ATmega2560, drivers, sensores e atuadores

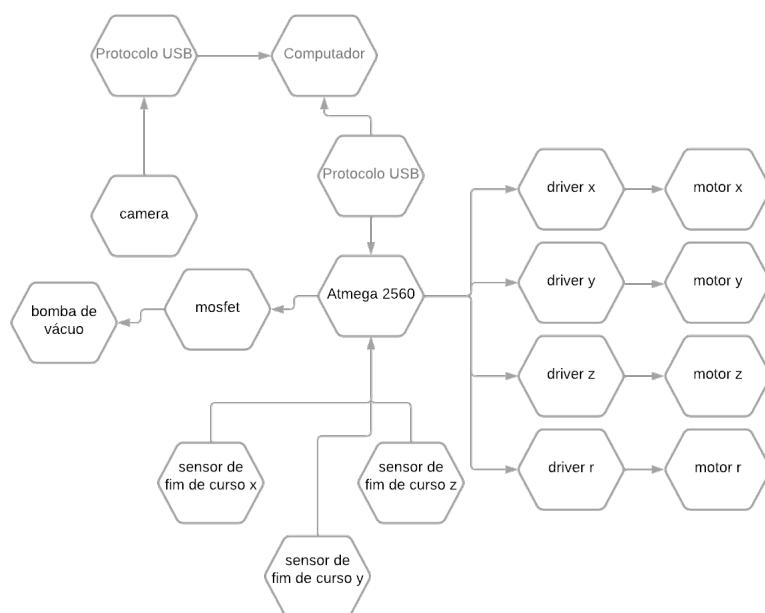


Figura 26: Fluxograma.

5 RESULTADOS

5.1 Processo de Calibração e Testes Iniciais

5.1.1 Ajustes no Sistema Cinemático e Sensores

A calibração inicial da máquina envolveu a definição de parâmetros críticos do sistema cinemático e a configuração precisa dos sensores de fim de curso. Esses sensores são fundamentais para evitar colisões e garantir a repetição precisa dos movimentos.

Parâmetros Ajustados:

Velocidade de deslocamento inicial: configurada em 30 mm/s, mais baixa que o ideal devido ao estágio de prototipagem;

Aceleração: configurada em 200 mm/s² para evitar oscilações indesejadas;

Limites físicos: validados manualmente com base na precisão dos sensores.

5.1.2 Precisão e Erros Observados

Após a calibração, realizaram-se testes de operação repetitiva e medições de precisão. O sistema demonstrou um erro médio de posicionamento de 0,1 mm, que é aceitável para este estágio inicial.

Desafios Relacionados à Precisão: Devido ao corte de custo e escolha de opções mais acessíveis, o sistema cinemático possuí folgas mesmo nos rolamentos lineares além de haver maior atrito do que o antecipado, tudo isso somado à massa do pórtico, em caso de acelerações mais elevadas pode levar à perda de passos por parte dos motores.

Incompatibilidade de Arquivos: O software de controle (OpenPnP) não foi diretamente compatível com os arquivos gerados para projetos eletrônicos. Como solução, a preparação do código G-code foi realizada manualmente inserindo a posição individual de cada componente e seu posicionamento na placa de circuito impresso com o auxílio da câmera presente no carro X. Apesar de não ser método mais prático ainda funcionaria.

5.2 Avaliação de Velocidade e Funcionalidade

Embora funcional, a máquina opera atualmente de forma mais lenta do que o ideal. Essa limitação foi deliberadamente adotada para garantir a integridade dos subsistemas e possibilitar uma avaliação minuciosa de cada etapa do processo durante a fase de prototipagem.

5.2.1 Desempenho Atual

Tempo médio de operação para cada componente:

Coleta e posicionamento: 40 segundos/componente.

Tempo acumulado para uma PCB com 3 componentes:

3 minutos.

5.2.2 Projeção de Velocidade Ideal

Com as melhorias planejadas, tais como a substituição dos eixos lineares por guias lineares padrão MGN, adição de sistema de loop fechado e uso de inteligência artificial projetada para agilizar o processo de configuração de projetos de inserção smd e reconhecimento de componentes através das câmeras, espera-se reduzir consideravelmente o tempo de ciclo. Espera-se um desempenho em que cada componente levaria cerca de 10 segundos para ser capturado e posicionado devidamente na placa.

5.2.3 Justificativa para a Velocidade Reduzida

A lentidão do sistema decorre de uma abordagem conservadora adotada estrategicamente durante os testes iniciais para minimizar riscos e falhas potenciais. Essa estratégia possibilitou:

Proteção dos Subsistemas Mecânicos e Eletrônicos: Garantindo que todos os componentes operassem dentro de limites seguros e prevenindo sobrecargas ou danos que pudessem comprometer o equipamento durante a fase de prototipagem.

Validação Detalhada do Processo: Avaliação minuciosa de cada etapa do processo, incluindo movimentação, posicionamento e liberação dos componentes. Isso permitiu a identificação de ajustes necessários antes de avançar para estágios mais complexos.

Com base nos resultados obtidos até o momento, as próximas fases de desenvolvimento terão como foco principal:

Otimização dos Parâmetros de Velocidade e Aceleração: Ajustes detalhados serão realizados para reduzir de forma notável os tempos de ciclo, atendendo às necessidades de aplicações em escala maior.

Aprimoramento da Eficiência Operacional: Implementação de melhorias no firmware e na mecânica para garantir um funcionamento mais ágil e responsivo, sem comprometer a precisão e a confiabilidade do sistema.

Essa abordagem progressiva é essencial para assegurar que o equipamento esteja completamente validado e alinhado às expectativas de desempenho e produtividade futuras.

5.3 Processo de Coleta e Posicionamento

O procedimento foi validado com sucesso, sendo realizado de forma sequencial e estruturada. Abaixo, detalham-se as etapas do processo de coleta e posicionamento de componentes SMD:

Ativação da bomba de vácuo: O sistema de vácuo foi acionado com precisão para capturar o componente diretamente da posição de armazenamento. A configuração do vácuo foi calibrada para garantir que o componente fosse firmemente mantido durante todo o transporte, minimizando o risco de perda ou desalinhamento.

Movimentação para o destino: O componente capturado foi transportado utilizando o sistema cinemático da máquina até o local designado na PCB. Essa etapa foi cuidadosamente monitorada para assegurar que os movimentos ocorressem de forma suave e precisa, evitando vibrações ou deslocamentos que pudessem comprometer o alinhamento do componente.

Desativação do vácuo: O sistema de vácuo foi desativado no momento correto, permitindo que o componente fosse posicionado e liberado com exatidão na posição final desejada. A precisão no posicionamento foi validada, apresentando um erro inferior a 0,1 mm. Este processo foi realizado com sucesso, como ilustrado na Figura (27).

A implementação deste processo pode ser visualizada em detalhe através dos vídeos disponibilizados em [6] e [5], que documentam o funcionamento prático do sistema



Figura 27: Componente smd posicionado em placa de circuito impresso com utilização da máquina.

5.3.1 Resultados do Processo

Alinhamento do Componente: Durante os testes iniciais, o alinhamento dos componentes na PCB apresentou um desvio médio de 0,1 mm, o que está dentro dos padrões esperados para o estágio atual de desenvolvimento. Esse resultado valida a precisão do

sistema de posicionamento e indica que os subsistemas de controle e movimentação estão devidamente ajustados para as aplicações pretendidas.

Repetitividade: A operação de coleta e posicionamento foi repetida 10 vezes consecutivas, sem falhas identificadas no sistema. Essa consistência demonstra a confiabilidade do equipamento para tarefas repetitivas, sendo um indicador positivo da robustez dos subsistemas mecânicos e eletrônicos.

Os resultados obtidos reforçam a adequação da solução proposta para aplicações em montagem de componentes SMD, com potencial para maior eficiência após ajustes futuros.

5.4 Considerações Finais e Trabalhos Futuros

Apesar dos resultados satisfatórios, há espaço para melhorias significativas. Entre os principais pontos de aprimoramento, destacam-se:

Otimização de Velocidade: Ajustar os parâmetros de velocidade e aceleração para reduzir o tempo de ciclo por componente.

Revisão Mecânica: Reduzir folgas estruturais e otimizar o sistema de movimentação para aumentar a precisão geral.

Revisão Eletrônica: Implementar sistemas de controle de posição via encoder nos motores juntamente da adição de controle PID para os mesmos podendo aumentar a precisão e velocidade.

Automatização e Expansão: Explorar a implementação de sistemas de visão computacional e inteligência artificial para detecção automática de componentes e verificação de posicionamento e troca automática das ferramentas para captura e posicionamento de componentes, além da introdução de mecanismo para transferir placas montadas para uma mesa aquecida onde seria o processo de solda dos componentes enquanto uma nova placa é levada de componentes seriam carregados na área de trabalho para produção, possibilitando assim um ciclo automatizado para produção de eletrônicos em série.

Com base nos resultados alcançados, conclui-se que o protótipo (Figura 28) oferece uma base promissora para futuras evoluções. A máquina cumpre seu objetivo inicial e demonstra o potencial para atender às necessidades de montagem em pequena escala, mantendo custos reduzidos e promovendo soluções tecnológicas acessíveis.

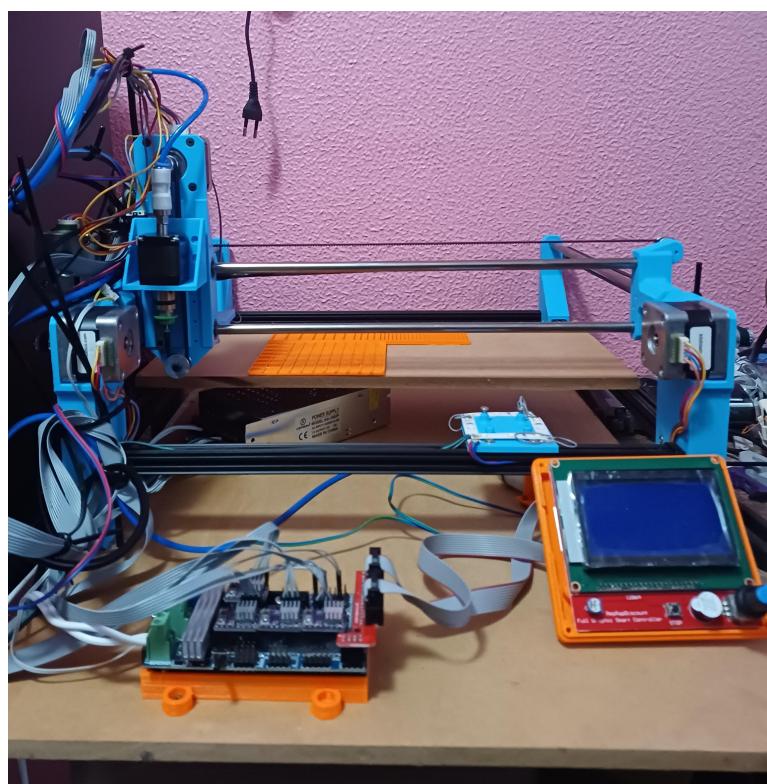


Figura 28: Máquina insersora smd.

6 CONCLUSÃO

O desenvolvimento da máquina insersora SMD de baixo custo foi um passo importante na busca por soluções acessíveis para pequenos projetos e empreendedores independentes. Apesar das limitações enfrentadas, o projeto demonstrou que, com criatividade e dedicação, é possível criar ferramentas úteis e eficientes utilizando componentes acessíveis e tecnologias abertas.

Os resultados obtidos mostram que a máquina consegue realizar operações básicas de coleta e posicionamento de componentes SMD de forma funcional e consistente. Embora simples, essas conquistas representam um avanço significativo para quem busca autonomia na montagem de placas eletrônicas, sem depender de equipamentos caros ou processos terceirizados.

Mais do que um produto final, o projeto é uma base que pode ser aprimorada no futuro. Existem muitas possibilidades de melhorias, como a inclusão de sistemas de visão computacional e a otimização de alguns aspectos mecânicos e eletrônicos. É um ponto de partida que, espero, possa inspirar outros a contribuir, aprender e criar suas próprias soluções.

Essa experiência reforça que, mesmo com recursos limitados, é possível alcançar resultados notáveis por meio de esforço e aprendizado constante. Todos os dados necessários para a construção da máquina relatada neste trabalho estarão disponíveis no github [4].

REFERÊNCIAS

- [1] https://a.aliexpress.com/_ms5kj7v.
- [2] https://produto.mercadolivre.com.br/mlb-5270029372-pick-and-place-insensora-smd-modelo-zb3245t-jm?searchvariation=182814996654polycardclient=search-nordicsearchvariation=182814996654position=3searchlayout=stacktype=itemtracking_id=5bc8ffcd-35dc-4af1-8c9e-4fd96e459b45.
- [3] A R, G., S, C., and Sudhakar (2018). Open source automated smd pick and place machine. *Procedia Computer Science*, 133(4):872–878.
- [4] Gomes, N. B. A. (2024a). <https://github.com/nckolasgomes6696/raccoonpnp/tree/main>.
- [5] Gomes, N. B. A. (2024b). <https://vm.tiktok.com/zmkxa4efn/>.
- [6] Gomes, N. B. A. (2024c). <https://www.youtube.com/shorts/ipq5tnk4ctu>.
- [7] Jorge E. Correa, Nicholas Toombs, P. M. F. (2017). A modular-architecture controller for cnc systems based on open-source electronics. *Journal of Manufacturing Systems*, 44(3):317–323.
- [8] Wang, S. and Ge, M. (2016). Transporte é a fonte de emissões que mais cresce. veja o que dizem os números. *WRI Brasil*, (1).