UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

CURSO DE GRADUAÇÃO BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

LUCAS FRANKLIN PEREIRA DE ANDRADE

DESENVOLVIMENTO DE UMA MÁQUINA CNC DE CÓDIGO ABERTO A PARTIR DA RECUPERAÇÃO DE UMA MESA DE COORDENADAS

Recife-PE

2024

LUCAS FRANKLIN PEREIRA DE ANDRADE

DESENVOLVIMENTO DE UMA MÁQUINA CNC DE CÓDIGO ABERTO A PARTIR DA RECUPERAÇÃO DE UMA MESA DE COORDENADAS

Trabalho de Conclusão de Curso – TCC - apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE - como requisito à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.
Área de Concentração: Projeto e Mecatrônica.
Orientador: Prof. Dr. Justo Emílio Alvarez Jácobo

Recife-PE
2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Andrade, Lucas Franklin Pereira de.
Desenvolvimento de uma máquina CNC de código aberto a partir da recuperação de uma mesa de coordenadas / Lucas Franklin Pereira de Andrade. - Recife, 2024.
69 : il., tab.

Orientador(a): Justo Emílio Alvarez Jácobo
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Mecânica - Bacharelado, 2024.
Inclui referências, apêndices.

1. CNC. 2. Arduino. 3. GRBL. 4. Usinagem. I. Jácobo, Justo Emílio Alvarez. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

Universidade Federal de Pernambuco
Departamento de Engenharia Mecânica Centro de Tecnologia e Geociências- CTG/EEP

DEMEC

ATA DE SESSÃO DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – TCC2

Ao 18° dia do mês de outubro do ano de dois mil e vinte e quatro, às 15:00 horas, reuniu-se a banca examinadora para a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, intitulado **Desenvolvimento de uma máquina CNC de código aberto a partir da recuperação de uma mesa de coordenadas**, elaborado pelo aluno **Lucas Franklin Pereira de Andrade**, matrícula 20150003284, sob a orientação do Prof. **Justo Emílio Alvarez Jácobo**. A banca foi composta pelos avaliadores: Prof. **Justo Emílio Alvarez Jácobo** (orientador), Prof. **João Paulo Cerquinho Cajueiro** (avaliador), e Prof. **Abner Correa Barros** (avaliador). Após a exposição oral do trabalho, o candidato foi arguido pelos componentes da banca que em seguida reuniram-se e deliberaram pela sua aprovação, atribuindo-lhe a média 8 (oito), julgando-o apto(x) / inapto( ) à conclusão do curso de Engenharia Mecânica. Para constar, redigi a presente ata aprovada por todos os presentes, que vai assinada pelos membros da banca.

Orientador:	Prof. Justo Emílio Alvarez Jácobo	Nota: 8 (oito)
Assinatura	_____	
Avaliador Interno:	Prof. João Paulo Cerquinho Cajueiro	Nota: 8 (oito)
Assinatura	_____	
Avaliador Externo:	Prof. Abner Correa Barros	Nota: 8 (oito)
Assinatura	_____	

Recife, 18 de outubro de 2024.

Prof. Marcus Costa de Araújo
Coordenador de Trabalho de Conclusão de curso - TCC
Curso de Graduação em Engenharia Mecânica – CTG/EEP-UFPE

Dedico este trabalho aos meus pais,
Salomé Josefa da Cruz e
José Eguinaldo Pereira de Andrade;
aos meus irmãos, José Aglailson,
Angélica Pereira e Alef Felipe,
porque, em diversos momentos,
foram críticos construtivos
no aconselhamento das decisões tomadas
por mim até a conclusão da graduação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela oportunidade e ensinamento adquiridos nesses últimos cinco anos.

A minha mãe, Salomé Josefa da Cruz, pelos seus valiosos ensinamentos, suas recomendações e seus cuidados, sempre me motivando a alcançar meus objetivos, doando o seu melhor, sem estar me equiparando aos outros, tendo respeito por todos.

A meu pai de criação, José Manuel Bezerra, que sempre me ensinou os valores e deveres, esclarecendo o quanto é importante ser precavido e organizado.

A meu pai biológico, José Eguinaldo de Andrade, que, mesmo de longe, foi figura chave e corresponsável para enfrentar as dificuldades diárias antes e durante toda minha graduação.

A Meus Irmãos, José Aglailson Pereira de Andrade, Angélica Pereira de Andrade e Alef Felipe Pereira de Andrade, que perpetuamente acreditaram no meu potencial, incentivando de diversas maneiras a continuar e nunca desistir do que realmente gosto e acredito.

A meus Tios, Daniel Pereira da Cruz e Mirian Josefa da Cruz Silva, que me acolheram como filho durante a jornada da graduação, permitindo a realização desta.

A Natacha Raiza Santana Correia, por estar ao meu lado e acreditar em mim, em momentos que até eu mesmo duvidei das minhas capacidades.

A Joabe Trajano da Silva, pois, enfim, nosso plano de nos tornarmos engenheiros deu certo, e seus estímulos nas horas mais difíceis foram de muita importância.

A todos os meus professores, vocês foram de suma importância para meu desenvolvimento social e profissional. Reconheço que sem a dedicação de vocês, nada disso seria possível.

Por fim, a minha esposa Natacha Raiza Santana Correia e ao meu filho, Lucas Gabriel Santana de Andrade, os quais me expiraram para finalizar essa jornada.

Nós somos um reflexo de cada um que nos cerca, sou muito feliz e grato a todos por refletir um pouco de cada um de vocês nessa jornada. Muito Obrigado.

"Eu gosto do impossível, porque lá a concorrência é menor."
(Walt Disney)

RESUMO

O presente trabalho objetiva apresentar a construção de uma máquina CNC com *software* de código aberto, a partir de uma mesa de coordenadas (equipamento descartado), com o intuito de servir como material didático para o Laboratório de Prototipagem. O projeto foi dividido em três fases: *Mecânica, Eletrônica e Software*. Na primeira fase, são apresentadas todas as peças e os dimensionamentos necessários para a fabricação mecânica, como guias, chapas, castanhas, fuso, motores, etc. Na segunda etapa, é utilizada uma placa Arduino UNO como base do projeto da eletrônica, que também compreende fonte de alimentação, placas controladoras, sensores. Em seguida, se apresentam as configurações de instalação dos componentes eletrônicos assim como os *softwares* de utilização do sistema; por fim, são apresentados testes em madeira MDF acoplando uma micro retífica. A máquina projetada possui um corpo em alumínio, com volume útil de 740x620x320 mm^3, com capacidade de acoplar ferramentas para usinagem e deposição de material, sendo este último um sistema a ser desenvolvido futuramente.

Palavras-chave: CNC. Arduino. GRBL. Usinagem.

ABSTRACT

This project aims to build a CNC machine with open-source software from a coordinate table (discarded equipment) in order to serve as teaching material for the Prototyping Laboratory. The project was divided into three phases: Mechanics, Electronics and Software. In the first phase, all the parts and dimensions required for mechanical manufacturing are presented, such as guides, plates, nuts, spindles, motors, etc. In the second stage, an Arduino UNO board is used as the basis for the electronics project, which also includes a power supply, controller boards and sensors. Next, the installation configurations of the electronic components are presented, as well as the software for using the system; finally, tests are presented on MDF wood by attaching a micro-grinding machine. The machine designed has an aluminum body, with a useful volume of 740x620x320 mm^3, with the capacity to attach tools for machining and material deposition, the latter being a system to be developed in the future.

Keywords: CNC. Arduino. GRBL. Machining.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Máquina ferramenta 1.0 a 4.0 17
Figura 2 *Rapid Response Manufacturing* 21
Figura 3 Máquina cartesiana CNC com mesa móvel 22
Figura 4 Máquina cartesiana CNC com pórtico móvel 22
Figura 5 Barra linear com *pillow blocks* e suportes nas extremidades 23
Figura 6 Guias em Aço Laminados a Frio da Rollon 24
Figura 7 Guias em Aço Laminados com Patins 24
Figura 8 Correia Sincronizadora em uma Polia 25
Figura 9 Fuso Trapezoidal sistema anti-folga 26
Figura 10 Fuso Trapezoidal sistema anti-folga 26
Figura 11 Acoplamento Rígido com flanges parafusadas 27
Figura 12 Acoplamento Flexíveis 27
Figura 13 Motor de Passo com Relutância Variável 28
Figura 14 Motor de Passo com Imã Permanente 28
Figura 15 Motor de Passo Híbrido 29
Figura 16 Motor de Passo Unipolar 29
Figura 17 Motor de Passo Bipolar 30
Figura 18 Placa Arduino UNO 31
Figura 19 Placa CNC *Shield* V 3.0 32
Figura 20 Microcontrolador DRV8825 32
Figura 21 Pinos de controle 33
Figura 22 Fonte de alimentação 12 V 34
Figura 23 Software INKSCAPE 34
Figura 24 Firmware GRBL 35
Figura 25 Arduino 35
Figura 26 Software UNIVERSAL G-CODSENDER 35
Figura 27 Estrutura de uma mesa cartesiana de modelo desconhecido 36
Figura 28 Máquina Mesa Cartesiana CNC projetada no CAD 36
Figura 29 Informações Técnicas do Alumínio 37
Figura 30 Kit (Servo Motor, Acoplamento e Eixo Fuso Trapezoidal) 39
Figura 31 Diagrama para determinar momento de inércia do fuso 41
Figura 32 Máquina CNC Cartesiana Projetada no CAD, com Acoplamento em Destaque 43
Figura 33 Vista frontal da máquina recondicionada 44
Figura 34 Integração dos Softwares e Componentes Eletrônicos 46
Figura 35 Slots da placa CNC *Shield* V 3.0 47
Figura 36 Placa CNC *Shield* V 3.0 configurada 48
Figura 37 Potenciômetro do Driver DRV8825 48
Figura 38 Versão para download do INKSCAPE 49
Figura 39 Iniciar um arquivo novo no INKSCAPE 49
Figura 40 Traçar bitmap no INKSCAPE 50
Figura 41 Configurando imagem de Pernambuco (Flávio Arruda, 2013) 50
Figura 42 GitHub GRBL para download 51

Figura 43 Versão para download do Arduino IDE..... 51
Figura 44 Passo a passo de inclusão do GRLBL no software Arduino..... 53
Figura 45 Passo a passo de configuração da placa Arduino UNO..... 54
Figura 46 USG para download..... 55
Figura 47 Passo a passo para entrar no software USG..... 56
Figura 48 Imagem do escudo da UFPE no INKSCAPE..... 56
Figura 49 Parametrização do Logotipo da UFPE no G-CODE SENDER..... 58
Figura 50 Imagem dos comandos configurados da ferramenta no software..... 60
Figura 51 Protótipo do Adaptador para Micro Retifica Knakasaki..... 61
Figura 52 Escudo da UFPE produzido pela máquina do presente projeto..... 61

LISTA DE TABELA

Tabela 1 Especificações Iniciais do Projeto..... 37
Tabela 2 Dados Técnicos do Motor de Passo Nema 17..... 38
Tabela 3 Componentes Determinados Originalmente..... 44
Tabela 4 Dados Técnicos da Placa Arduino UNO..... 45
Tabela 5 Dados Técnicos da Placa CNC *Shield* V3.0..... 45
Tabela 6 Configuração do Microcontrolador na Placa CNC *Shield*..... 46
Tabela 7 Principais Comandos Básicos do *Software*s USG..... 57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AU	Arduino UNO
CAD	Desenho Assistido por Computador
CAM	Manufatura Assistida por Computador
CNC	Comando Numérico Computadorizado
EUA	Estados Unidos da América
LITPEG	Instituto de Pesquisa em Petróleo e Energia
MA	Manufatura Aditiva
MD	Manufatura Direta
MIT	Instituto de Tecnologia de Massachusetts
MS	Manufatura Subtrativa
NC	Comando Numérico
PR	Prototipagem Rápida
RRM	Manufatura de Resposta Rápida
PIB	Produto Interno Bruto
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UGS	Universal G-Code Sender

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO..... 16
1.1 OBJETIVOS..... 18
1.1.1 Objetivo Geral..... 18
1.1.2 Objetivos Específicos..... 18
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... 19
2.1 USINAGEM..... 19
2.2 CAD..... 19
2.3 CAM..... 19
2.4 CNC..... 19
2.5 G-CODE..... 20
2.6 MANUFATURA DE RESPOSTA RÁPIDA..... 20
2.7 ESTRUTURA DA MESA CNC CARTESIANA..... 21
2.7.1 Mesa Móvel..... 21
2.7.2 Pórtico Móvel..... 22
2.8 SISTEMAS DE GUIAS..... 23
2.8.1 Eixo Linear e *Pillow Blocksy*..... 23
2.8.2 *Compact Rail*..... 24
2.8.3 Guias Lineares com Patins..... 24
2.9 SISTEMAS DE TRANSMISSÃO..... 25
2.9.1 Correia Sincronizadora e Polia..... 25
2.9.2 Fuso Trapezoidal e Castanha..... 25
2.9.3 Acopladores..... 26
2.9.4 Motores de Passo..... 27
2.10 CONPONENTES ELETRÔNICOS..... 30
2.10.1 Microprocessador e Microcontrolador..... 30
2.10.2 Placa Arduino UNO..... 31
2.10.3 Placa CNC Shield V3.0..... 31
2.10.4 Drive DRV8825..... 32
2.10.5 Fonte de Alimentação..... 34
2.11 SOFTWARE E FIRMWARE DE CÓDGO ABERTO..... 34
2.11.1 Software INKSCAPE..... 34
2.11.2 Firmware GRBL..... 34
2.11.3 Arduino IDE..... 35
2.11.4 Universal G-Code Sender..... 35
3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO..... 36
3.1 PROJETO MECÂNICO..... 37
3.1.1 Dimensionamento do Peso Máximo da Plataforma de Sustentação Estrutural (Base)..... 38
3.1.2 Dimensionamento do Acionamento Eixo Z..... 38
3.1.2 Acoplamento Para o EIXO Z..... 43
3.1.3 Reaproveitamento da Estrutura..... 43

3.2 DEFINÇÃO E INSTALAÇÃO DOS COMPONENTES ELETRÔNICOS E SOFTWARES..... 44
3.2.1 Configuração da Placa CNC Shield V 3.0..... 47
3.2.3 Configuração do Microcontrolador DRV8825..... 48
3.2.4 INKSCAPE..... 49
3.2.5 GRBL..... 51
3.2.5 Instalação do IDE e Configuração..... 51
3.2.6 UNIVERSAL G-CODE SENDER..... 55
4 RESULTADOS..... 56
5 CONCLUSÕES..... 62
REFERÊNCIAS..... 63
APÊNDICE A - MÁQUINA CNC CARTESIANA PROJETADA (MODELO: AALGN) 66
APÊNDICE B - ACOPLADOR DO ADAPTADOR 67
APÊNDICE C –TABELA DE ESPECIFICAÇÃO DA MÁQUINA PROJETADA..... 68

1 INTRODUÇÃO

A priori, é importante abordar o contexto evolutivo das maquinarias, pois a criação das primeiras máquinas mecanizadas corroborou a modificação do comportamento social dos indivíduos incluídos na sociedade, ocorrendo, assim, a primeira Revolução Industrial, época na qual o consumo passou a ser maior que a demanda devido à alta produção dessas máquinas mais sofisticadas, visto que apenas a produção com ferramentas de uso artesanal não dava conta da demanda dos bens de consumo. Logo, é notável que a evolução das maquinarias influenciou alguns aspectos da sociedade, tais como: forma de viver, de pensar e de agir.

Em contrapartida ao exposto, a alta produção em um curto período levou ao bem-produzido à redução da qualidade do produto, além de sobrecarregar os funcionários, acarretando problemas de saúde física e mental. Logo, no intuito de resolver essas problemáticas (caída da qualidade dos produtos e sobrecarga dos funcionários), surgiu a busca incessante de novas formas de produzir, o que conduziu ao avanço exponencial das máquinas, dentre elas, as máquinas CNC (Comando Numérico Computadorizado) que carregam consigo o intuito de produzir alto volume de peças complexas com agilidade, confiabilidade, baixo custo e qualidade, trazendo, em paralelo, a amenização dos trabalhos insalubres dos operários. Nesse contexto, em especial as máquinas operatrizes progrediram, de forma mais intensa, com as revoluções industriais.

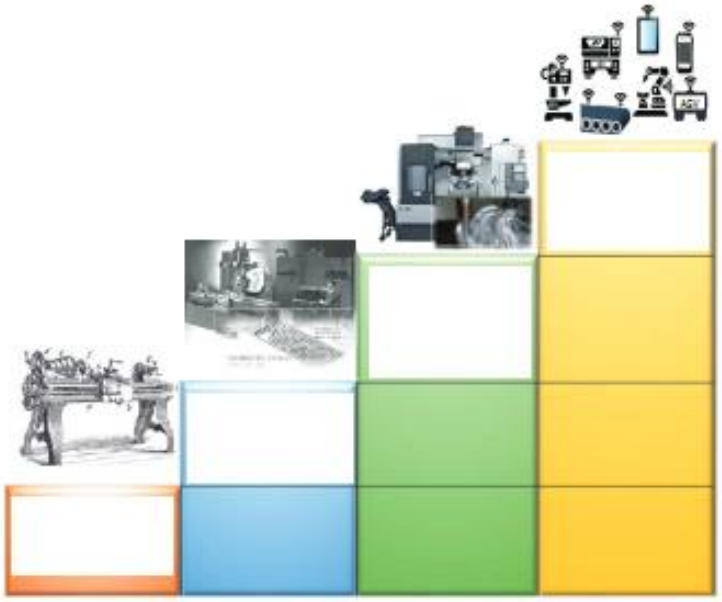
Ao longo da história, a evolução da convivência em sociedade sempre esteve intimamente ligada à utilização e produção de ferramentas tecnológicas que buscavam o melhor desempenho técnico nas empresas/indústrias/laboratórios etc. Proporcionando aos indivíduos, assim, melhor tempo de qualidade e maior eficiência nos ambientes supracitados.

Um fator histórico que deve ser evidenciado, neste projeto em específico, é que, durante a segunda guerra mundial (1939–1945), o mundo se viu na necessidade de melhora das maquinarias, e, como melhora, entende-se por automatização com o intuito de melhor desempenho das máquinas. Produção de peças, carros e armas de forma rápida e eficiente eram imprescindíveis. Portanto, a produção em grande escala sem a perda da qualidade era prioridade naquele momento. Dentro desse contexto, anos depois, em 1949, surgia a primeira máquina CNC no mundo, em um laboratório de servomecanismos do MIT, fruto da união do MIT (Instituto de Tecnologia de Massachusetts), força aérea dos EUA e a empresa *Parsons*

Corporation of Traverse City (Usinagem Brasil, 2024). A fim de obter experiências na nova invenção, foi adotada uma fresadora de 3 eixos, chamada de *Hydrotel*, correlacionando, assim, a criação de novas ferramentas utilizadas naquele período até os dias atuais.

Atualmente, vivemos na geração da indústria 4.0 a qual abrange não apenas a mecanização, mas também a produção em larga escala, assim como a robotização desses processos. Esta fase também se destaca pelo uso da inteligência artificial, tema muito atual nos dias de hoje. É interessante notar que essa ascensão da indústria está intimamente ligada às máquinas ferramentas, uma vez que, segundo Xu (2017) as máquinas operatrizes estão em um processo evolutivo ao longo dos anos, indo de máquinas ferramentas 1.0 a 4.0, como mostra a Figura 1.

FIGURA 1 - MÁQUINA FERRAMENTA 1.0 A 4.0



Fonte: *Xu (2017, Adaptado*)

Na versão 1.0, essas máquinas são basicamente mecânicas e operadas manualmente (máquinas a vapor). Na versão 2.0, já existem acionamentos eletrônicos e comandos numéricos. Na versão 3.0, o Comando Numérico Computadorizado (CNC) surgiu e, com ele, a ampliação no uso da automação dos comandos. Por fim, a 4.0 propõe a integração de várias tecnologias, dentre elas: computação em nuvem, internet das coisas, manufatura aditiva, robôs, big data, etc.

Diante dos fatos anteriormente citados, é de alta valia a interação dos discentes universitários com os conhecimentos desses equipamentos. Porém, muitas dessas máquinas tecnológicas ainda possuem *softwares* fechados e componentes com custo de manutenção

elevado (Araújo, 2012). Desta maneira, uma máquina CNC cartesiana de código aberto vai permitir que os alunos possam criar projetos pontuais, com a possibilidade de ter todos os dados no computador/notebook pessoal, ou em qualquer computador do laboratório.

Em razão disso, justifica-se a relevância do trabalho ora apresentado.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem por objetivo descrever o desenvolvimento de uma máquina CNC com *software* abertos, a partir da reutilização de componentes de uma mesa cartesiana, que servirá de instrumento didático e de pesquisa no laboratório de prototipagem.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Reutilizar os componentes de uma mesa cartesiana (descartada), visando a construção de uma máquina CNC customizada;
- Definir e instalar os componentes eletrônicos necessários para a CNC;
- Definir e configurar os *softwares* de código aberto e a serem utilizados na CNC;
- Realizar testes de utilização do equipamento.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para melhor compreensão do presente trabalho, na sequência serão apresentados os conhecimentos básicos de mecânica, eletrônica e softwares utilizados durante o desenvolvimento do projeto e que serviram de base para compor o aporte teórico.

2.1 USINAGEM

Usinagem é uma manufatura subtrativa (MS), com finalidade de dar forma, dimensão e acabamento, ou qualquer combinação destas características, por meio da retirada do cavaco com o auxílio de uma ferramenta de corte (Ferraresi, 1977). As máquinas operatrizes convencionais para usinagem são, dentre outras: Torno, Fresadora, Plaina, Furadeira e a Retífica.

2.2 CAD

CAD é o termo em inglês que designa "*Computer-Aided Design*" (Desenho Assistido por Computador). É uma tecnologia utilizada para criar, modificar, analisar e otimizar desenhos e modelos em 2D e 3D. Por esse motivo, o CAD é amplamente utilizado em diversas indústrias, assim como engenharia, arquitetura; isso porque o projetista pode criar a peça virtualmente, definir as linhas de acabamento, o espaçamento e a espessura, para uma concepção mais facilitada, sobretudo pela modelagem 3D, conforme assevera Correia (2006).

2.3 CAM

CAM tem significado de "*Computer-Aided Manufacturing*" (Manufatura Assistida por Computador). É uma tecnologia que utiliza *software* e sistemas computacionais para facilitar e automatizar processos de fabricação, com principal objetivo de aumentar a eficiência e a precisão na produção, reduzindo erros humanos e otimizando o uso de máquinas. Após a criação de um modelo CAD, CAM pode gerar códigos que controlam máquinas CNC os quais serão convertidos em instruções para as máquinas, e, assim, seguir para produzir a peça desejada , ainda em conformidade com Correia (2006).

2.4 CNC

À medida que as máquinas são desenvolvidas, também são aprimoradas as formas de controle. Como visto por Xu (2017), os comandos inicialmente foram basicamente mecânicos, porém esses tipos de acionamentos exigem alta quantidade de energia, transmissão lenta, grandes atritos. Visando a aumentar a rapidez e confiabilidade, foi criado o Comando Numérico (NC), operando com cartões ou fitas com sequência lógica de furos. Comando Numérico Computadorizado (CNC) é a evolução do NC, por sua vez, na CNC, a sequência de instruções

é enviada e interpretada com auxílio de um microprocessador, além de permitir alterações de parâmetros de facilmente em curto tempo, com ganho significativo na produtividade das máquinas.

2.5 G-CODE

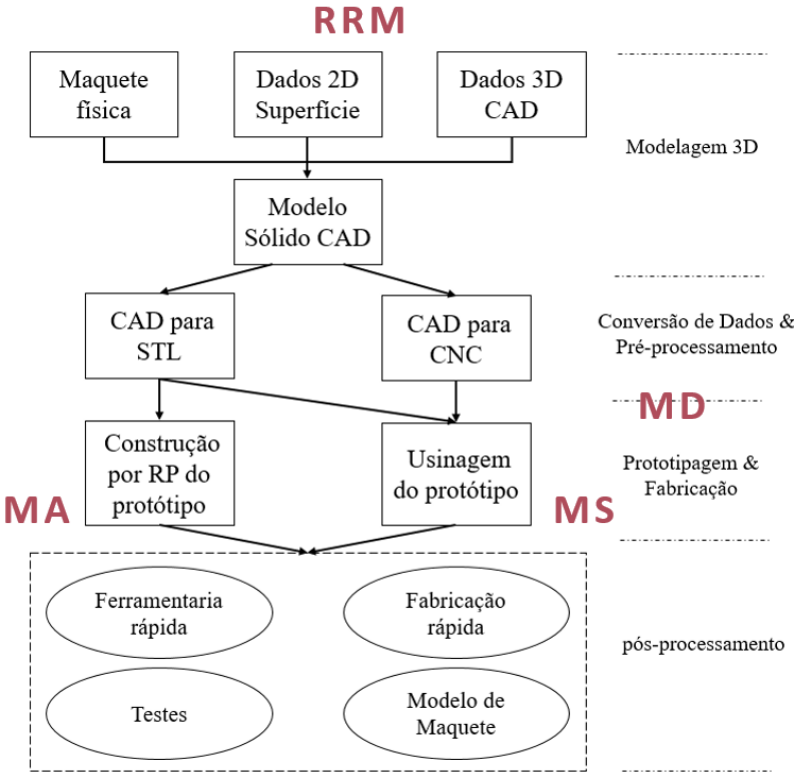
O G-code é uma linguagem de máquina, padronizado pela Norma ISO 6983, que define como os comandos devem ser estruturados e interpretados pelas máquinas CNC, por exemplo: os Códigos G são utilizados para especificar movimentos e trajetórias da ferramenta, assim como o Códigos M gerenciam funções auxiliares da máquina.

Após a geração do G-code pelo *software* CAM, o arquivo é adicionado ao diretório de destino do equipamento. Então, o código é interpretado pela interface do dispositivo de maneira sequencial, desta forma, conforme as linhas são lidas e processadas, as ações são executadas (Romeros, 2022).

2.6 MANUFATURA DE RESPOSTA RÁPIDA

O conceito de Resposta Rápida na Fabricação (em inglês *Rapid Response Manufacturing*, RRM) integra tecnologias CAD e Manufatura Direta (MD), que usam técnicas de Prototipagem Rápida (PR). PR, podendo ser definida como uma técnica que converte diretamente dados 3D, das tecnologias CAD, em um protótipo físico, por meio da Manufatura Subtrativa (MS) e principalmente Manufatura Aditiva (MA).

FIGURA 2– *RAPID RESPONSE MANUFACTURING*



Fonte: Kamrani (2006, *Adaptado*)

Na Figura 2, são mostradas as etapas de um processo *Rapid Response Manufacturing*, segundo Kamrani (2006). Nesse sentido, o equipamento em desenvolvimento poderá servir tanto para MS (ferramental de desbaste ou corte) como MA (cabeça de impressão ou deposição), a depender da ferramenta que se instale, por isso dá importância do projeto para o Laboratório de Prototipagem.

2.7 ESTRUTURA DA MESA CNC CARTESIANA

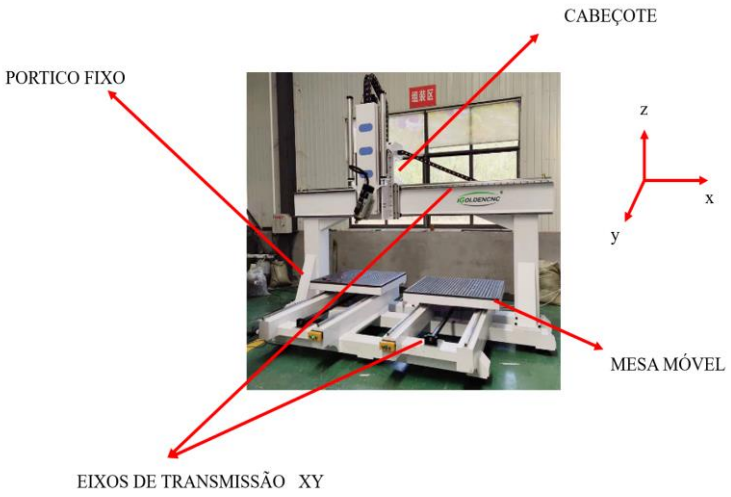
A estrutura de uma máquina CNC cartesiana é projetada para permitir o movimento preciso do cabeçote nos eixos X, Y e Z, semelhante às fresadoras manuais, mas com a vantagem da automação e controle computacional. Todavia, vale salientar que diferentes modelos estruturais influenciam a precisão, a rigidez e a capacidade de carga da máquina, afetando diretamente o desempenho em diversas aplicações (Silva, 2018).

2.7.1 Mesa Móvel

A máquina cartesiana CNC de mesa móvel destaca-se devido à rigidez do pórtico fixo, especialmente em aplicações nas quais a precisão é crítica. Isso porque as forças aplicadas não afetam os eixos X e Y, resultando em menor deformação e mais estabilidade durante o processo

de usinagem. Porém, quando a mesa se desloca, ela pode ultrapassar os limites da estrutura, o que torna difícil a instalação em ambientes pequenos. (Silva, 2018).

FIGURA 3-MÁQUINA CARTESIANA CNC COM MESA MÓVEL

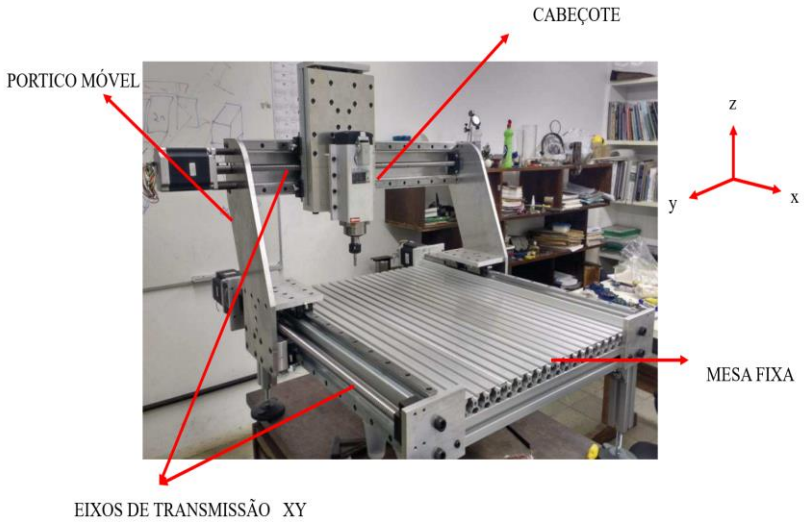


Fonte: Focus Technology Co., Ltd, 2024, Adaptado

2.7.2 Pórtico Móvel

A máquina cartesiana CNC de pórtico móvel é uma solução a ser considerada em ambientes com espaço limitado, pois permite que o cabeçote se mova ao longo da mesa fixa, enquanto todo o pórtico se desloca (Silva, 2018). Essa configuração reduz a necessidade de espaço adicional, já que as partes móveis permanecem dentro dos limites da mesa de trabalho. Todavia, a sobreposição dos eixos X, Y e Z pode causar problemas de precisão, especialmente se houver desgaste ou desalinhamento em qualquer um deles (Silva, 2018).

FIGURA 4- MÁQUINA CARTESIANA CNC COM PÓRTICO MÓVEL



Fonte: Silva, 2018, Adaptado

2.8 SISTEMAS DE GUIAS

Os sistemas de guias são formados por elementos mecânicos, com finalidade de conduzir e guiar a máquina-ferramenta em uma direção e curso determinado. Vale salientar que a falta de seu paralelismo, sua inclinação, seu perpendicularíssimo etc., podem influenciar na precisão da peça (Camargo, 1988).

2.8.1 Eixo Linear e *Pillow Blocksy*

O eixo linear, geralmente, é fabricado em aço temperado e cromado, o que oferece uma alta resistência ao desgaste e à deformação. Ele pode ser fixado de duas formas: Guia Linear Tipo Fim-Montado ou Guia Linear Tipo Contínuo-Montado (Reis C. R., 2018).

- Os Guias Lineares Tipo Fim-Montado possuem fixação na extremidade da haste, o que permite que o bloco deslize à longa haste. Além disso, os blocos usam rolamento fechado, que ajudam a minimizar a deflexão da haste.
- Os Guias Lineares Tipo Contínuo- Montado possuem fixação ao longo da extensão por meio de furos. Já os blocos usam rolamentos abertos para adapta-se ao espaço definido.

Os *pillow blocks* são blocos metálicos com rolamentos lineares internos, o que permite o eixo alinhado e livre de folgas, com movimento suave e controlado (Reis C. R., 2018).

FIGURA 5 - BARRA LINEAR O COM *PILLOW BLOCKS* E SUPORTES NAS EXTREMIDADES

FONTE: AVA LINEAR, 2024.

2.8.2 *Compact Rail*

Compact Rail são guias em aço para rolamentos laminados a frio, os quais possuem o movimento sobre uma calha de deslocamento interna, temperada por indução e retificada, com perfil em C. A geometria e a forma de contato entre o rolete e a calha conferem a esta uma alta resistência contra sujidade externa ou detritos (Reis C. R., 2018).

Portanto, não é influenciada pela sujeira do ambiente externo, podendo ser empregada em ambientes externos agressivos, como minas (Rollon, 2024).

FIGURA 6 - GUIAS EM AÇO LAMINADOS A FRIO DA ROLLON

Fonte: Reis C. R., (2018)

2.8.3 Guias Lineares com Patins

Os guias Lineares com patins possuem um guia com formato de trilho, semelhante aos de trens, dessa forma, deslizam suavemente ao longo da guia, permitindo movimento preciso e com baixo atrito; são projetados para fácil instalação. Essas características fazem dos sistemas de guias lineares com patins uma escolha preferencial em ambientes industriais que demandam eficiência, precisão e durabilidade. Outrossim, o formato do trilho proporciona ao conjunto uma fixação extremamente segura e, consequentemente, uma elevada capacidade de carga, em comparação com outros sistemas de guia da mesma dimensão. Isso corrobora a oneração dos projetos, consequentemente a escolha de outras tecnologias (Silva, 2018).

FIGURA 7- GUIAS EM AÇO LAMINADOS COM PATINS

Fonte: Tecmaf, 2024

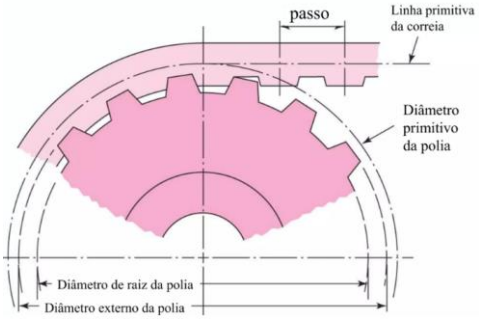
2.9 SISTEMAS DE TRANSMISSÃO

O movimento linear nas máquinas CNC é fundamental para o funcionamento eficaz dos componentes; e a conversão do movimento rotativo dos motores para linear é realizada por diferentes mecanismos de transmissão. A escolha do mecanismo de transmissão ideal depende das necessidades específicas da aplicação, como a precisão exigida, a torque, a velocidade de operação e o custo. Dentre várias forma de transmissão, destacam-se para as máquinas CNC cartesianas: correia sincronizadora e polia, fuso trapezoidal e castanha, acopladores e motores de passo.

2.9.1 Correia Sincronizadora e Polia

As polias são elementos mecânicos circulares e acoplados a eixos motores. Assim, elas são, normalmente, movidas por máquinas e equipamentos e utilizadas para transformar e transferir movimentos. As correias sincronizadoras são elementos de máquina que transmitem movimento de rotação e torque entre eixos por intermédio das polias. A transmissão de força e movimento ocorre por meio do engrenamento positivo entre os dentes da correia e os dentes da polia. Quanto maior a área de contato do dente da correia com o dente da polia, maior será a capacidade nominal de transmissão (Nisbett, 2015).

FIGURA 8 - CORREIA SINCRONIZADORA EM UMA POLIA



Fonte: Nisbett, 2015.

2.9.2 Fuso Trapezoidal e Castanha

Os fusos e as castanhas são elementos mecânicos que transformam o movimento giratório do motor em movimento linear de avanço da mesa, a castanha descreve um movimento linear à medida que o giro no fuso ocorre (Santos, 2019). Os fusos com filetes trapezoidais possuem ângulo de inclinação dos filetes da rosca, dificultam que a castanha se mova pelo fuso

apenas pela ação da gravidade e, se comparados às correias dentadas, possuem precisão de 3 a 4 vezes maior; além disso, detêm rigidez, eficiência de transmissão com baixo custo. Por esses aspectos, esses elementos são difundidos para máquinas cartesianas (Borba, 2023).

Ao mudar o sentido do deslocamento, algumas castanhas podem apresentar folga, podendo penalizar projetos que almejam precisão, visto que o movimento de rotação não foi totalmente convertido em movimento linear (Oliveira, 2022). Vide Figura 10.

FIGURA 9 - FUSO TRAPEZOIDAL SISTEMA ANTI-FOLGA

Fonte: Eletrônico, Impacto CNC Comércio (2024)

Como solução, encontra-se facilmente no mercado um sistema anti-folga, em que uma mola é utilizada para eliminar a folga entre a castanha e o fuso. Porém, com o atrito gerado, é importante realizar a manutenção com lubrificação para prolongar a vida útil destes componentes (Oliveira, 2022).

FIGURA 10 - FUSO TRAPEZOIDAL SISTEMA ANTI-FOLGA

Fonte: Eletrônico, Impacto CNC Comércio (2024)

2.9.3 Acopladores

Os acoplamentos são elementos mecânicos com a função de conectar dois eixos, transferindo torque e movimento rotativo de um motor ou mecanismo para outro componente; além disso, auxiliam na redução de tensões excessivas causadas por desalinhamento durante a

montagem, assim como podem absorver as vibrações mecânicas; por fim, podem ser como fusíveis mecânicos. Existem dois tipos de acoplamentos: rígidos e flexíveis (Reis C. R., 2018).

- **Acoplamentos Rígidos** - Transmitem movimento sem permitir desalinhamentos. São utilizados quando um alinhamento preciso é garantido.

FIGURA 11 - ACOPLAMENTO RÍGIDO COM FLANGES PARAFUSADAS

Fonte: Antares, 2024

- **Acoplamentos Flexíveis** - Permitem desalinhamentos angulares, radiais e axiais. Exemplos incluem acoplamentos de borracha, de elástico e de fole.

FIGURA 12 - ACOPLAMENTO FLEXÍVEIS

Fonte: Acoplatec (2024)

2.9.4 Motores de Passo

Para velocidades e controle de posição precisos em máquinas de mesa CNC cartesiana, geralmente é o motor de passo que se destaca, porque a posição do motor pode ser controlada à medida de cada passo corresponde a um ângulo de rotação fixo, sendo o menor deslocamento angular projetado a partir da divisão de uma revolução completa pelo número de passos necessários para que o eixo do motor efetue uma volta total (Borba, 2023).

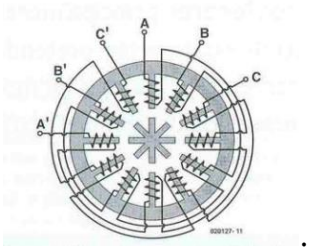
Sendo assim:

$$Passo = \frac{360°}{passos/revolução} \quad (1)$$

Os motores de passos podem ser divididos em ao menos 3 classificações (Constandinou, 2005):

- **Relutância Variável:** O motor com relutância variável utiliza imã permanente, o que permite o eixo rodar sem limitação, por isso, em aplicações com elevada precisão não são muito utilizados.

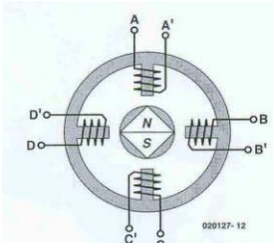
FIGURA 13 - MOTOR DE PASSO COM RELUTÂNCIA VARIÁVEL



Fonte: Constandinou, 2005

- **Imã Permanente:** Estes motores de passo têm um motor com um imã fixo, a velocidade de rotação reduzida, o torque baixo e os passos angulares extensos de 45 ou 90 graus. Devido à sua simplicidade, pode ser facilmente produzido com preços atraentes, especialmente por necessitar de pouca potência. São comumente usados em impressoras.

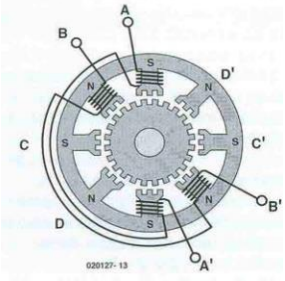
FIGURA 14 - MOTOR DE PASSO COM IMÃ PERMANENTE



Fonte: Constandinou, 2005

- **Híbridos (mais comuns e utilizados)** - O motor de passo híbrido é a combinação de Relutância variável e imã permanente, permitindo o motor rodar por múltiplos passos, obtendo grande torque estático e dinâmico com controle de pequenos passos.

FIGURA 15 - MOTOR DE PASSO HÍBRIDO

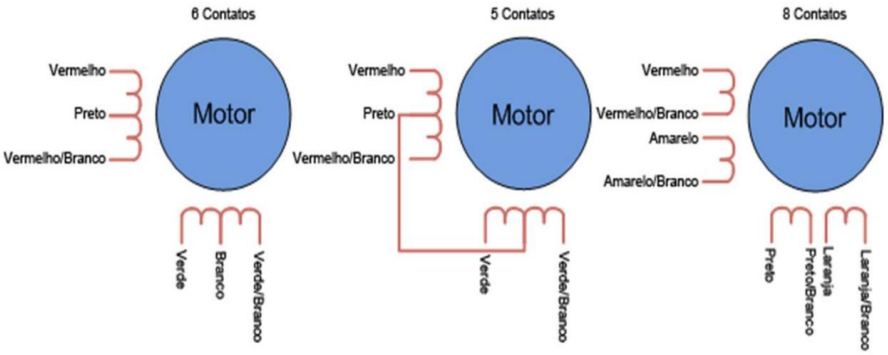


Fonte: Constandinou, 2005

Outra característica importante do motor de passo é a fase. Essa é definida como o número de enrolamentos que dão origem a um fluxo magnético diferente, são descritas como Unipolar e Bipolar (Elétrica, 2013).

- **Motor de passo Unipolar:** são usados dois enrolamentos por fase e costumam ter um contato em comum, resultando em cinco, seis ou oito conexões. Esses modelos facilitam o projeto por não necessitar de ligação reversa nos polos.

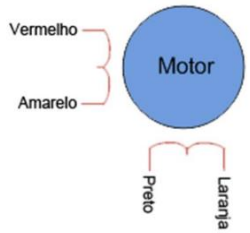
FIGURA 16 - MOTOR DE PASSO UNIPOLAR



Fonte: Elétrica, 2013

- **Motor de passo Bipolar:** Para controlar e reverter o sentido da corrente e acionar as boninas corretamente, esse tipo de motor precisa de um circuito de controle.

FIGURA 17 - MOTOR DE PASSO BIPOLAR



Fonte: Fonte: ELETRICA (2013)

As fases podem ser controladas de três maneiras:

1. “Full Step” - Neste modo, o motor opera em passos completos, em que cada passo é acionado por uma ou duas fases. É simples de implementar e oferece um bom torque, mas a resolução é limitada.
2. “Hall Step” - Esse modo combina passos do Full Step, permitindo que o motor alcance o dobro de passos em um ciclo. Embora melhore a resolução, o torque pode ser menor em comparação ao modo de duas bobinas do Full Step, já que nem todas as fases são acionadas ao máximo.
3. “Micro Step” – Permite um controle mais preciso do acionamento das bobinas, ajustando a intensidade do campo magnético. Isso resulta em movimentos mais suaves e resolução muito maior que o Half Step, embora o torque por passo possa ser reduzido em comparação ao Full Step.

2.10 CONPONENTES ELETRÔNICOS

2.10.1 Microprocessador e Microcontrolador

- **Microprocessador -** É um circuito integrado dedicado à realização de cálculos e execução, processamento de instruções e tomada de decisões, porém ele depende de vários componentes essenciais, como dispositivos de entrada e saída (I/O) para permitir a interação com o usuário, a exemplo de teclados, *mouses*, monitores e impressoras. Precisa também do auxílio da memória RAM para armazenar dados temporariamente e as instruções em processamento, assim como um dispositivo para armazenar o sistema operacional como HD e SSD (Araújo, 2019).

- **Microcontrolador -** É um tipo específico de microprocessador, projetado para ser um computador completo em miniatura, tudo em um único circuito integrado. Possui, portanto, componentes como memória RAM, memória *Rom/Flash* para armazenamento de *firmware*; permite converter sinais analógicos em digitais e vice-versa, além de portas de Entrada/Saída (I/O) (Araújo, 2019).

2.10.2 Placa Arduino UNO

A Placa Arduino UNO é uma plataforma *open source*, que utiliza *hardware* aberto e *software* livre, possui alimentação via fonte externa de 7 a 12V ou pelo cabo USB, com microcontrolador ATmega328P (Arduino, 2024). Por essas e outras vantagens, como preço, fácil obtenção outras, a AU é muito utilizado na aplicação nas áreas como prototipagem rápida e robótica, utilizada em projetos simples e complexos.

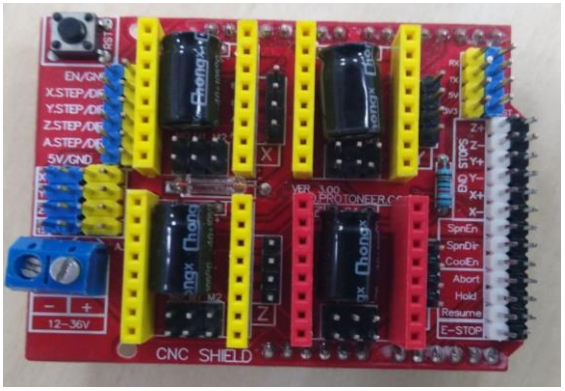
FIGURA 18 – PLACA ARDUINO UNO

Fonte: Arduíno, 2024

2.10.3 Placa CNC *Shield* V3.0

A Placa CNC *Shield* V3.0 foi desenvolvida para operar com o Arduino Uno no intuito de controlar uma máquina CNC, possui 4 slots para drives, controlando os Eixos (A, X, Y, Z) ou Duplicação de A em (X, Y ou Z) com vários pinos para parametrização da CNC por meio de jumps, e é acoplada facilmente a Placa Arduino UNO (Handson Technology, 2024).

FIGURA 19 – PLACA CNC S*HIELD* V 3.0

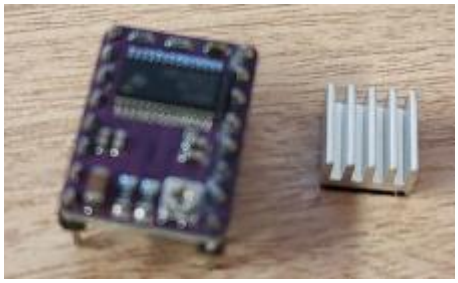


Fonte**:** Handson Technology, 2024

2.10.4 Drive DRV8825

Segundo Texas Instruments (2024), o driver DRV8825 foi desenvolvido especialmente para controlar motor de passo, com comandos de direcionamento e deslocamento de até 1/32 passos; é de fácil uso, basta conectar os pinos nos slots da *Shield* e enviar os comandos pelo software de controle.

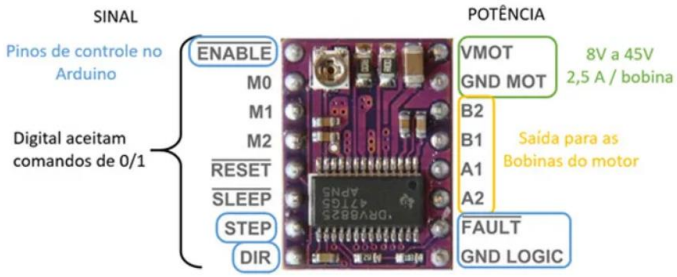
FIGURA 20 - MICROCONTROLADOR DRV8825



Fonte: Texas Instruments (2024)

Outras características do drive apresentado na figura 21 abaixo são o controle ajustável de corrente, com oito resoluções, com tensão lógica de 3-5,5V e tensão de saída de 8 – 45V, além disso, possui proteção contra sobrecarga de corrente e curto – circuito.

FIGURA 21 - PINOS DE CONTROLE



Fonte: o Autor, 2024

1. **ENABLE:** O motor tem as bobinas acionadas pelo driver, de acordo com o controle liberado pelo pino.
2. **RESET**: Com um sinal de baixa, desativa as saídas de potência e ignora a entrada de frequência.
3. **SLEEP**: Colocado em sinal de baixa, reduz o consumo de energia do driver, desabilita as saídas, economizando energia.
4. **STEP:** Pino de comando para o motor executar pulsos de volta, de acordo com a variação de tensão de alto e baixo.
5. **DIR:** Conforme o estado lógico deste pino, pode determinar a rotação do motor no sentido horário ou anti-horário.
6. **GND LOGIC**: Este pino deve estar sempre ligado ao GND do circuito, ele configura o referencial de tensão 0 para o driver poder trabalhar de maneira eficaz.
7. **FAULT:** é um pino de segurança de pico de corrente ou temperatura elevada.
8. **A1, A2, B1, B2:** Os pinos são onde as bobinas do motor de passo devem ser ligadas. Uma bobina deve ser ligada aos pinos A e a outra bobina aos pinos B.
9. **VMOT e GND:** Aqui são ligados os pinos de alimentação do DRV8825 e Terra do circuito.
10. **M0, M1, M2**: Pinos responsáveis pelo controle dos passos.

2.10.5 Fonte de Alimentação

Segundo Braga (2023), uma fonte de alimentação é um circuito que, a partir da tensão elétrica disponível (alternada ou contínua), fornece a tensão contínua (ou mesmo alternada) na forma como o circuito alimentado necessita.

FIGURA 22 - FONTE DE ALIMENTAÇÃO 12 V

Fonte: o Autor, 2024

2.11 SOFTWARE E *FIRMWARE* DE CÓDGO ABERTO

2.11.1 Software INKSCAPE

O INSKSCAPE é um software para edição gráfica (imagens), em gráficos vetoriais, permitindo utilizar imagens de vários arquivos como: PNG, PDF, EPS entre outros.

FIGURA 23 - SOFTWARE INKSCAPE

Fonte: Inkscape Org, 2024

2.11.2 *Firmware* GRBL

GRBL é um *firmware* open-source, amplamente utilizado para controlar máquinas CNC. Converte comandos G-code, uma linguagem de programação padrão para controle de máquinas CNC. Em outras palavras, interpreta os comandos G-code e envia os sinais apropriados para os motores de passo ou servo motores da máquina, sendo projetado inicialmente para placas Arduino com o ATmega328P e ATmega2560, mas também podem ser utilizados para placas de desenvolvimento da família ESP32.

FIGURA 24 - *FIRMWARE* GRBL

Fonte: GitHub, Inc.,2024

2.11.3 Arduino IDE

A Arduino IDE é um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE, na sigla em inglês) usado para programar placas microcontroladores da família Arduino.

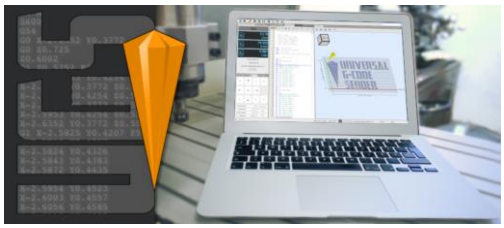
FIGURA 25 - ARDUINO

Fonte: o Autor, 2024

2.11.4 Universal G-Code Sender

Universal G-Code Sender (UGS) é uma ferramenta essencial para quem opera máquinas, pois ele envia comandos G-code e controla o processo de usinagem de maneira eficiente e precisa.

FIGURA 26 - SOFTWARE UNIVERSAL G-CODE SENDER



Fonte: GitHub, Inc.,2024

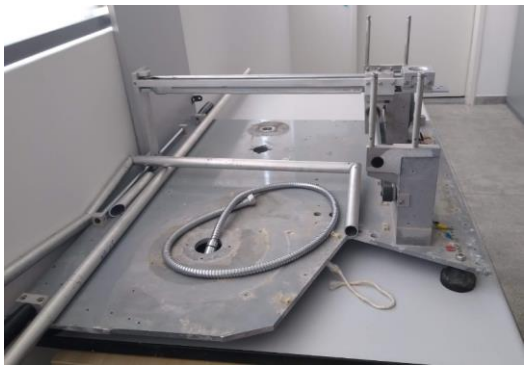
Ao final desta etapa de descrição dos itens de base, passamos a descrever, no tópico seguinte, como e deu o desenvolvimento do projeto em si.

3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Fazer uma análise da mesa cartesiana pré-existente (Figura 27) é fundamental para definir o escopo do projeto. Portanto, segue abaixo os pontos a serem dimensionados e reaproveitados.

- **Pontos dimensionados** - Plataforma de sustentação estrutural (Base), Acionamento e deslocamento do eixo Z; objetiva determinar quais componentes eletrônicos e software a serem utilizados para funcionamento da máquina;
- **Pontos Reaproveitados -** Estrutura de deslocamento e acionamento para os eixos X e Y (Guias, Polias, correias e motores).

FIGURA 27 - ESTRUTURA DE UMA MESA CARTESIANA DE MODELO DESCONHECIDO

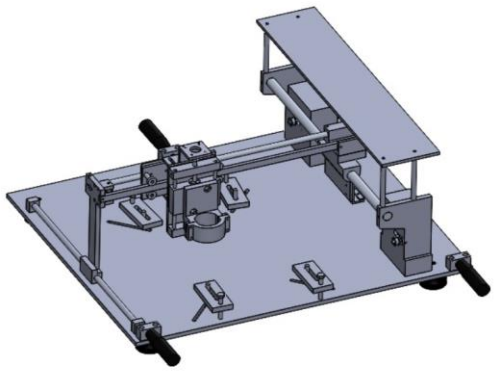


Fonte: o Autor (2024)

3.1 PROJETO MECÂNICO

De início, a máquina foi remodelada via CAD, mantendo a característica original do estrutural pórtico móvel, assim como todos os componentes de deslocamento e acionamento dos eixos X e Y, Figura 28.

FIGURA 28 - MÁQUINA MESA CARTESIANA CNC PROJETADA NO CAD



Fonte: o Autor (2024)

TABELA 1 - ESPECIFICAÇÕES INICIAIS DO PROJETO

Item técnico	**Especificação**
Corpo da CNC, eixos X e Y	Alumínio
Corpo da CNC, eixo Z	Alumínio
Área Total da base	740x620 mm
Altura Total	320 mm
Área útil	300x270 mm
Altura útil	40 mm
Capacidade de usinagem	MDF, resina, epóxi, isopor
Capacidade de Deposição	Tinta
Número de eixos	3 eixos

Fonte: o Autor (2024)

Para atender as solicitações das atividades em laboratório foram definidas as especificações iniciais de projetos (TABELA 1). Outra característica importante está no material estrutural da máquina, já consiste em chapa de Alumínio 1100, com 10mm de espessura. Segundo Shockmetais (2024), esse material possui 13,5 kg/m². Para finalidade de cálculos, seguem abaixo as propriedades mecânicas desse material na Figura 29.

FIGURA 29 - INFORMAÇÕES TÉCNICAS DO ALUMÍNIO

Liga ABNT			Limite de Resistência à Tração	Limite de Resistência à Tração	Limite de Escoamento	Alongamento Mínimo	Dureza Brinell
ASTM	DIN	Têmpera	**Mpa (N/mm²)Mín.**	**Mpa (N/mm²)Máx.**	**Mpa (N/mm²)Mín.**	**"50mm"(%)**	**(HB)**
1050	Al 99,5	O	55	95	15	22	20
		H14	95	130	70	3	26
1100	–	O	75	105	25	22	23
		H14	110	145	95	3	32
1200	Al 99,0	O	75	105	25	22	23
		H14	110	145	95	3	32
1350	E-Al	O	55	95	-	22	20
		H14	95	130	-	3	30
2011	Al Cu Pb	T4	275	–	125	16	–
		T8	370	–	275	10	100
3003	Al Mn Cu	O	95	130	35	22	28
		H14	140	180	115	3	40
3104	Al Mn	O	150	200	60	15	45
		H32	190	240	145	3	58

Fonte: Shockmetais (2024, Adaptada).

3.1.1 Dimensionamento do Peso Máximo da Plataforma de Sustentação Estrutural (Base)

Diante das especificações iniciais de projeto, é necessário verificar qual o peso máximo a ser suportado sobre a base do equipamento. Todavia, devemos levar consideração que a área útil é de 300x270 mm. Podemos obter o peso máximo teórico a partir da equação 2.

$$L_t = (M_m \cdot \mathrm{g}) / A_u \tag{2}$$

- L_t Limite de Resistência a tração mínima [N/mm²]]
- A_u Área útil de trabalho [mm²]
- g é a aceleração da gravidade [m/s²]
- M_m Massa máx. teórica (Mm):[kg]

Para finalidade de cálculos, a gravidade g é $9{,}81\ \left[\frac{m}{s^2}\right]$, Assim:

$$M_m = \frac{75*81000}{9{,}81} = 619{,}2\ 10^3\ [\mathrm{kg}]$$

Portanto, estruturalmente, suporta o peso dos componentes a serem trabalhados no equipamento.

3.1.2 Dimensionamento do Acionamento Eixo Z

Para acionamento do eixo Z, foi adquirido um kit amplamente utilizado na construção de uma máquina de impressoras 3D.

- 1 Motor de Passo NEMA 17, Tabela 2;

TABELA 2 - DADOS TÉCNICOS DO MOTOR DE PASSO NEMA 17

Informações Técnicas do Motor de passo Modelo 17HS4401S	
Nema17 Bipolar Número de Fase: 2 Ângulo de Fase: 1,8° Tensão de Fase: 2.6 V_{dc} Corrente de Fase: 1.7A Resistência/Fase: 1,5Ω±10% Indutância: 2.8mH ± 20% (1KHz) Número de fios: 4 (100cm de Comprimento)	Torque de Retenção: 43Ncm Diâmetro do Eixo: ⌀, 5mm Comprimento do Motor: 40mm Inercia do Rotor: 54 gcm^2 Aumento de temperatura: 80°C Max Massa:280g

Fonte: Handson Technology (2024, Adaptada)

- 1 Acopladores Flexíveis com furos de 8x5mm; Torque máximo de 10 kgf.cm;

- 1 Fuso Trapezoidal de 180mm de comprimento e 8mm diâmetro (Tr8), com castanha.

FIGURA 30 - KIT (SERVO MOTOR, ACOPLAMENTO E EIXO FUSO TRAPEZOIDAL)

Motor de passo híbrido Nema 17

Acopladores Flexíveis 8x5mm

Fusos trapezoidais e castanhas de bronze

Fonte: o Autor (2024)

Diante disso, é necessário validar se os componentes citados acima atendem os requisitos necessários do equipamento. Para isso, será implementado o método já comprovado por Romeros (2022).

Inicialmente, para calcular as forças axiais no eixo Z, é crucial conhecer as massas das estruturas para realizar os cálculos das forças que influenciam o motor de passo. Com o auxílio das ferramentas CAD *Solidwork*s, conseguimos determinar as massas de cada componente da estrutura.

• Massa máxima estimada acionada pelo eixo “Z”: 4,5kg.

A carga axial submetida pelo motor para eixo Z, é calculada pela Equação 3:

$$F_a = (M_d \cdot g) + f + (M_d \cdot \alpha) \quad (3)$$

Em que:

• F_a Força axial [N]

• M_d é a massa deslocada

• g é a aceleração da gravidade [m/s²]

• α é a aceleração do eixo [m/s²]

• f é resistência na superfície da guia [adimensional]

Para finalidade de cálculos, a gravidade g é $9{,}81\ \left[\frac{m}{s^2}\right]$ e aceleração do eixo com 1,3 $\left[\frac{m}{s^2}\right]$, resistência na superfície da guia f é irrelevante. Com essas considerações, a força necessária para eixo é demonstrada a seguir (Romeros ,2022).

Para o eixo Z temos:

$$F_{az} = (4{,}5 \cdot 9{,}81) + 0 + (4{,}5 \cdot 1{,}3) = 49{,}99[\mathrm{N}]$$

O torque máximo dos motores é alcançado quando são acelerados até alcançar a velocidade máxima de rotação, sendo determinado por meio da aplicação das Eqs. de 4 a 7 (Romeros ,2022).

$$T_1 = \frac{F_{tn} * l}{2\pi f} \tag{4}$$

$$T_2 = T_1 + J\omega \tag{5}$$

$$J = J_m + \left(\frac{N1}{N2}\right)^3 (J_s + \frac{W}{g}\left(\frac{1}{2\pi}\right)^3) \tag{6}$$

$$\omega = \frac{2\pi N}{60t} \tag{7}$$

Em que:

•T_1 é o torque em velocidade constante [Kgf.cm];

• l é o passo do fuso (mm);

• f é a eficiência do fuso (0,1)

• T_2 é o torque máximo de aceleração (kgf.cm);

• J é o momento de inércia total (kgcm²);

• J_mé o momento de inércia do motor (kgf.cm²);

• J_s é o momento de inércia do fuso;

• ω é a aceleração angular do motor (rad/s²)

• W é o peso deslocado (kg)

• g é a aceleração da gravidade (9,8 x 10² cm/s²);

• N é a rotação do motor (RPM);

• t é o tempo de aceleração ou desaceleração do motor (estimando em 0,1s).

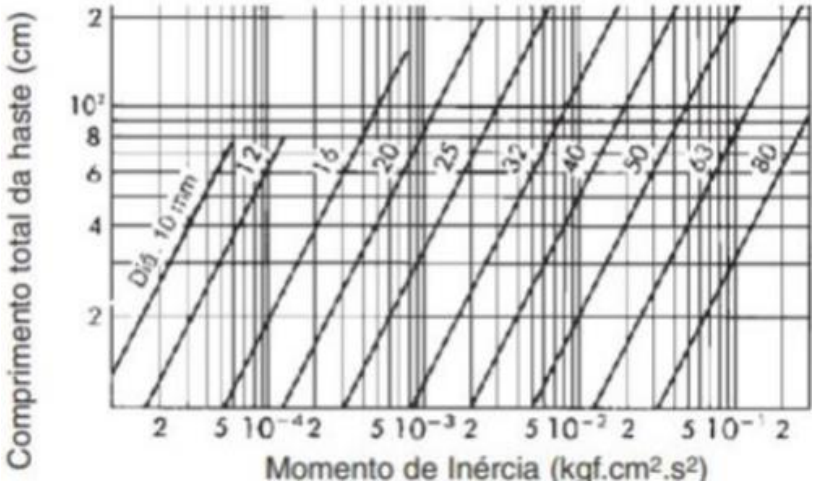
• N1/N2 é a relação de transmissão entre engrenagens

Para a determinação dos valores de T_2 o, o eixo é calculado com valor constante de aceleração angular. Assim, os valores determinados foram calculados utilizando a equação 6 e 7.

$$\omega = \frac{2\pi \cdot 200}{60 \cdot 0{,}15} = 139{,}63 \left[\frac{rad}{s^2} \right]$$

Na Tabela 2, encontra-se a inércia (J_m) de 0,54·10-4 kgcm². Um ponto importante a ser visto é que, via Norma UNIM 124 (ano), os eixos são catalogados por: TR10x3, TR12x3, TR14x4, TR16x4, TR20x4, TR25x5, TR30x6, TR36x6, TR40x7, TR45x8, TR50x8 e TR60x9, sendo assim, infere-se que o fuso Tr8 faz parte de um kit muito utilizado; portanto, os esforços em conjunto com o motor e o acoplamento são aceitáveis. Porém, para o dimensionamento do motor, será calculado para TR10x3, por ser próximo ao TR8 (dimensionando desta forma, demonstrará motor de passo ainda mais robusto). Logo, para efeito de cálculo, o diâmetro do fuso 10mm e passo de 3mm, ao analisar o diagrama da figura 31, visto que a haste do fuso é de 18cm, encontra-se J_s de 1·10-4 kgf.cm. s².

FIGURA 31 - DIAGRAMA PARA DETERMINAR MOMENTO DE INÉRCIA DO FUSO



Fonte: Romeros (2022)

A transmissão é feita com o acoplamento do motor diretamente no fuso, o valor da relação de transmissão (N1/N2) assume o valor de 1.

Da Equação 6 temos:

$$J = 0{,}54 \cdot 10^{-4} + 1\left(1 \cdot 10^{-4} + \frac{4{,}5}{9{,}8 \cdot 10^{2}}\left(\frac{0{,}3}{2\pi}\right)^{3}\right) = 4{,}54\ 10^{-4}\ [kgf.cm.s^{2}\ ]$$

A velocidade constante é utilizada para o cálculo da tração (T1) dos eixos é substituído os valores da força axial no eixo Z da Equação 3 e alocada na Equação 5.

$$T_{1z} = ((49{,}99\ /9{,}8\ ) \cdot 0{,}2)/(\ 2\pi \cdot 0{,}1) = 1{,}6\ [Kgf.cm]$$

Com a Equação 5, obtemos o valor do Binário do motor:

$$T_{2z} = 1{,}6 + 4{,}5410^{-4} \cdot 139{,}63 = 1{,}9\ [Kgf.cm]$$

Acrescentando um coeficiente de segurança de 1,5, obtemos T_{2zf}

$$T_{2zf} = 1{,}5 \cdot T_{2z} \qquad (8)$$

$$T_{2zf} = 1{,}5 \cdot 1{,}9 = 2{,}85\ [Kgf.cm]$$

Conclui-se que o Motor de Passo NEMA 17 atende a especificação do projeto.

Para se calcular qual o binário que o acoplamento precisa suportar, é necessário considerar o binário máximo do motor majorado por um coeficiente de segurança de 1.5. Assim, uma vez que o servomotor selecionado para o eixo z tem um binário máximo de 4,2kgf.cm, vem:

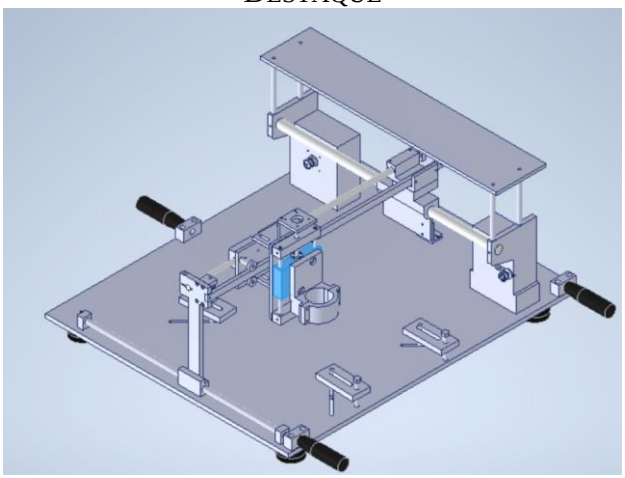
$$Tacoplamento = 1{,}5 \cdot Tmáximo$$
$$\text{Tacoplamento} \;=\; 1{,}5 \cdot 4{,}2 \;=\; 6{,}5 \;[Kgf.cm] \tag{9}$$

Logo, conclui-se que o acoplamento selecionado atende a especificação do projeto.

3.1.2 ACOPLAMENTO PARA O EIXO Z

O presente projeto tem como uma das suas finalidades ser utilizado para MS e MA. Para isso, foi alocado na estrutura um acoplamento permitindo essa flexibilidade, de fácil manuseio.

FIGURA 32 - MÁQUINA CNC CARTESIANA PROJETADA NO CAD, COM ACOPLAMENTO EM DESTAQUE



Fonte: o Autor, 2024

Diante das limitações de material e custo para o acoplador, foi desenvolvido com o mesmo material da máquina chapa de Alumínio 1100, com 10mm de espessura. Desenho técnico, Apêndice B. No cálculo de acionamento de eixos Z, são vistos valores de cargas baixas, comparadas às características do material (Figura 30). Todavia, são desejáveis em estudos futuros os cálculos esforços gerados no acoplador.

3.1.3 Reaproveitamento da Estrutura

As dimensões dos eixos X, Y possuem um viés de construção robusta, dessa forma, foi de comum acordo do autor e orientador para manter as características, se necessário apenas fazer a manutenção dos componentes.

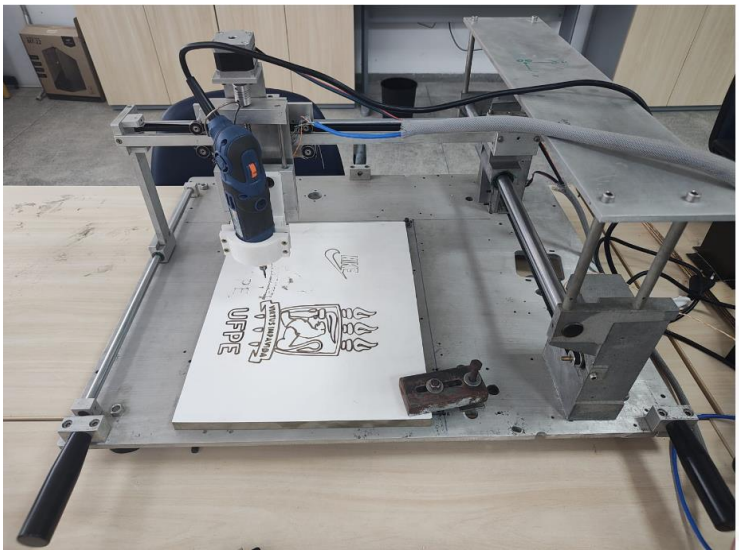
Dessa maneira, foram substituídos por novos componentes com as mesmas especificações iniciais:

TABELA 3 - COMPONENTES DETERMINADOS ORIGINALMENTE

Item técnico	Especificação
Correia GT2 6mm e Polia, Eixo X	980mm
Correia GT2 6mm e Polia, Eixo Y	1190mm
Motor de Passo NEMA 17, Eixo X	1 EA
Motor de Passo NEMA 17, Eixo Y	1 EA
Eixo Linear com Blocos, Eixo X	12⌀, Comprimento 80mm
Eixo Linear com Blocos, Eixo Y	12⌀, Comprimento 80mm

Fonte: o Autor, 2024

FIGURA 33 - VISTA FRONTAL DA MÁQUINA RECONDICIONADA



Fonte: o Autor, 2024

Todas as peças estruturais 3D foram disponibilizadas gratuitamente em uma nuvem virtual pelo autor Andrade, 2024.

3.2 DEFINIÇÃO E INSTALAÇÃO DOS COMPONENTES ELETRÔNICOS E *SOFTWARES*.

Os eletrônicos escolhidos foram citados no capítulo 2. De tantas outras soluções disponíveis possíveis, optou-se pela utilização dos componentes mais difundidos no mercado

atualmente para esse tipo do equipamento desenvolvido no projeto, por serem de fácil obtenção, baixo custo de aquisição e manutenção.

São eles: Placa Arduino UNO, Placa CNC Shield V3.0, Microcontrolador DRV8825;

- Placa Arduino UNO, Tabela 1

TABELA 4 - DADOS TÉCNICOS DA PLACA ARDUINO UNO

Item técnico	**Especificação**
Entrada e Saídas Digitais (1/0)	14 (6 com Saída PWM)
Entradas Analógicas	6
Clock de Operação	16 MHZ
Processador	Atmega328-Atmel
Alimentação Recomendada	7/12 V (Pode ser via USB)
Portas de Comunicação	Gravação Via USB; 1 porta RS-232 Disponível
Corrente DC Máxima por pino de 1/0	40 mA
Memória Flash	32 kb (armazenagem de código)
Memória SRam	2kb (rodar programa)
Memória EEPROM	1kb (gravar dados)

Fonte: Farnel, 2024, Adaptado

- Placa CNC *Shield* V3.0.

TABELA 5 - DADOS TÉCNICOS DA PLACA CNC *SHIELD* V3.0

Item técnico	**Especificação**
Compatível	Arduino e Similares
Software	GRBL 0,8
Suporte dos eixos	4 Eixos (A, X, Y, Z) ou Duplicação de A em (X, Y ou Z)
Conectores	2 Conectores Fins de Curso
Alimentação Recomenda	Tensões entre 12V e 34Vdc
Compatibilidade dos Slots	Drivers A4988 ou DRV8825
Dimensões	68x54x12mm
Conexão	Encaixe Simples na Placa Arduino
Refrigeração	Permite Conexão com *Cooler*

Fonte: Handson Technology, 2024, Adaptado

- Microcontrolador DRV8825

TABELA 6 - CONFIGURAÇÃO DO MICROCONTROLADOR NA PLACA CNC *SHIELD*

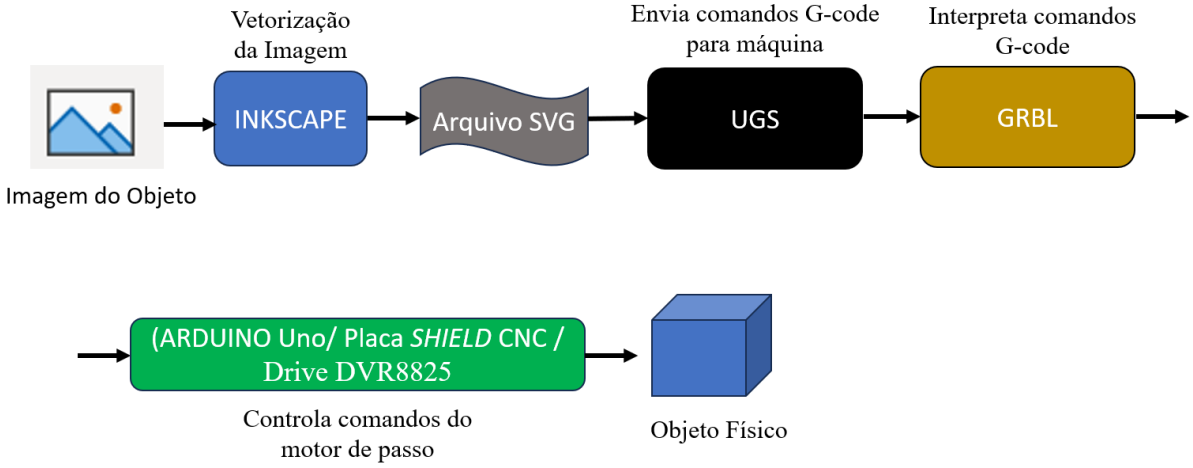
MODE 2	MODE 1	MODE 0	STEP MODE
0	0	0	Full Setp (2- Phase Excitation) wih 71% current
0	0	1	1/2 Step (1-2 Phase Excitation)
0	1	0	1/4 Step (W1-2 Phase Excitation)
0	1	1	8 microsteps/step
1	0	0	16 microsteps/step
1	0	1	32 microsteps/step
1	1	0	32 microsteps/step
1	1	1	32 microsteps/step

Fonte: Texas Instruments, 2024, Adaptado

Para o laboratório de prototipagem, é necessária a utilização de *software* e *Firmware* de código aberto e gratuito, capaz de permitir aos alunos conhecer e desenvolver parâmetros necessários para cada solicitação individual, assim como desenvolver inicialmente atividades acadêmicas nos computadores particulares, se necessário. Além disso, para os componentes eletrônicos disponibilizados acima, optou-se por utilizar o: INKSCAPE, GRBL, Arduino IDE e UGS.

Com as escolhas feitas acima, é muito importante entender o funcionamento de todo o conjunto.

FIGURA 34 - INTEGRAÇÃO DOS SOFTWARES E COMPONENTES ELETRÔNICOS



Fonte: o Autor, 2024

Após a seleção da imagem ou objeto a ser trabalhado, a imagem deve ser vetorizada no INKSCAPE, resultando em um arquivo SVG. Com isso, o arquivo é importado para o USG, após as parametrizações definidas pelo usuário, é enviado G-code para interpretação do GRBL,

o qual é processado pelo conjunto (Arduino UNO / Placa *Shield* CNC e o Driver DRV8825), controlando os motores de passo e ferramentas, resultando no Objeto Físico.

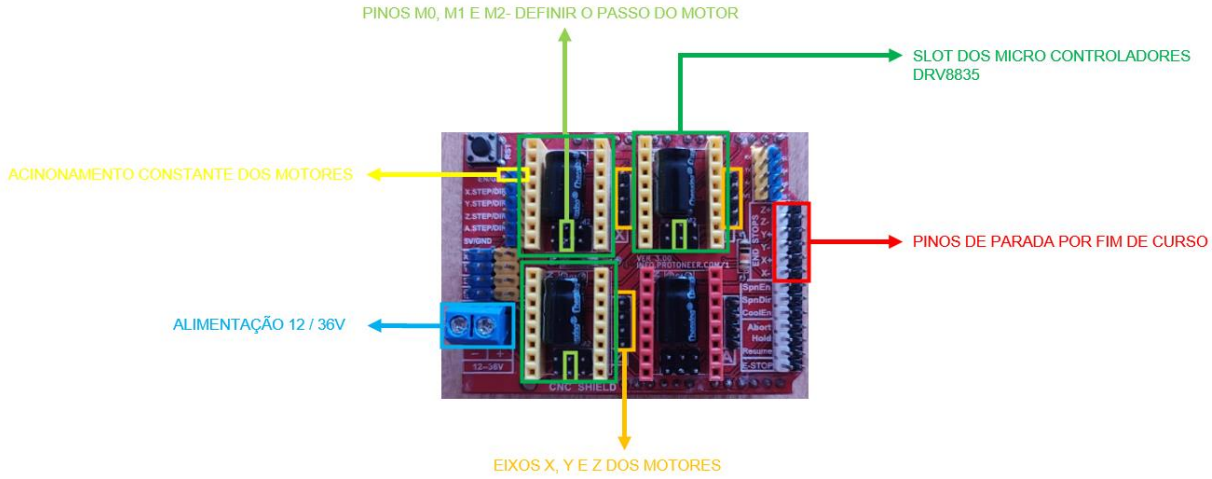
3.2.1 Configuração da Placa CNC Shield V 3.0

No intuito de facilitar, a parametrização foi dividida conforme a FIGURA 35:

- Com um jumper para cada eixo, fixar nos pinos M1, conforme a tabela 4, micro passo de ¼. (Cor vede claro)
- Acionar constantemente o motor pode evitar um deslocamento acidental no momento da usinagem, por tanto colocar um jump em EN/GND. (Cor amarela)
- Para energizar a placa, seguir com uma fonte de 12/ 32 v. (Cor Azul)
- Conexão dos motores com a placa: fixar os cabos para cada motor/ eixo. (Cor Laranja);
- Ao conectar os fios correspondentes a cada chave no fim de curso nos pinos de parada de fim de curso. (Cor Vermelha)
- Fixe os microcontroladores conectando *enable* da placa com o *enable* do *driver*; (cor vede escuro);

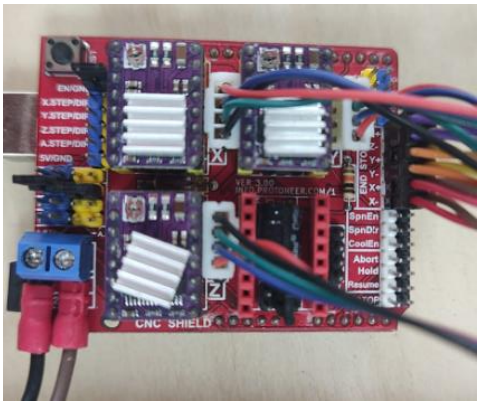
Após a conexão de todos os componentes, a Shield V 3.0 ficará semelhante a Figura 36.

FIGURA 35 - SLOTS DA PLACA CNC *SHIELD* V 3.0



Fonte: o Autor (2024)

FIGURA 36 - PLACA CNC SHIELD V 3.0 CONFIGURADA



Fonte: o Autor (2024)

Para a alimentação da placa CNC Shield, foi escolhida uma com entrada 127 Vac e 220 Vac (BIVOLT) e saída de 12V ,10A ,120W. Figura 22.

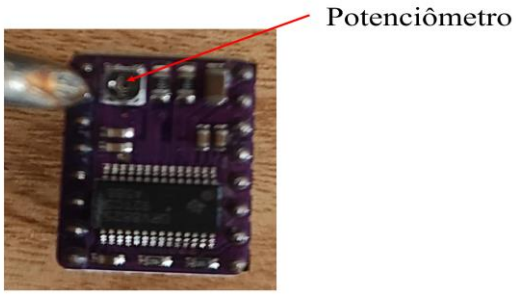
3.2.3 Configuração do Microcontrolador DRV8825

O microcontrolador determina a corrente de trabalho que o circuito passa para o motor. Segundo a Tabela 2, o Motor Nema 17 possui corrente de fase de 1,7 A. Portanto, limitar a corrente máxima fornecida é fundamental para evitar danos nos motores e demais componentes eletrônicos.

O Driver DRV8825 pode ajustar a corrente da seguinte forma, de acordo com o datasheet (Texas Instruments, 2024): o valor de tensão no pino V_{ref} e a seleção R_{sx} determinam o valor da corrente limitante I_{chop}, esta pode ser encontrada através da Equação 10:

$$I_{chop} = \frac{V_{ref}}{5 \cdot R_{sx}} [A] \quad (10)$$

FIGURA 37 - POTENCIÔMETRO DO DRIVER DRV8825



Fonte: o Autor, 2024

No driver deste projeto, há a resistência R_{sx} é R10 = 0.1 Ohm. Logo, a tensão de referência deve ser de 5.4V (1,7∗8*0,1 = 5.4 V) para uma corrente máxima de 1,7 A (Tabela 2). Após isso, deve-se ligar o *driv*er e regular o potenciômetro até que a tensão aferida obtenha o valor de 5.4V.

3.2.4 INKSCAPE

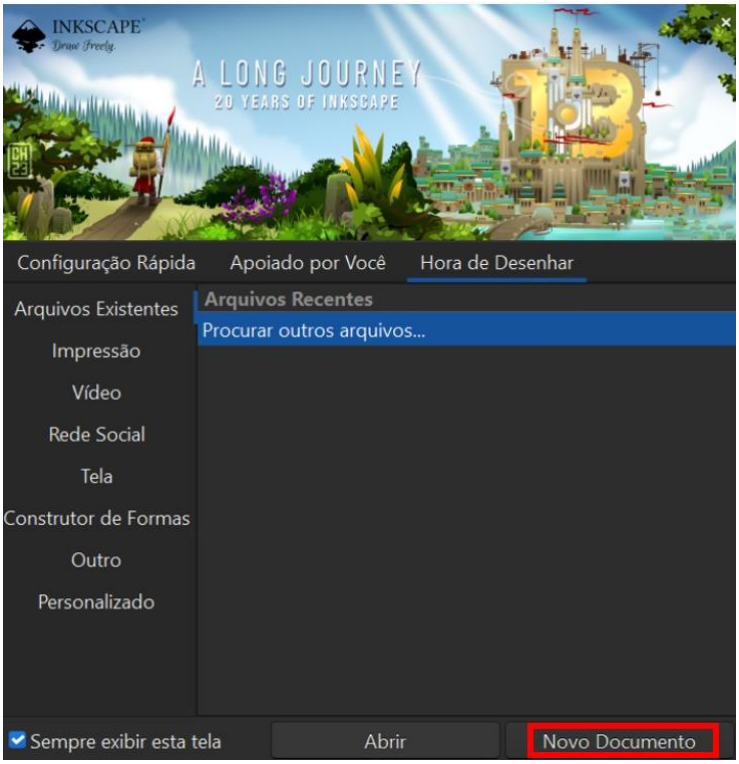
Para a obtenção desse *software*, é necessário entrar no site oficial (Inkscape,2024) para escolher a versão correspondente do seu sistema operacional, do computador a ser instalado.

FIGURA 38 - VERSÃO PARA DOWNLOAD DO INKSCAPE

Fonte: Inkscape, 2024

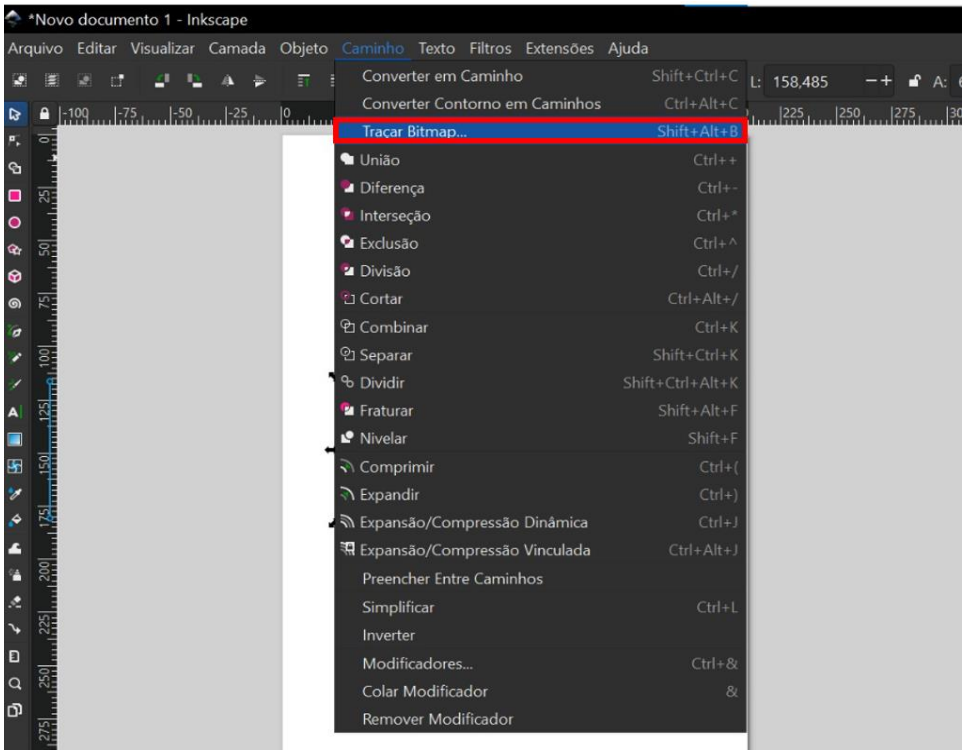
Após instalação, determinar a imagem a ser manuseada pela máquina CNC: escolha a opção “Novo Documento”. Logo após, acesse “Arquivo” na lateral esquerda superior e Importe o documento para parametrização.

FIGURA 39 - INICIAR UM ARQUIVO NOVO NO INKSCAPE



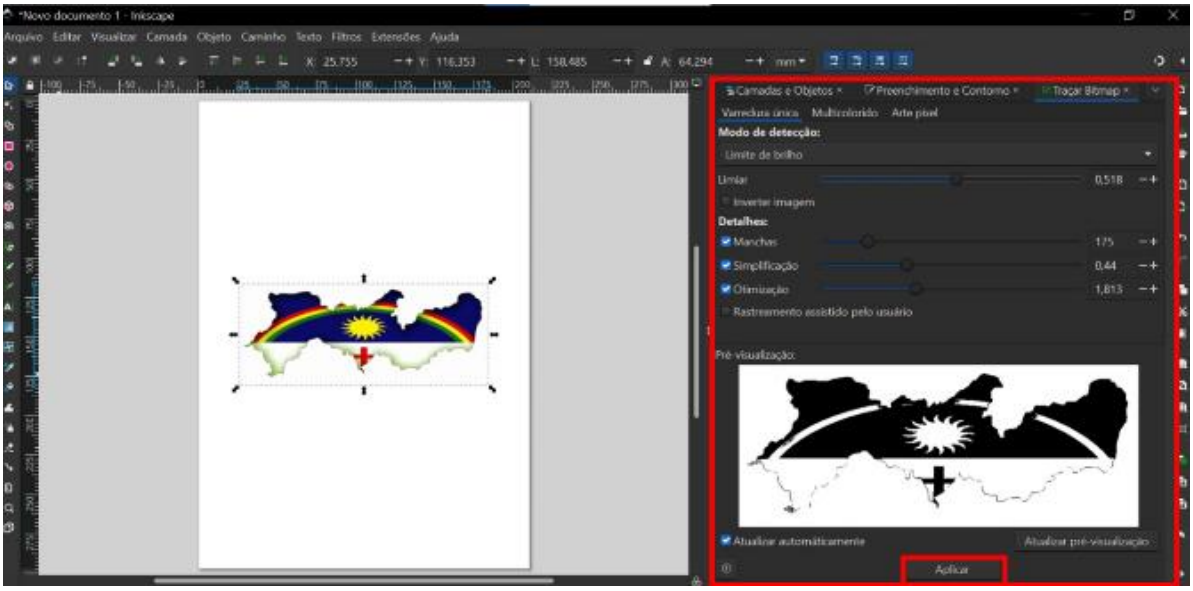
Fonte: O Autor, 2024

FIGURA 40 - TRAÇAR BITMAP NO INKSCAPE



Fonte: O Autor (2024)

FIGURA 41 - CONFIGURANDO IMAGEM DE PERNAMBUCO (FLÁVIO ARRUDA, 2013)



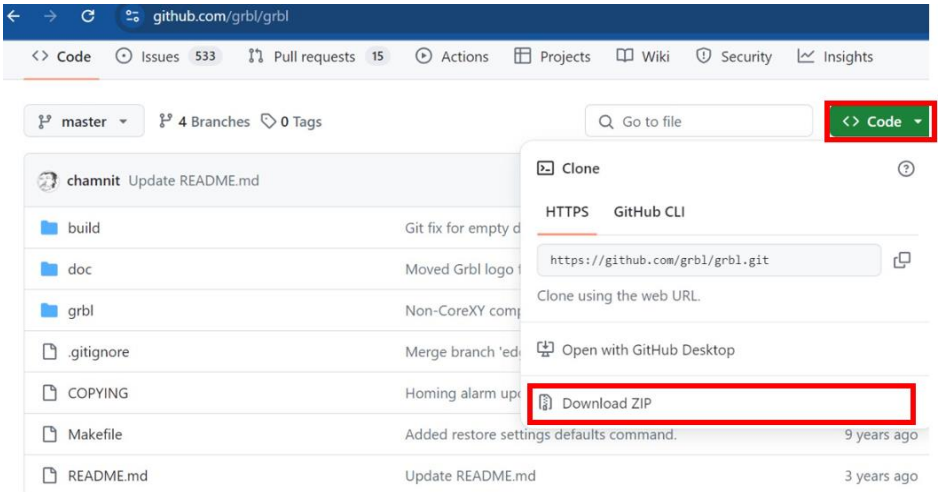
Fonte: O Autor (2024)

Com a imagem selecionada, vá na aba “caminho” e clique em “Traçar Bitmap”; configure a imagem de acordo com os traços desejados; para finalizar a ação, clique em “Aplicar”. Após isso, salve a imagem vetorizada em um local de fácil acesso para utilizar posteriormente. No caso de dúvidas, entrar no *site* do *software* citado e entre na aba “aprender”.

3.2.5 GRBL

GRBL é de fácil obtenção pelo site no repositório do GitHub, Inc, 2024. Clique em “code”; faça o download-zip do grbl-master. Figura 42

FIGURA 42 - GITHUB GRBL PARA DOWNLOAD



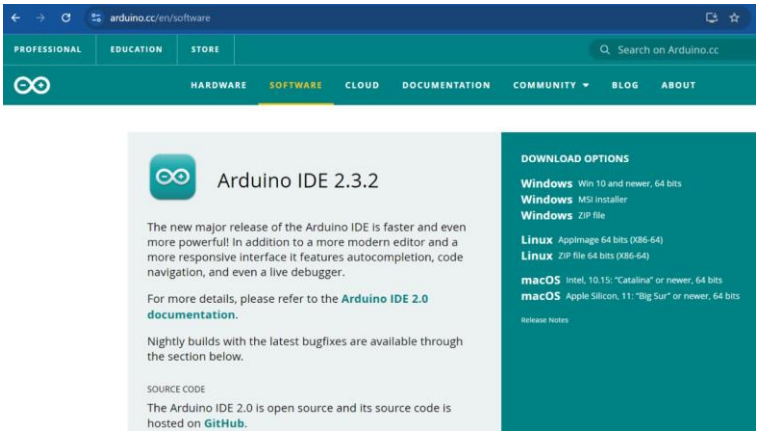
Fonte: O Autor (2024)

Após download feito, descompacte todos os arquivos e deixe em um local para uso posterior.

3.2.6 Instalação do IDE e Configuração

Já para o Arduino IDE, é necessário entrar no site oficial de Arduino, 2024. Para efetuar o *download*, escolha a versão correspondente do seu sistema operacional.

FIGURA 43 - VERSÃO PARA DOWNLOAD DO ARDUINO IDE



Fonte: O Autor, 2024

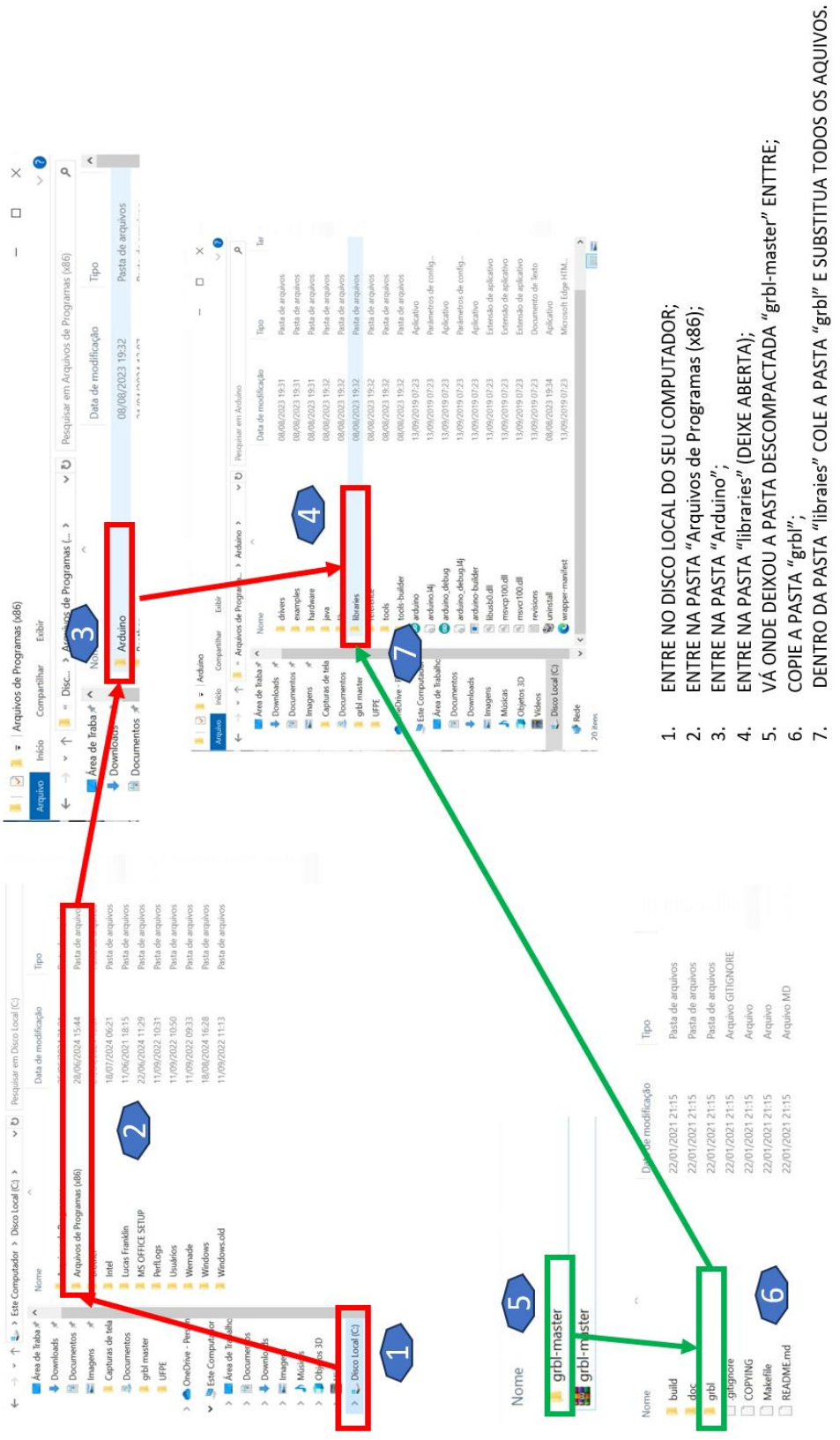
Agora, com o Arduino instalado no seu computador, vá até a o disco local e entre na pasta “Arquivos de Programas (x86)”. Entre na pasta “Arduino” e siga para Pasta “*libraries*”.

Com outra aba aberta, entre na pasta descompactada “grbl-master” citada anteriormente; entre e copie a pasta “grbl”; cole-a na pasta “libraries” e substitua todos os arquivos. Vide Figura 44.

Após isso, com a placa Arduino UNO em mãos, conecte-a em seu computador; abra o arquivo executável do Arduino. Com a janela aberta, entre em “ferramentas”; em seguida, clique em placa e selecione a placa que está utilizando; neste caso, o “Arduino UNO”; verifique e configure a “porta” conectada a placa Arduino, neste caso: “COM3”.

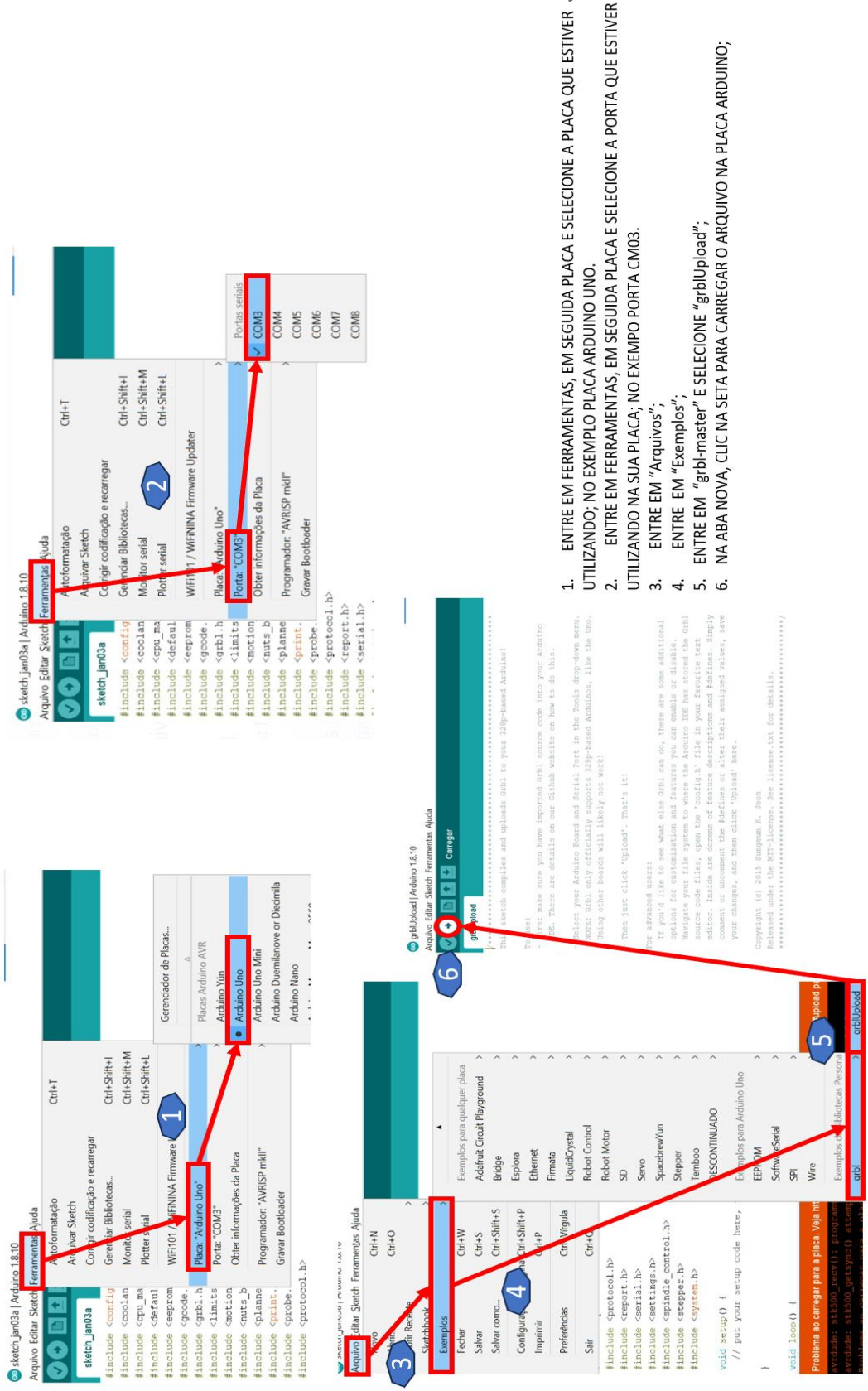
Por fim, em “Arquivos”, entre em exemplos escolha “grbl” e clique em “grblUpload”, que vai abrir uma nova guia; descarregue a biblioteca para a placa que está conectada no seu computador, conforme Figura 45.

FIGURA 44 - PASSO A PASSO DE INCLUSÃO DO GRLBL NO SOFTWARE ARDUINO



Fonte: O Autor, 2024.

FIGURA 45 - PASSO A PASSO DE CONFIGURAÇÃO DA PLACA ARDUINO UNO

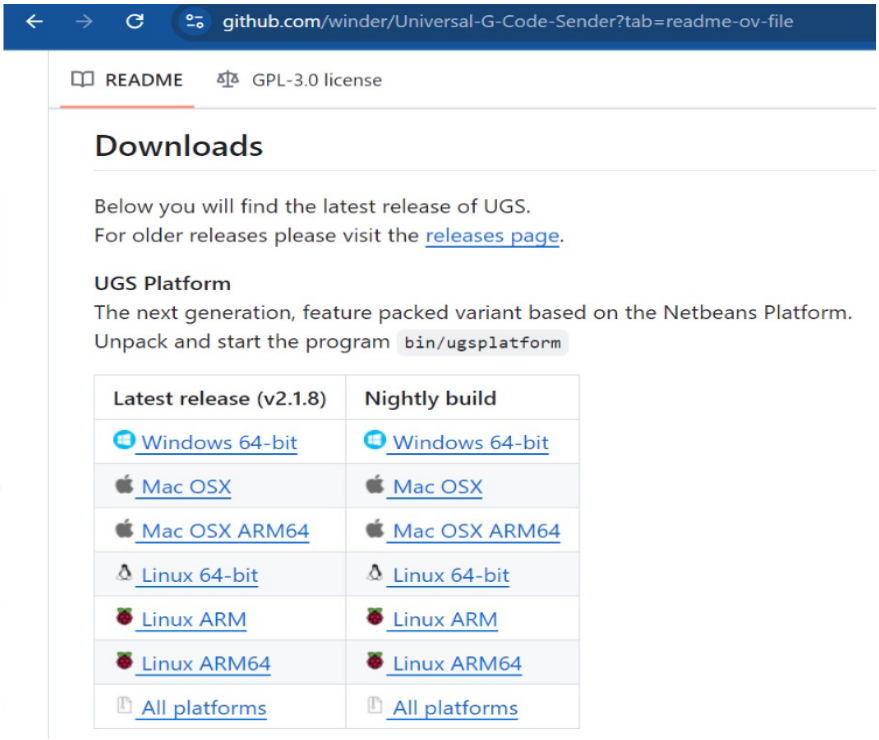


Fonte: O Autor, 2024

3.2. UNIVERSAL G-CODE SENDER

Universal G-Code Sender também está disponível no site repositório do GitHub, Inc, 2024. Efetue o *download* e escolha a versão correspondente do seu sistema operacional.

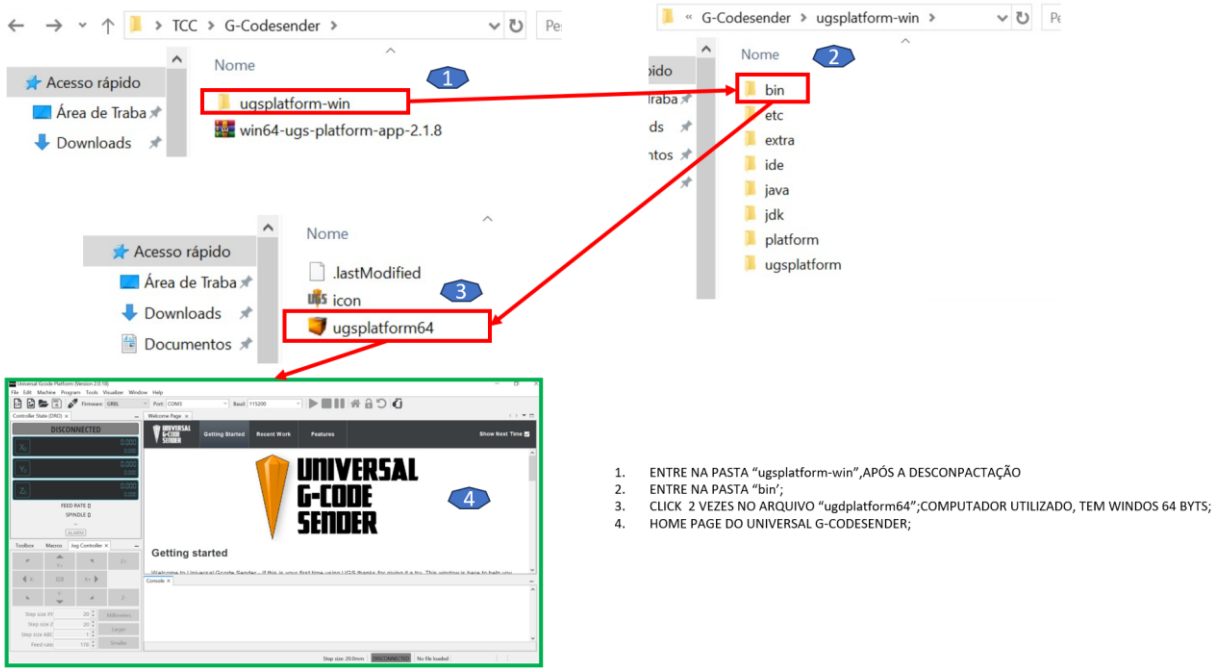
FIGURA 46 – UGS PARA DOWNLOAD



Fonte: O Autor, 2024

Com o *download* finalizado, precisa-se descompactar a pasta zipada, entrar na pasta “upsplatform-win”; em seguida, encontre a pasta “bin”; dentro da pasta, clicar duas vezes no arquivo executável “usgsplatform64” para abrir a área de trabalho do UNIVERSAL G-CODE SENDER. Em caso de dúvidas, no site GitHub, Inc, 2024, há as instruções devidas.

FIGURA 47 - PASSO A PASSO PARA ENTRAR NO SOFTWARE UGS

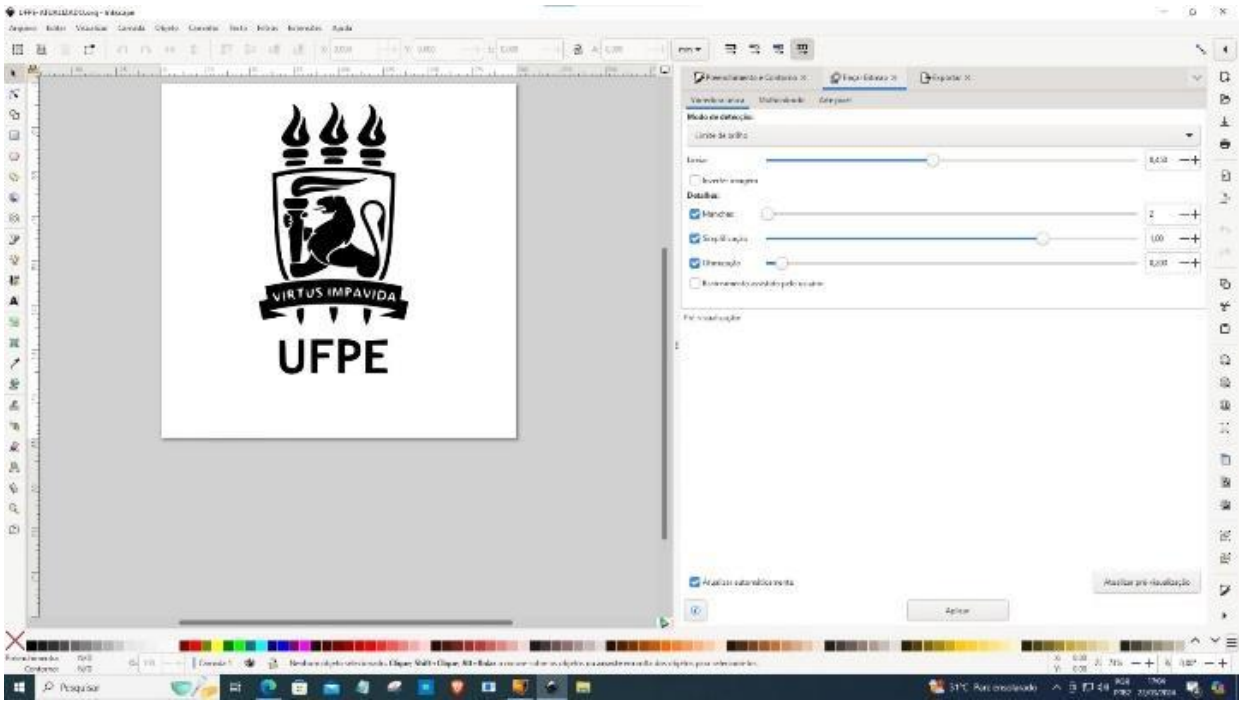


Fonte: o Autor, 2024

4 RESULTADOS

De início, devemos seguir com a vetorização da imagem do escudo da UFPE. Vide Figura 48. É importante fazer os ajustes no brilho para garantir que todos os pontos desejados foram capturados. Evitamos, assim, falhas de impressão do desenho pelo equipamento.

FIGURA 48 - IMAGEM DO ESCUDO DA UFPE NO INKSCAPE



Fonte: o Autor (2024)

Para poder iniciar as configurações no software G-CODE SENDER, é imprescindível entender e configurar os comandos básicos principais. Vide Tabela 7.

TABELA 7 - PRINCIPAIS COMANDOS BÁSICOS DO *SOFTWARE* USG

Comando	**Aplicabilidade**
$$ =	Comando de Configuração dos Parâmetros
$100 =	(Resolução de deslocamento do eixo X, passo/mm)
$101 =	(Resolução de deslocamento do eixo Y, passo/mm)
$102 =	(Resolução de deslocamento do eixo Z, passo/mm)
$110 =	(Velocidade máxima do eixo X, mm/min)
$111 =	(Velocidade máxima do eixo Y, mm/min)
$112 =	(Velocidade máxima do eixo Z, mm/min)
$130 =	(Curso máximo do eixo X, milímetros)
$131 =	(Curso máximo do eixo Y, milímetros)
$132 =	(Curso máximo do eixo Z, milímetros)

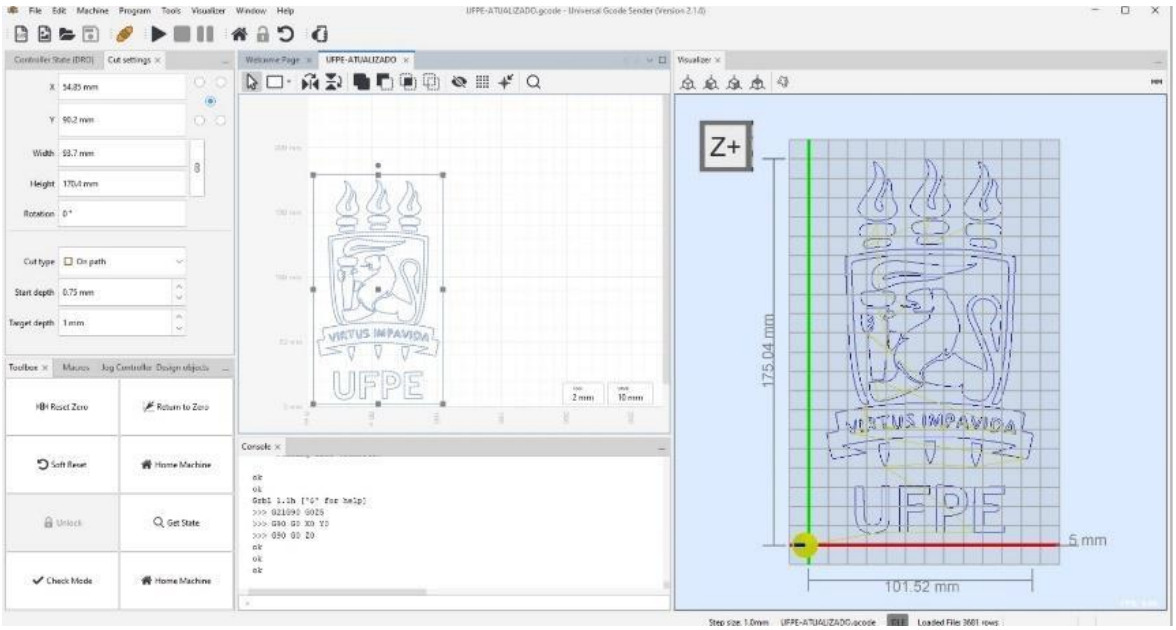
Fonte: G-CODESENDER, 2024, Adaptado

Como já definido no Item 3, a área de trabalho efetiva da máquina é 300 x 270 mm. Por isso, é importante ajustar essas dimensões adequadamente no software G-CODE SENDER antes de iniciar a atividade.

Configure no software Limitações dos cursos do eixo no ambiente virtual:

1. Click na janela do Console digite $$ e aperte enter;
2. $130 =300, e aperte enter; Definição da limitação de X.
3. $131 =270, e aperte enter; Definição da limitação de Y.
4. $132=40, e aperte enter; Definição da limitação de Z.

FIGURA 49 - PARAMETRIZAÇÃO DO LOGOTIPO DA UFPE NO G-CODE SENDER



Fonte: o Autor, 2024

No entanto, não importa se a tarefa envolve usinagem ou deposição de material. É crucial compreender as restrições do equipamento para prevenir falhas que diminuam a vida útil da máquina e da ferramenta.

Assim, é crucial determinar a precisão do equipamento no eixo x-y onde foram utilizadas correias, que pode ser definida Equação 11:

$$\frac{Passo}{mm} = ((conf.de\ micropasso) * (Passos\ por\ volta\ do\ motor)) \\ /((Passo\ da\ correia) * (dentes\ da\ polia) \quad (11)$$

Ou seja,

$$\frac{Passo}{mm} = \frac{4 * 200}{2 * 16}, logo \qquad 25\ [\frac{step}{mm}]$$

Já o eixo Z, é movido utilizado por fuso Equação 12:

$$\frac{Passo}{mm} = ((conf.de\ micropasso) * (Passos\ por\ volta\ do\ motor)) \\ /((Passo\ do\ Fuso) \quad (12)$$

Logo,

$$\frac{Passo}{mm} = \frac{4 * 200}{8}\ , logo \qquad\qquad 100\ [\frac{step}{mm}]$$

Essa informação deve ser configurada no software G-CODE SENDER:

1. Click na janela do Console digite $$ e aperte enter;
2. $100 =25, e aperte enter; Definição da precisão de X.
3. $101 =25, e aperte enter; Definição da precisão de Y.
4. $102=100, e aperte enter; Definição da precisão de Z.

Para os resultados apresentados nessa sessão, foi mantida uma velocidade máxima fixada em 200mm/min nos eixos x e y, no eixo Z velocidade de 500mm/min.

Essa informação deve ser configurada no software G-CODE SENDER:

1. Click na janela do Console digite $$ e aperte enter;
2. $110 =200, e aperte enter; Definição da precisão de X.
3. $111 =200, e aperte enter; Definição da precisão de Y.
4. $122=500, e aperte enter; Definição da precisão de Z.

Para Teste da CNC projetada, foi disponibilizada pela UFPE a Micro Retífica Knakasaki, Tabela 7, a qual foi utilizada para parametrização e teste. A ferramenta escolhida foi uma fresa com 2mm de diâmetro.

Tabela 7 - Dados Técnicos Micro Retífica Knakasaki

Item técnico	**Especificação**
Marca	KNakasaki
Linha	Multifunções
Modelo	NK1340Pro
Potência	470 W
Velocidade Ajustável	6 Níveis de 10.000 a 35.000 RPM
Tensão Disponível:	220V
Dimensões da Retífica	5cm (A) x 5cm (L) x 23cm (C)
Frequência	60 Hz

Fonte: o Autor, 2024

Segue abaixo a definição das configurações mínimas para ferramenta utilizada, como demonstrado na FIGURA 50:

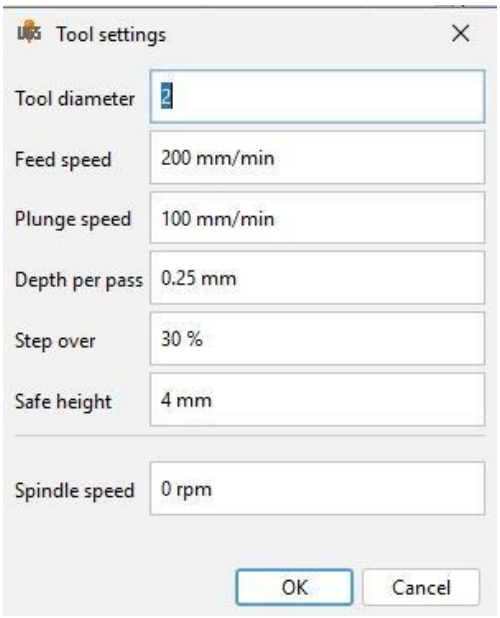
Diâmetro da ferramenta: 2 mm;

Profundidade por Passo: 0,25mm;

Profundidade desejada: 4 mm;

Velocidade do spindle: 33000 rpm;

FIGURA 50 - IMAGEM DOS COMANDOS CONFIGURADOS DA FERRAMENTA NO SOFTWARE

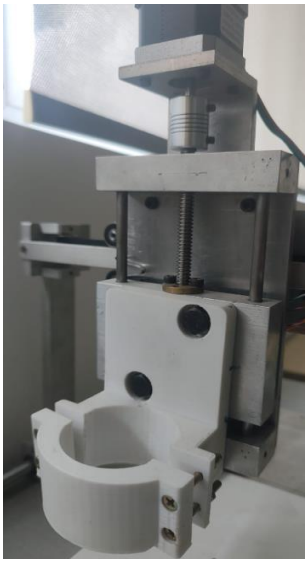


Fonte: o Autor, 2024

Portanto, para o teste a seguir: Profundidade por Passo: 0,25mm; Profundidade de 4 mm, com a velocidade do micro retífica de 33000 rpm.

Para isso, um protótipo no CAD e impresso na impressora 3D em PLA foi implementado, como adaptador para Micro Retifica Knakasaki (Andrade, 2024).

FIGURA 51 - PROTÓTIPO DO ADAPTADOR PARA MICRO RETIFICA KNAKASAKI



Fonte: o Autor, 2024

FIGURA 52 - ESCUDO DA UFPE PRODUZIDO PELA MÁQUINA DO PRESENTE PROJETO

Fonte: o Autor, 2024

A FIGURA 52 mostra um exemplo do teste conduzido no equipamento, exibindo um acabamento satisfatório, levando em conta a ferramenta e os parâmetros utilizados para o material MDF. Em geral, considerando tudo o que foi debatido, presume-se que a máquina apresente um desempenho excepcional na manufatura por deposição.

5 **CONCLUSÕES**

O presente trabalho mostrou que é possível reaproveitar a máquina cartesiana e transformá-la em uma Máquina CNC Cartesiana. O projeto mecânico, a seleção e implementação da eletrônica, assim como a utilização de *softwares* adequados, foram importantes para desenvolver uma máquina para uso de MA e MS, robusta, confiável, de código aberto e a um custo baixo.

Todavia, para utilizar outras ferramentas, é necessário que o usuário desenvolva para o equipamento a fixação adequada. Além disso, os resultados obtidos nos testes concluem que, para se obter satisfação, é necessário encontrar as velocidades adequadas para profundidades de cortes, isso a depender do tipo de ferramenta e material a ser trabalhado. O equipamento respondeu corretamente, mas será necessário refinar os testes de acordo com a ferramenta em uso, visto que influencia muito a qualidade final da gravação, enquanto a velocidade de corte depende do equipamento e material utilizado, no caso da madeira MDF, utilizando a micro retifica, obtivemos os resultados satisfatórios.

O projeto permitiu um maior aprendizado em eletroeletrônica, proporcionando um crescimento profissional e acadêmico para o autor. Vale salientar que qualquer aluno ou profissional independente, com conhecimentos básicos nas tecnologias discutidas e treinamento apropriado, poderá manusear a máquina de forma segura e será capaz de utilizá-la eficientemente para cortes e gravações; assim como deposição de material de forma.

REFERÊNCIAS

AVA LINEAR. **AVA LINEAR SYSTEM.** Fonte: www.avasistema.com.br:https://www.avasistema.com.br/eixos-lineares.php. Disponível em: 13 de outubro de 2024.

ACOPLATEC. *acoplatec.com.br*. Fonte: **Impacto CNC Comércio eletrônico Ltda**: https://acoplatec.com.br/produto/acoplamentos-de-precisao-modelo-wa-wac/ Disponível em 20 de outubro de 2024.

AHRENS, C. H.; FERREIRA, C. V.; PETRUSH, G.; CARVALHO, J. d.; SANTOS, J. R.; SILVA, J. V., & VOLPATO, N. **Prototipagem rápida: Tecnologias e Aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.

ANDRADE, L. F. (2024). *drive.google.com*. Fonte: Drive: https://drive.google.com/drive/folders/1PEOsyUpXGuFTcnQqAOqv_X3Abm-PKzzu?usp=drive_link Disponível em 22 de outubro de 2024.

ANTARES. Site: **www.antaresacoplamentos.com.br.** Fonte: Antares Acoplamentos: https://www.antaresacoplamentos.com.br/blog/acoplamento-rigido/#:~:text=Garante%20a%20sincronia%20dos%20eixos,correia%20ou%20elevadores%20de%20caneca. Disponível em 20 de outubro de 2024.

ARAÚJO, J. E. **Sistematização da Preparação e Organização do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**. Porto, Portugal: FEUP, p. 93.2012

ARDUINO. **Arduino.cc.** Fonte: Arduino: https://www.arduino.cc/ Disponível em 13 de outubro de 2024.

BORBA, A. T. *Recuperação de fresadora CNC: modificações no projeto comercial*. **Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Controle e Automação**. LOCAL E EDITORA DA PUBLICAÇÃO, p. 84, 2023.

CAMARGO, L. F. Mesa de coordenadas XY para aplicação em micro engenharia com CNC: projeto e análise. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. 1988.

CONSTANDINOU, T. G. *Tudo sobre motores de passo*. **Eletrônica e Informática,** N. 35, 2005.

CORREIA, A. R. *CAD-CAM: a informática a serviço da prótese fixa*. **Revista de Odontologia da UNESP**, 183-89,, 2006.

ELÉTRICA, U. D. **Feis Unesp**. Fonte: www.feis.unesp.br: https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/aula3-motor-de-passo-2013-1-13-03-2013-final.pdf Disponível em 13 de janeiro de 2013

ELETRÔNICA, B. D. *Baú da Eletrônica* - **Componentes Eletrônicos**. Fonte: Baú da Eletrônica: https://www.baudaeletronica.com.br/cnc-shield-v3.html Disponível em 20 de novembro de 2019.

ELETRÔNICO, IMPACTO CNC COMÉRCIO. **Impacto CNC Comércio eletrônico Ltda.** Fonte: www.impactocnc.com: https://www.impactocnc.com/fuso-trapezoidal-tr8-passo-8-400mm-thsl-400-8d-backlash. Disponível em 20 de outubro de 2024.

ELETRÔNICO, IMPACTO CNC COMÉRCIO. **Impacto CNC Comércio eletrônico Ltda**. Fonte: www.impactocnc.com: https://www.impactocnc.com/fuso-trapezoidal-tr8-passo-8-400mm-thsl-400-

8d?srsltid=AfmBOood0H5tPOyBwA1VH72Kz82RZ3XtGBZZf2TZakIEaSZ1wMPSAsBC Disponível em 20 de outubro de 2024.

FARNELL. **Farnell**. Fonte: www.farnell.com: https://www.farnell.com/datasheets/1682209.pdf Disponível em 22 de outubro de 2024.

FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo: Blucher, 1977.

FILIPEFLOP. **LOJA FILIPEFLOP**. Fonte: FILIPEFLOP: https://www.filipeflop.com/produto/driver-motor-de-passo-a4988/ Documento de 28 de outubro de 2019.

FOCUS TECHNOLOGY CO., LTD. **Eixo 4 do ATC Router CNC Madeira cadeira de madeira fazendo Troca automática de ferramenta cadeira de madeira de espuma gravura de molde a máquina com dois Mesa Móvel**. Fonte: pt.made-in-china.com: https://pt.made-in-china.com/co_igoldencnc/product_Atc-4-Axis-Wood-CNC-Router-Wood-Chair-Making-Automatic-Tool-Change-Foam-Wood-Chair-Mold-Engraving-Machine-with-Two-Movable-Table_ergnnuhhy.html Disponível em 20 de outubro de 2024.

GATES. **GATES.** Fonte: gatesbrasil: https://www.gatesbrasil.com.br/upload/catalogos/Catalogo%20Ind_2023%20Tabelas%20Online%201.pdf Disponível em 20 de outubro de 2024

GITHUB, INC.). **GITHUB GRBL**. Fonte: https://github.com/: https://github.com/grbl/grbl Disponível em 13 de outubro de 2024

GITHUB, INC. **Universal-G-Code-Sender**. Fonte: github.com/winder/Universal-G-Code-Sender: https://github.com/winder/Universal-G-Code-Sender Disponível em 13 de outubro de 2024

HANDSON TECHNOLOGY. **ALLDATASHEET**. Fonte: www.alldatasheet.com: https://www.alldatasheet.com/html-pdf/1492290/ETC/17HS4401S/64/1/17HS4401S.html Disponível em 13 de outubro de 2024).

INKSCAPE ORG. **Inkscape.org**. Fonte: https://inkscape.org: https://inkscape.org/pt-br/release/inkscape-1.3.2/windows/64-bit/msi/?redirected=1. Disponível em 13 de outubro de 2024.

KAMRANI, A. K. **Rapid Prototyping : Theory and Practice**. Springer US., 2006.

NISBETT, R. G. **Shigley's Mechanical Engineering Design**. McGraw-Hill Education, 2015.

OLIVEIRA, A. D. *Desenvolvimento de máquina CNC a laser para corte e gravação*. **Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Controle e Automação** , UFPE, p. 81.,2022.

REIS, A. D., Jr, E. T., CRUZ, J. M., NETO, J. L., SILVA, L. F., & SEGISMUNDO, M. H. **Projeto de máquina CNC 3 eixos**. FUNDAÇÃO EDUCACIONAL DE ITUVERAVA, 2018.

REIS, C. R. *Desenvolvimento modular de uma máquina CNC de 3 eixos*. **Trabalho de Mestrado Integrado em Engenharia Meânica.** Porto, Portugal*:* FEUP, p. 115, 2018.

ROLLON. **Rollon by Timken**. Fonte: www.rollon.com: https://www.rollon.com/IN/en/products/linear-line/1-compact-rail/ Disponível em 20 de outubro de 2024.

ROMEROS, F. M. *Desenvolvimento de máquina CNC router para*. **Trabalho de Conclusão de Curso apresentado Bacharel em Engenharia Elétrica.** Minhas Gerais: IFMG, p. 92, 2022.

ROMEROS, F. M. *Desenvolvimento de máquina CNC ROUTER para usinagem de modelos de fundição em areia verde*. **Trabalho de Conclusão de Curso Engenharia Elétrica**. Minas Gerais: IFMG, p. 92, 2022.

SANTOS, M. **MS SANTOS.** Fonte: Loja de Informática especializada em vendas e locação de Impressoras Laser e 3D: https://www.mssantos.com.br/ Documento de 28 de outubro de 2019.

SEBRAE. **Micro e pequenas empresas geram 27% do PIB do Brasil**. MATO GROSSO: https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/mt/noticias/micro-e-pequenas-empresas-geram-27-do-pib-do-brasil,ad0fc70646467410VgnVCM2000003c74010aRCRD. Documento de 24 de julho de 2014.

SHOCKMETAIS. **Shockmetais**. Fonte: shockmetais.com.br: https://shockmetais.com.br/tabelas/aluminio/chapa Disponível em 21 de outubro de 2024.

SHOCKMETAIS. ***Shockmetais***. Fonte: shockmetais.com.br: https://shockmetais.com.br/tabelas/aluminio/pmec Disponível em 21 de outubro de 2024.

SILVA, J. C. *Projeto mecânico, fabricação, montagem e ensaios geométricos.* **Dissertação.** Programa de Mestrado em Engenharia Mecânica. UFPE*:* p. 99., 2018.

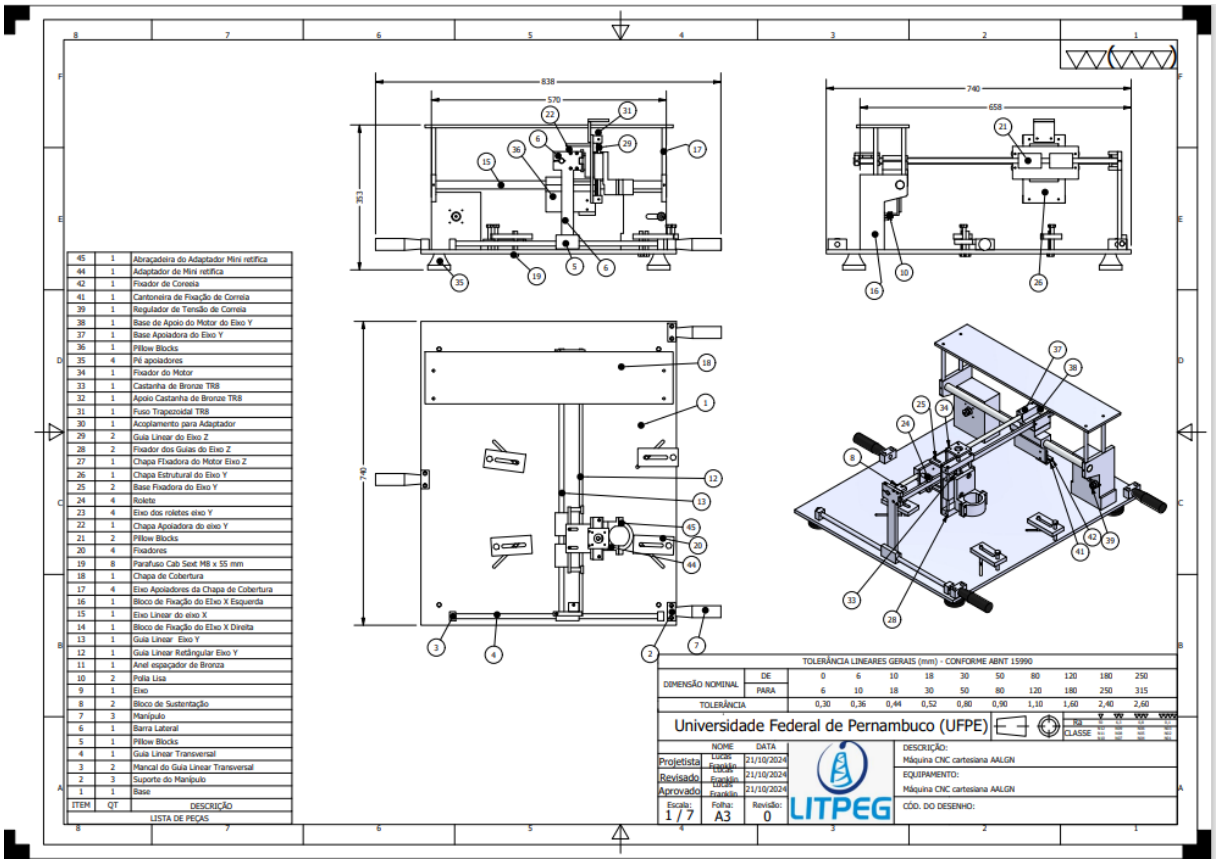
SUZIGAN, W. *A Indústria brasileira após uma década de estagnação: questões para política industrial*. **JORNAL DA ECONOMIA**, 93., 1991.

TECMAF. **TECMAF**. Fonte: loja.tecmaf.com.b: https://loja.tecmaf.com.br/guia-linear-hgr15-30mm Disponível em 20 de outubro de 2024.

TEXAS INSTRUMENTS. **Texas Instruments**. Fonte: www.ti.com: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv8825.pdf?ts=1728818508051 Disponível em 13 de outubro de 2024.

Xu, X. *Machine Tool 4.0 for the new era of manufacturing*. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, p. 1893-1900, 2017

APÊNDICE A - MÁQUINA CNC CARTESIANA PROGETADA (MODELO: AALGN)



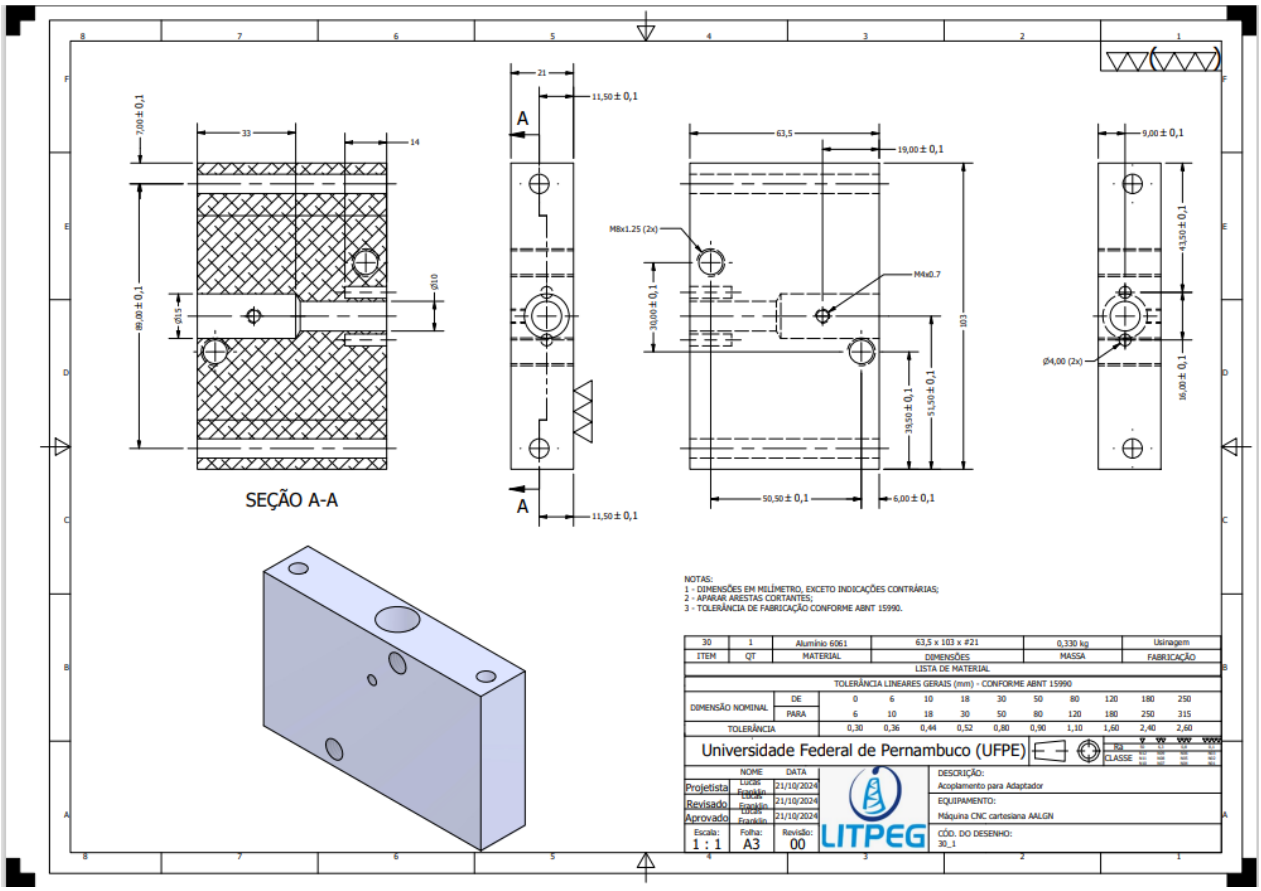
ITEM	QT	DESCRIÇÃO
45	1	Abraçadeira do Adaptador Mini retifica
44	1	Adaptador de Mini retifica
42	1	Fixador de Correia
41	1	Cantoneira de Fixação de Correia
39	1	Regulador de Tensão de Correia
38	1	Base de Apoio do Motor do Eixo Y
37	1	Base Apoiadora do Eixo Y
36	1	Pillow Blocks
35	4	Pé apoiadores
34	1	Fixador do Motor
33	1	Castanha de Bronze TR8
32	1	Apoio Castanha do Bronze TR8
31	1	Fuso Trapezoidal TR8
30	1	Acoplamento para Adaptador
29	2	Guia Linear do Eixo Z
28	2	Fixador dos Guias do Eixo Z
27	1	Chapa FIxadora do Motor Eixo Z
26	1	Chapa Estrutural do Eixo Y
25	2	Base Fixadora do Eixo Y
24	4	Rolete
23	4	Eixo dos roletes eixo Y
22	1	Chapa Apoiadora do eixo Y
21	2	Pillow Blocks
20	4	Fixadores
19	8	Parafuso Cab Sext M8 x 55 mm
18	1	Chapa de Cobertura
17	4	Eixo Apoiadores da Chapa de Cobertura
16	1	Bloco de Fixação do Eixo X Esquerda
15	1	Eixo Linear do eixo X
14	1	Bloco de Fixação do Eixo X Direita
13	1	Guia Linear Eixo Y
12	1	Guia Linear Retângular Eixo Y
11	1	Anel espaçador de Bronza
10	2	Polia Lisa
9	1	Eixo
8	2	Bloco de Sustentação
7	3	Manípulo
6	1	Barra Lateral
5	1	Pillow Blocks
4	1	Guia Linear Transversal
3	2	Mancal do Guia Linear Transversal
2	3	Suporte do Manípulo
1	1	Base

LISTA DE PEÇAS

DIMENSÃO NOMINAL	DE	0	6	10	18	30	50	80	120	180	250
	PARA	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315
TOLERÂNCIA		0,30	0,36	0,44	0,52	0,80	0,90	1,10	1,60	2,40	2,60

	NOME	DATA
Projetista	Lucas Franklin	21/10/2024
Revisado	Lucas Franklin	21/10/2024
Aprovado	Lucas Franklin	21/10/2024

APÊNDICE B - ACOPLADOR DO ADAPTADOR



APÊNDICE C –TABELA DE ESPECIFICAÇÃO DA MÁQUINA PROJETADA

x

Tabela 8 - Especificações da Máquina CNC Cartesiana Projetada

Item técnico	**Especificação**
Corpo da CNC, eixos X e Y	Alumínio
Corpo da CNC, eixo Z	Alumínio
Área útil	300x270mm
Altura útil	40 mm
Volume Total	740x838x353mm
Peso Total	27,3 kg
Capacidade de usinagem	MDF, resina, epóxi, isopor
Capacidade de Deposição	Tinta (Em desenvolvimento)
Número de eixos	3 eixos
Porta Ferramenta	Adaptável
Acionamento dos Eixos	Motor de Passo Nema 17HS4401S, Cada Eixo
Compatível	Arduino UNO
Fonte de Alimentação	(BIVOLT) e saída de 12V ,10A ,120W