



CURSO TÉCNICO EM MECATRÔNICA

**Marcelo Da Cruz
Reginaldo Ribeiro Soares
Renan Rodrigues Alves de Souza
Renan Rossini
Rogério Motta De Souza**

MINI TORNO CNC DIDÁTICO

**São Carlos – SP
2025**

**Marcelo Da Cruz
Reginaldo Ribeiro Soares
Renan Rodrigues Alves de Souza
Renan Rossini
Rogério Motta De Souza**

MINI TORNO CNC DIDÁTICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Etec Paulinho Botelho, como requisito parcial para
a obtenção do título de Técnico em Mecatrônica.

Orientador: Prof. Claudio Torres Gonçalves.

**São Carlos – SP
2025**

MINI TORNO CNC DIDÁTICO

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado, apresentado à Etec Paulinho Botelho, no Sistema de Ensino Presencial Conectado, como requisito parcial para a obtenção do título de Técnico em Mecatrônica, com nota final igual a _ ____, conferida pela Banca Examinadora formada pelos professores:

Prof. Orientador
Claudio Torres Gonçalves

Prof. Orientador
Luis Schiavone Neto

Prof. Membro 1
Evandra Maria Raimundo

Prof. Membro 2
Anderson Beluco

São Carlos -SP, ____de ____de 20__.

São Carlos - SP
2025

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus familiares pelo amor, apoio e incentivo incondicional em todas as etapas da minha vida.

A vocês, que sempre acreditaram no meu potencial e me ensinaram o valor da perseverança, da honestidade e do esforço, dedico esta conquista com todo o meu carinho e gratidão.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força, sabedoria e saúde concedidas ao longo de toda esta jornada.

Ao Prof. Claudio Torres Gonçalves, meu orientador e amigo de todas as horas, pela paciência, dedicação e apoio constante durante o desenvolvimento deste trabalho. Sua orientação foi essencial para que cada etapa deste projeto fosse concluída com sucesso.

Ao Prof. Luiz Schiavone Neto, pelo incentivo e pelas valiosas contribuições técnicas que ajudaram a aprimorar este projeto.

Aos professores do curso, que compartilharam seus conhecimentos e experiências, contribuindo significativamente para a minha formação profissional.

Aos meus colegas e amigos, pelo companheirismo, incentivo e pela troca de ideias que tornaram o processo de aprendizado mais leve e produtivo.

À minha família, pelo amor, compreensão e apoio incondicional, fundamentais para a superação de todos os desafios ao longo deste caminho

EPÍGRAFE

“Tudo deve ser feito da forma mais simples
possível,
Mas não mais simples”
-Albert Einste

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a validação de um protótipo de mini torno CNC projetado para fins didáticos e de treinamento em laboratório. O principal objetivo foi construir um equipamento funcional, robusto e de baixo custo, capaz de demonstrar de forma prática os conceitos fundamentais da usinagem automatizada.

A estrutura do torno foi fabricada em aço carbono SAE 1020, material escolhido por oferecer boa rigidez e resistência mecânica. Já as partes móveis foram produzidas em alumínio 6061-T6, com o propósito de reduzir o peso e melhorar o desempenho dinâmico do conjunto. O movimento dos eixos é realizado por motores de passo NEMA 17 acoplados a fusos trapezoidais, enquanto o controle eletrônico é feito por meio de drivers e de uma placa controladora CNC USB Mach3. Essa integração permite que o software Mach3 gerencie os parâmetros de operação, oferecendo controle preciso e acompanhamento em tempo real durante o processo de usinagem.

Os testes realizados confirmaram que o sistema apresentou estabilidade e boa precisão. Nos ensaios de torneamento, o desvio dimensional máximo observado foi de aproximadamente ± 1 mm, resultado considerado satisfatório para a proposta do projeto.

Com isso, o mini torno CNC se mostra uma ferramenta pedagógica eficiente para o ensino de manufatura digital. Ele permite que os alunos relacionem a teoria à prática, compreendendo melhor o funcionamento dos sistemas automatizados e a importância do controle numérico para a precisão e produtividade, aspectos essenciais no contexto da Indústria 4.0.

Palavras-chave: Torno CNC, Usinagem, Estrutura metálica, Motor de passo, Controle CNC, Mach3.

ABSTRACT

This study presents the development and validation of a CNC mini lathe prototype designed for educational purposes and laboratory training. The main objective was to build a functional, robust, and low-cost machine capable of demonstrating, in practice, the fundamental principles of automated machining.

The lathe structure was manufactured using SAE 1020 carbon steel, chosen for its mechanical strength and rigidity. The moving components were made from 6061-T6 aluminum alloy to reduce weight and enhance the system's dynamic performance. The motion of the axes is driven by NEMA 17 stepper motors coupled to trapezoidal lead screws, while the electronic control is managed through drivers and a CNC USB Mach3 controller board. This integration enables the Mach3 software to manage operational parameters with high precision and to provide real-time monitoring throughout the machining process.

The validation tests confirmed the system's stability and positional accuracy. During the turning trials, the maximum dimensional deviation recorded was approximately ± 1 mm, which is considered satisfactory for the project's purpose.

Therefore, the CNC mini lathe proves to be an effective educational tool for teaching digital manufacturing. It allows students to connect theory with practice, deepening their understanding of how automation and numerical control contribute to precision and productivity, key aspects within the context of Industry 4.0.

Key-words: CNC Lathe, Machining, Metal Structure, Stepper Motor, CNC Control, Mach3.

LISTA DE FIGURA

Figura 1 - Torno CNC Romi Certur 30D.	14
Figura 2 - Base Principal.	17
Figura 3 - Base de Alumínio.	18
Figura 4 - Fixação dos Guia Linear	20
Figura 5 - Alinhamento dos Guias Linear	21
Figura 6 - Spindle	22
Figura 7 - Mandril de Alumínio.....	23
Figura 8 - Porta Ferramenta	24
Figura 9 - Motor de Passo NEMA.....	25
Figura 10 - Driver	26
Figura 11 - Placa Controladora CNC	26
Figura 12 - Fonte Chaveada 24v	27
Figura 13 - Software Mach3	28
Figura 14 - Botão de Emergência.....	29
Figura 15 - Equipamento de Proteção Individual	29
Figura 16 - Mini Torno CNC	32

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

CNC Comando Numérico Computadorizado

EPI Equipamento de Proteção Individual

PWM Pulse Width Modulation

RPM Rotação por Minuto

DC Corrente Contínua

EPI Equipamento de Proteção Individual

MIG Metal Inert Gas

G-code Código G

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 JUSTIFICATIVA.....	15
3 OBJETIVO.....	15
4 METODOLOGIA.....	16
4.1 ESTRUTURA METÁLICA	16
4.2 PARTES MÓVEIS.....	17
4.3 ACABAMENTOS E DURABILIDADE.....	18
5 SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO E GUIAMENTO.....	19
5.1 FUSOS DE ACIONAMENTO E ELIMINAÇÃO DE FOLGAS.....	19
5.2 GUIA LINEAR: PRECISÃO E RIGIDEZ.....	19
5.3 MONTAGEM E AJUSTE DE PRECISÃO.....	20
5.4 PROCEDIMENTOS DE CALIBRAÇÃO.....	20
5.5 EIXO-ARVORE E SISTEMA DE USINAGEM.....	21
5.6 CONTROLE DE CABEÇOTE PRINCIPAL.....	21
5.7 SISTEMA DE FIXAÇÃO DA PEÇA.....	23
5.8 FERRAMENTAS DE CORTE E PORTA-FERRAMENTAS.....	23
6 COMPONENTES ELETRÔNICOS E CONTROLE.....	25
6.1 MOTORES E TRANSMISSÃO DE MOVIMENTO.....	25
6.2 DRIVERS DE POTÊNCIA E ACIONAMENTO.....	25
6.3 PLACA CONTROLADORA	26
6.4 ALIMENTAÇÃO ELETRICA E SEGURANÇA.....	27
6.5 SOFTWARE DE CONTROLE – MACH3.....	27
6.6 SEGURANÇA OPERACIONAL E INTEGRIDADE DO EQUIPAMENTO.....	28
7 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	30
7.1 AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE E DESEMPENHO OPERACIONAL.....	30
7.2 VALIDAÇÃO DA ESTRUTURA E MECÂNICA.....	31

SUMÁRIO

7.3 PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO E MELHORIA FUTURA.....	31
CONCLUSÃO.....	33
ESQUEMA ELÉTRICO DO MINI TORNO CNC DIDÁTICO.....	34
DESENHO TÉCNICO DO MINI TORNO CNC DIDÁTICO.....	35
LISTA DE MATERIAIS DO MINI TORNO CNC DIDÁTICO.....	40
MANUAL DE OPERAÇÃO E SEGURANÇA DO MINI TORNO CNC DIDÁTICO.....	44
REFERÊNCIAS.....	46

1 INTRODUÇÃO

A evolução contínua dos processos de manufatura resultou na expansão significativa do uso de máquinas com Comando Numérico Computadorizado (CNC) na indústria moderna. O torno CNC, em particular, é um equipamento vital, destacando-se pela capacidade de usinar componentes cilíndricos com alta precisão e repetibilidade exigidas na fabricação de peças que demandam tolerâncias rigorosas.

Historicamente, a transição dos modelos manuais para o controle CNC representou um salto tecnológico que impulsionou a produção em massa e aprimorou a qualidade dos produtos. Em razão disso, os tornos CNC (Figura 1) são hoje amplamente empregados nos setores automotivo, aeroespacial e metalúrgico.

Diante desse cenário e da necessidade premente de formar profissionais qualificados em manufatura digital, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um protótipo de torno CNC didático. Este projeto se justifica por fornecer uma solução prática para o ensino e o treinamento, permitindo aos estudantes e profissionais da área de mecânica e engenharia a aquisição de conhecimento prático e contextualizado sobre os conceitos fundamentais da usinagem computadorizada. Este protótipo servirá como plataforma de testes e aprendizado para o desenvolvimento de programas CNC, análise de movimentos e compreensão dos sistemas de automação.



Figura 1 – Torno CNC Romi Centur 30D
Fonte: Rom

2 JUSTIFICATIVA

Este projeto surgiu da vontade de transformar o aprendizado sobre usinagem CNC em algo mais prático e acessível. Muitas vezes, nas aulas de CNC, o conteúdo fica restrito à teoria, pois as máquinas industriais são caras e difíceis de utilizar em ambiente escolar.

Com o mini torno CNC didático, é possível entender de forma real como funciona uma máquina controlada por computador, desde os motores até o software de comando. O projeto ajuda os alunos a colocar em prática o que aprendem na teoria e a se preparar melhor para o mercado de trabalho.

Além disso, o desenvolvimento de um equipamento de baixo custo estimula a criatividade, a pesquisa e o trabalho em equipe. Assim, o mini torno CNC contribui para o ensino técnico e incentiva a busca por soluções inovadoras dentro da área de automação e manufatura digital.

3 OBJETIVO

O projeto tem como Objetivo Geral o desenvolvimento e a validação de um protótipo funcional de torno CNC de pequeno porte para fins didáticos, utilizando soluções de baixo custo e alta precisão.

Objetivos Específicos:

Dimensionar e construir uma estrutura metálica robusta para o torno, garantindo a rigidez necessária.

Projetar e integrar o sistema de movimentação mecânica, incluindo guias lineares e fusos de acionamento, minimizando o backlash.

Selecionar e configurar os componentes eletrônicos (motores de passo, drivers TB6600 e placa controladora MACH3 para o controle preciso dos eixos.

Testar e validar o desempenho da máquina em ciclos de usinagem, com foco na precisão dimensional.

Elaborar um manual de operação do protótipo para uso em ambiente laboratorial.

4 METODOLOGIA

A construção do torno CNC foi dividida em etapas cuidadosamente planejadas, visando garantir robustez, precisão e confiabilidade em seu funcionamento. A seguir, são descritas cada uma das etapas envolvidas no desenvolvimento do projeto, desde a estrutura física até o sistema de controle e segurança.

4.1 Estrutura Metálica

A base principal do torno foi desenvolvida inteiramente com barras chatas de aço carbono SAE 1020. A escolha desse material é justificada pela sua excelente resistência mecânica e ductilidade, sendo amplamente utilizado em estruturas que exigem alta capacidade de suporte de carga e máxima rigidez.

A estrutura, conforme ilustrado na Figura 2 foi dimensionada em aproximadamente 400 mm de comprimento por 270 mm de largura, um dimensionamento que otimiza o espaço disponível na bancada, acomoda todos os componentes mecânicos e eletrônicos, e proporciona estabilidade suficiente para os eixos de movimentação.

Para a união da barra chata, empregamos a soldagem MIG (Metal Inert Gas). Selecionamos esse processo por sua capacidade de gerar cordões de solda de alta qualidade, garantindo boa penetração e resistência mecânica superior nas juntas. Além disso, a soldagem MIG oferece um acabamento mais limpo e uniforme, e o uso de gás reduz a oxidação durante o processo, aumentando a durabilidade das uniões metálicas.



Figura 2 – Base principal
Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2 Partes Móveis

As estruturas longitudinais e transversais, que sustentam os eixos de movimentação (Figura 3), foram confeccionadas com barra chata de alumínio 6061-T6. Esta liga é considerada um padrão no setor industrial devido à sua combinação de elevada resistência mecânica, excelente usinabilidade e alta resistência à corrosão. Com uma densidade média de 2.7 g/cm^3 , o alumínio possui cerca de um terço do peso do aço, fator determinante para a redução da inércia do conjunto móvel. A leveza do 6061-T6 tem um impacto direto no desempenho dinâmico da máquina:

1. Redução de Inércia: A massa menor das partes móveis exige menos esforço dos motores de passo durante a aceleração e desaceleração.
2. Velocidade e Resposta: Isso proporciona maiores velocidades de usinagem, melhor resposta dos eixos e consequentemente, menor consumo de energia.

Mesmo sendo significativamente mais leve, o alumínio 6061-T6, quando bem dimensionado, oferece a rigidez necessária para suportar os esforços de corte, sem comprometer a precisão.

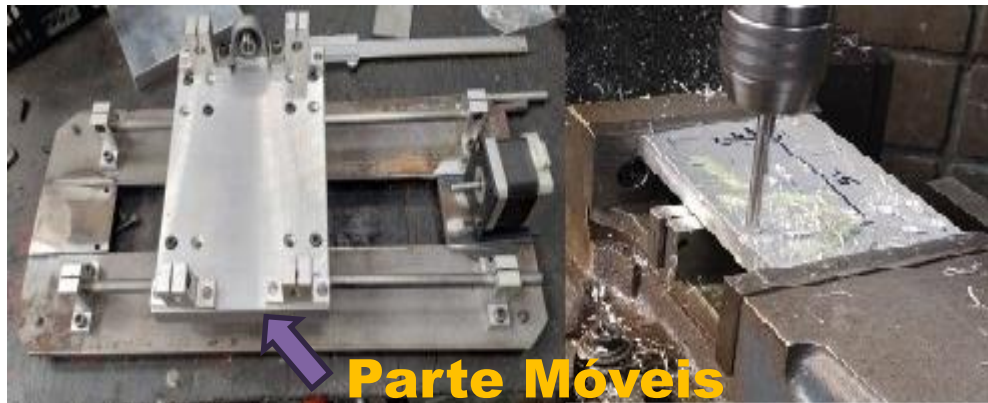


Figura 3 – Base de alumínio
Fonte: Elaborada pelo autor.

4.3 Acabamento e Durabilidade

Finalmente, toda a estrutura recebeu um acabamento superficial com pintura de base automotiva. Além de contribuir para a estética da máquina, esse revestimento possui a função primordial de proteger as superfícies metálicas contra a oxidação e o desgaste.

O resultado final é uma base sólida, durável e bem dimensionada, que assegura o desempenho e a confiabilidade exigidos em um torno CNC de pequeno porte.

5. Sistema de Movimentação e Guiamento dos Eixos

5.1 Fusos de Acionamento e Eliminação de Folgas

Para o acionamento dos carros, optamos pelos fusos trapezoidais TR8x300. Esses fusos são essenciais por oferecerem uma excelente consistência no avanço e por minimizarem a folga mecânica (backlash), um desafio comum em sistemas de baixo custo.

A transmissão de movimento do motor para o fuso é realizada por acoplamentos de nylon de 6 mm×8 mm, que garantem uma fixação robusta e eficiente, absorvendo pequenos desalinhamentos sem perda de torque. O suporte das extremidades dos fusos é feito por mancais de apoio Kp08. A função desses mancais é vital: eles são projetados para suportar as cargas radiais e axiais do sistema, promovendo baixa fricção e garantindo a estabilidade dimensional do conjunto.

5.2. Guia Linear: Precisão e Rigidez

O sistema de guiamento linear foi projetado para garantir a exatidão posicional e a suavidade do movimento dos carros.

O deslocamento dos eixos é realizado por Eixos Lineares Retificados (Padrão H7) de 8 mm em aço SAE 1045. Essa escolha técnica é fundamental por oferecer uma superfície de trabalho de baixa rugosidade, resultando em baixa fricção, alta rigidez e longa vida útil ao sistema.

Para a fixação e sustentação, utilizamos mancal de apoio (Pillow Blocks) Fechados de 8 mm que contêm rolamentos lineares do tipo LM8UU.

A montagem do conjunto foi realizada de forma estratégica (Figura 4)

1. Os Pillow Blocks são fixados diretamente na barra chata de alumínio 6061-T6, com parafusos allen M5 x 20mm.

2. Essa barra chata de alumínio foi previamente usinada com precisão para garantir que a superfície de apoio fosse perfeitamente plana.

A combinação do Eixo Retificado H7 com os Pillow Blocks (LM8UU) garante a rigidez necessária e a capacidade de suportar cargas elevadas em múltiplas direções, assegurando a precisão do corte mesmo sob esforço de usinagem.

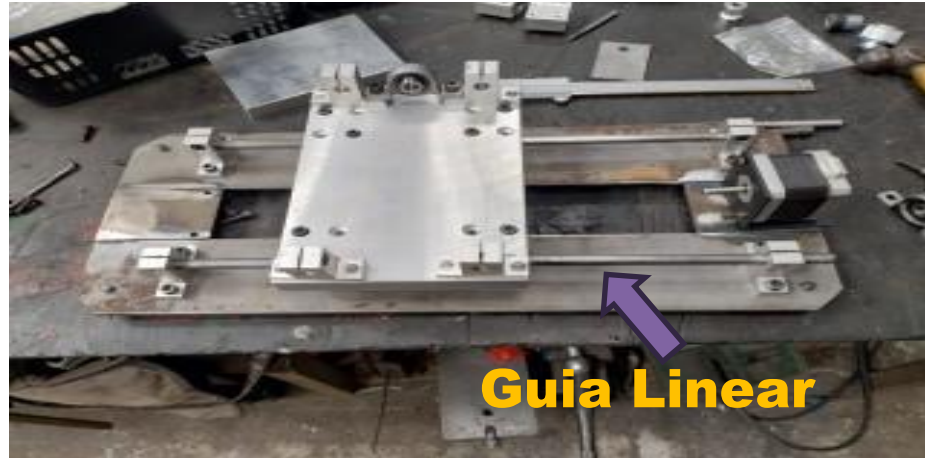


Figura 4 – Fixação dos guias lineares

Fonte: Elaborada pelo autor.

5.3. Montagem e Ajuste de Precisão

A montagem do sistema de guiamento exigiu rigoroso cuidado com a precisão e a estabilidade.

A fixação dos Pillow Blocks nas estruturas móveis foi realizada com parafusos Allen M5 e arruelas de pressão. Essa escolha é essencial, pois garante a firmeza mecânica do conjunto, prevenindo o afrouxamento das peças sob as vibrações operacionais.

5.4. Procedimentos de calibração

Foi realizado um ajuste fino do paralelismo entre as guias (Figura 5). Este procedimento foi executado com o máximo rigor, utilizando ferramentas de metrologia como o relógio comparador e réguas de precisão.

A calibração do sistema foi fundamental para assegurar o deslocamento do carro sem travamentos ou desalinhamentos, o que garante a fluidez e a precisão do sistema de movimentação.



Figura 5 – Alinhamento e paralelismo dos guias lineares
Fonte: Elaborada pelo autor.

5.5. Eixo-árvore e Sistema de Usinagem

O sucesso na usinagem de precisão depende da integridade e estabilidade do conjunto de corte. Por isso, a concepção do cabeçote principal (spindle) e dos sistemas auxiliares de fixação e ferramenta foi baseada em critérios rigorosos de desempenho e durabilidade, essenciais para garantir o resultado final do mini torno CNC.

5.6. Controle do Cabeçote Principal

O Spindle é o componente central, responsável por transmitir o movimento de rotação à peça (Figura 6). O sistema foi baseado em um motor DC de 24 V e 400 W, com uma rotação máxima de 10.000 rpm. Essa potência foi dimensionada para ser altamente eficiente na usinagem de materiais leves a médios, como plásticos e madeiras.

O controle eletrônico de velocidade (PWM) permite o ajuste fino da rotação do motor diretamente via software Mach3. Essa capacidade é crítica, pois possibilita adequar a velocidade de corte ideal a cada material e ferramenta, o que não apenas evita o desgaste prematuro do inserto, mas também assegura um acabamento superficial superior.

A estabilidade e durabilidade do eixo foram projetados da seguinte forma:

1. Eixo Principal: Usinado em aço temperado SAE 1045, material que oferece a resistência mecânica necessária para suportar as tensões de corte.

2. Sustentação por Rolamentos: A montagem utiliza dois rolamentos rígidos de esfera 6202-2RSH. Essa escolha é fundamental, sendo que a configuração adotada permite que o eixo suporte de forma robusta tanto cargas radiais (força lateral) quanto axiais (força de avanço), mantendo uma rotação estável mesmo sob o esforço de corte.

3. Transmissão do Spindle: O movimento é transmitido por um eficiente sistema de polia e correia dentada. Utilizamos uma configuração de polia GT2 (20/40 dentes) com uma correia de 200 mm x 10 mm de largura. A correia dentada garante uma transmissão de torque eficiente e sem deslizamento, enquanto o sistema de polias absorve pequenos desalinhamentos e vibrações, contribuindo para uma operação precisa e silenciosa.



Figura 6 – Spindle
Fonte: Elaborada pelo autor.

5.7. Sistema de Fixação da Peça

A fixação é realizada por um mandril autocentrante de alumínio, de três castanha e 50 mm de diâmetro (Figura 7), montado diretamente no eixo. Esse mandril permite a fixação de peças com até 25 mm de diâmetro, atendendo às dimensões típicas dos ensaios didáticos e protótipos usinados no equipamento. A principal vantagem desse componente é a centralização automática, que proporciona alta precisão e boa repetibilidade, fatores essenciais nos processos de torneamento.

A fixação firme e o balanceamento adequado são fatores críticos. Para evitar vibrações que possam comprometer a qualidade dimensional, o conjunto é sempre inspecionado e testado em baixa rotação antes do início da operação, garantindo o alinhamento correto do eixo.

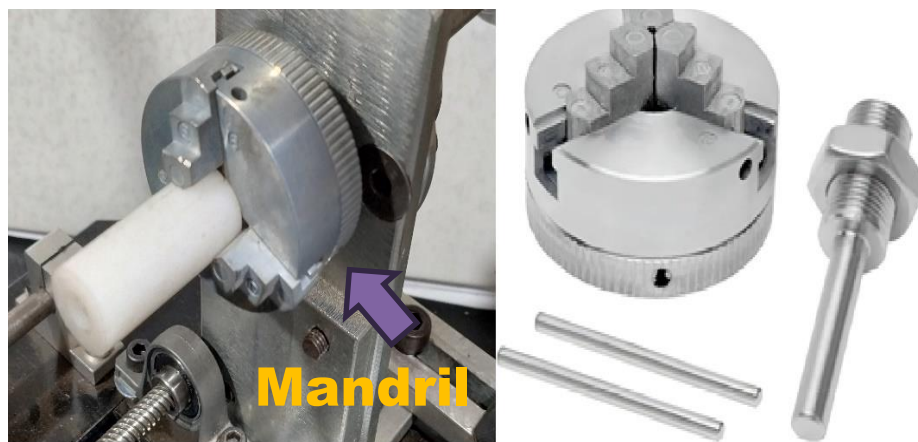


Figura 7 – Mandril de alumínio
Fonte: Elaborada pelo autor.

5.8. Ferramentas de Corte e Porta-Ferramentas

A seleção das ferramentas foi determinada pela versatilidade dos materiais a serem usinados. Nos testes iniciais, utilizamos pastilhas de metal duro (carbeto de tungstênio) para o desbaste pesado e ferramentas de aço rápido (HSS) para operações de acabamento em materiais mais macios (madeira e plásticos técnicos).

O porta-ferramentas (Figura 8) foi robustamente usinado em aço SAE 1020 para acomodar as ferramentas selecionadas. A fixação da ferramenta utiliza

parafusos de travamento, assegurando que a rigidez e a posição posicional da ferramenta sejam mantidas sob o esforço de corte.

O suporte foi instalado sobre um carro transversal ajustável. Este ajuste sutil é fundamental, pois permite realizar pequenas correções de ângulo e altura, garantindo o ponto de corte ideal. Isso não só maximiza a vida útil da pastilha, mas também minimiza os esforços impostos sobre o motor e a estrutura.



Figura 8 – Porta-ferramenta
Fonte: Elaborada pelo autor

6. Componentes Eletrônicos e de Controle

6.1 Motores e Transmissão de Movimento

O acionamento dos eixos é realizado por motores de passo NEMA 17, modelo JK42HS40170, que oferecem um torque satisfatório de 4.2 kgf·cm (Figura 9). Esta escolha técnica é ideal para aplicações de usinagem de pequeno porte, pois oferece um bom desempenho de torque a uma excelente precisão angular.

Os motores são instalados em suportes metálicos ajustáveis, o que permite realizar o alinhamento preciso e direto com os fusos de avanço.

Para transferir o movimento com suavidade e eficiência, foram utilizados acoplamentos do tipo nylon. Essa solução cumpre duas funções cruciais: ela reduz vibrações indesejadas e absorve pequenas folgas ou desalinhamentos entre o eixo do motor e o fuso, proporcionando uma movimentação mais suave e silenciosa.



Figura 9 – Motor de passo NEMA
Fonte: Kalatec.

6.2. Drivers de Potência e Acionamento

O controle de cada motor é realizado por um driver de potência digital TB6600 (Figura 10). A função primordial do driver é converter os comandos de passo e direção (Step e Dir) enviados pela controladora em pulsos elétricos de alta corrente. Esses pulsos, devidamente amplificados, definem a rotação exata, o sentido e a intensidade do campo, garantindo o movimento preciso do motor de passo.

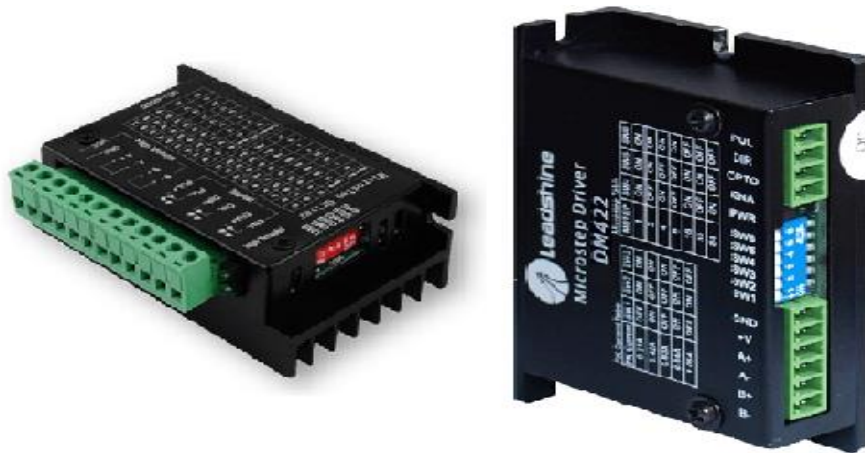


Figura 10 – Driver
Fonte: Kalatec.

6.3. Placa Controladora

Todo o sistema de controle da máquina é operado por uma placa controladora CNC USB MACH3 de 4 eixos, com frequência de trabalho 100 kHz (Figura 11). Esta placa atua como a interface lógica entre o computador e a eletrônica de potência, sendo totalmente compatível com o software Mach3. Ela recebe os comandos do computador e os converte em sinais elétricos que os drivers e motores de passo conseguem interpretar, permitindo o controle preciso dos movimentos da máquina.



Figura 11 – Placa controladora CNC
Fonte: Kalatec.

6.4. Alimentação Elétrica e Segurança

Para alimentar todo o conjunto eletrônico, foi selecionada uma fonte chaveada de 12 V com capacidade de 30 A e potência 360 W (Figura 12). Esta fonte é essencial para o funcionamento do sistema, pois possui proteções internas contra curto-circuito e sobrecarga, garantindo maior confiabilidade durante a operação.

Além disso, essa proteção representa um importante requisito de segurança, fundamental para preservar a integridade dos componentes eletrônicos do torno cnc e evitar falhas elétricas inesperadas que possam comprometer o equipamento.



Figura 12 – Fonte chaveada 24 V
Fonte: Kalatec.

6.5 Software de Controle – Mach3

O software Mach3 foi escolhido por sua ampla compatibilidade com sistemas CNC artesanais e por oferecer uma interface amigável e altamente configurável (Figura 13).

Ele atua como o cérebro operacional da máquina, permitindo o controle completo, a leitura e a execução de códigos G (G-code), ajuste de offsets, e monitoramento em tempo real.

O uso do Mach3 possibilita:

- Controle Paramétrico: Permite ao operador o ajuste fino de parâmetros críticos, como velocidade de avanço, aceleração dos eixos e calibração de passos por milímetro, essenciais para otimizar o ciclo de corte.

- **Compatibilidade CAD/CAM:** Viabiliza a importação de arquivos de projetos desenvolvidos em softwares CAD/CAM, permitindo a execução de operações complexas com exatidão.
- **Personalização:** Possui suporte para criação de macros e personalização de comandos, o que contribui para uma usinagem mais eficiente e adaptada às necessidades específicas do operador.

Segurança e Diagnóstico: O sistema inclui ferramentas de simulação e diagnóstico, que ajudam na identificação de possíveis falhas no código antes mesmo da execução real, aumentando a segurança e minimizando o desperdício de material.

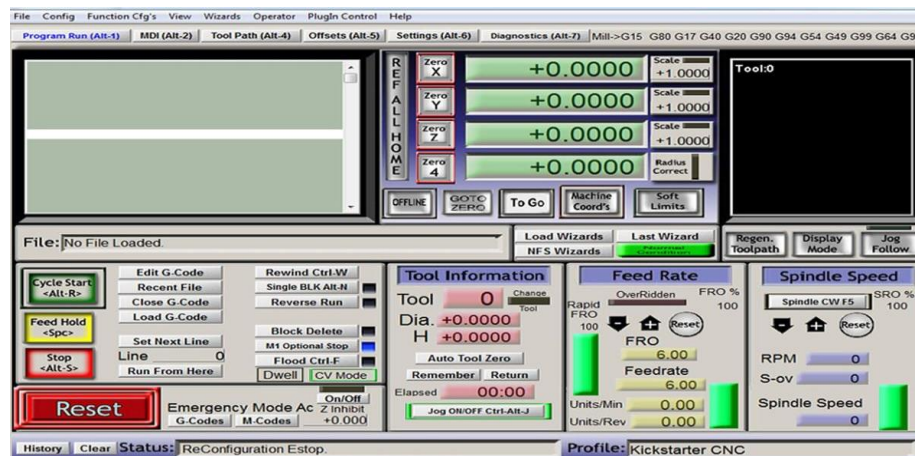


Figura 13 – Software Mach3
Fonte: ArtSoft.

6.6. Segurança Operacional e Integridade do Equipamento

A segurança foi uma prioridade central durante o desenvolvimento do torno CNC, abrangendo tanto o projeto mecânico quanto o sistema de controle eletrônico. Para garantir a integridade do operador e do equipamento, foram implementadas as seguintes medidas de proteção:

Botão de Emergência (E-Stop) (Figura 14): Instalado em local de fácil e imediato acesso, este componente está integrado diretamente à placa controladora. Sua ativação resulta na parada imediata de todos os sistemas, com corte de alimentação dos motores de passo e do spindle, conforme configurado no software Mach3.

Proteções Físicas: Foram instaladas capas de acrílico nas áreas de maior risco, como o barramento e as regiões próximas ao spindle. Esta barreira

previne o contato acidental com partes móveis e oferece proteção contra a projeção de cavacos e detritos.

Uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) (Figura 15): Para minimizar os riscos inerentes à operação, é obrigatório o uso de óculos de segurança e protetores auriculares durante qualquer ciclo de usinagem, esses EPIs são cruciais para a proteção visual e auditiva.



Figura 14 – Botão de Emergência
Fonte: WEG.



Figura 15 – EPIs
Fonte: Elite EPI.

7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após os testes realizados, foi possível comprovar o bom desempenho do protótipo (Figura 14), confirmando que as escolhas de projeto foram adequadas, principalmente em relação ao sistema de controle e à precisão dos movimentos.

O conjunto respondeu de forma estável e precisa, demonstrando que os parâmetros definidos atendem bem aos objetivos propostos.

7.1. Avaliação do Sistema de Controle e Desempenho Operacional

A utilização da Placa Controladora CNC USB MACH3 demonstrou ser uma solução altamente eficiente para o controle do torno, oferecendo vantagens significativas em comparação a sistemas simplificados, como plataformas baseadas em Arduino/GRBL. Os principais benefícios técnicos e operacionais observados incluem:

- **Gerenciamento Aprimorado do Ponto Zero (Zero Peça):** O Mach3 se destaca por oferecer suporte nativo e totalmente flexível para que o operador gerencie múltiplas referências de trabalho. Esta capacidade permite que o usuário configure e alterne entre diversos pontos de partida (Zero Peça) em segundos. Esta funcionalidade é uma inteligência operacional que elimina o retrabalho manual de ajuste de peças complexas ou longas, como aquelas que precisam ser viradas (usinadas em duas faces). É a inteligência do sistema trabalhando a favor da eficiência, garantindo que a referência de trabalho seja sempre exata e que a repetibilidade do processo seja mantida com facilidade, mesmo em um ambiente didático.
- **Controle Dinâmico de Movimentos:** A placa controladora CNC oferece uma notável capacidade de controle preciso dos movimentos dos eixos. Isso inclui o gerenciamento de rampas de aceleração e desaceleração, proporcionando uma resposta mais fiel aos comandos do programa (G-code) e resultando em movimentos suaves.
- **Integração Fina do Spindle:** A integração do controle de rotação do spindle via Pulse Width Modulation (PWM) garante ajustes mais finos na velocidade do mandril, proporcionando maior estabilidade durante os processos de corte e adaptabilidade a diferentes materiais e ferramentas.

- **Flexibilidade e Expansão:** O sistema possui maior flexibilidade para futuras expansões, com suporte nativo para até quatro eixos, o que abre possibilidades para a adaptação do torno a operações mais complexas, como usinagem de formas não cilíndricas ou troca de ferramentas automáticas.

Durante os testes de validação, o torno demonstrou ser capaz de executar ciclos de faceamento e rosqueamento com excelente precisão. Foi registrada uma variação dimensional máxima de apenas ($\pm 1\text{mm}$), o que comprova a alta qualidade do controle e da repetibilidade oferecida pela integração com o software MACH3.

7.2. Validação da Estrutura e Mecânica

O resultado dimensional obtido ($\pm 1\text{ mm}$) confirma a adequação das escolhas de projeto quanto à estrutura e ao sistema de movimentação.

A rigidez conferida pela estrutura principal em aço carbono SAE 1020, aliada ao uso estratégico de alumínio 6061-T6 nas partes móveis para redução da inércia, minimizou eficientemente a vibração e o desvio da ferramenta sob o esforço de corte. Adicionalmente, o emprego dos fusos trapezoidais Tr8 x 300 em conjunto com os mancais de apoio Kp08 e os Pillow Blocks (LM8UU) nos eixos lineares, garantiu a estabilidade e a baixa fricção necessárias para a movimentação suave e a repetibilidade de $\pm 1\text{ mm}$.

Isto estabelece o sistema de guias lineares e fusos trapezoidais como uma solução de ótimo custo-benefício para a precisão e a fidelidade posicional requeridas em aplicações didáticas e laboratoriais, onde a alta repetibilidade é fundamental para o aprendizado do aluno.

7.3. Propostas de Otimização e Melhorias Futuras

Embora o desempenho inicial do protótipo seja plenamente satisfatório para um equipamento didático, algumas melhorias podem ser implementadas para otimizar ainda mais o desempenho, a segurança e o nível de automação do sistema:

- **Sensores de Fim de Curso e Homing:** A instalação de sensores de fim de curso é essencial para a implementação da função de homing automático.

Essa adição permitiria a definição precisa da posição inicial (zero máquina) dos eixos de forma automatizada, garantindo maior segurança operacional e confiabilidade no início de cada novo processo de usinagem.

- Sincronização do Rosqueamento: Recomenda-se a adição de um encoder ou sensor de referência no spindle para garantir a sincronização exata entre a rotação do mandril e o avanço do carro.
- Sistema de Refrigeração Controlado: Sugere-se a incorporação de um sistema de refrigeração automatizado, utilizando fluido de corte com controle de acionamento via software Mach3. Essa funcionalidade contribuiria diretamente para a melhorar a qualidade do acabamento superficial da peça e aumentar à vida útil das ferramentas de corte.

Essas propostas visam proporcionar uma automação ainda mais eficiente, um aumento considerável na precisão e flexibilidade dos processos de usinagem, além de pavimentar o caminho para futuras inovações e aprimoramentos no sistema.

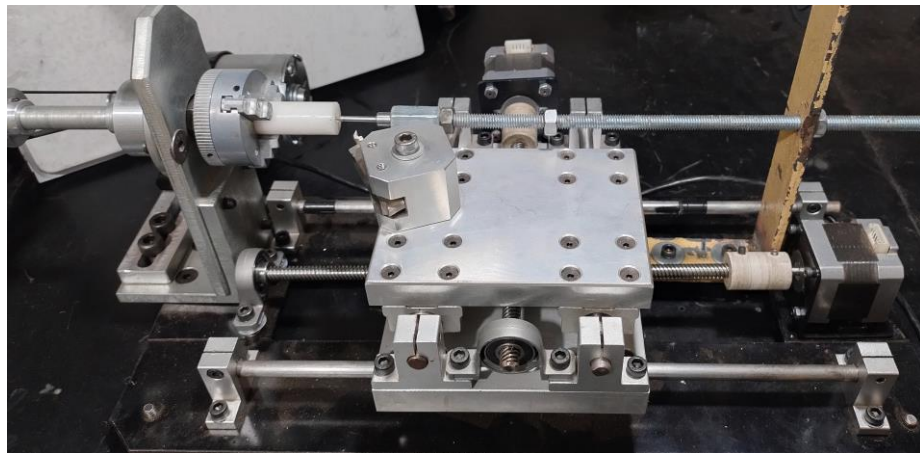


Figura 14 – Mini torno CNC
Fonte: Elaborada pelo autor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do torno CNC comprovou que é possível construir sistemas de manufatura digital acessíveis e funcionais, especialmente voltados para fins laboratoriais e educacionais.

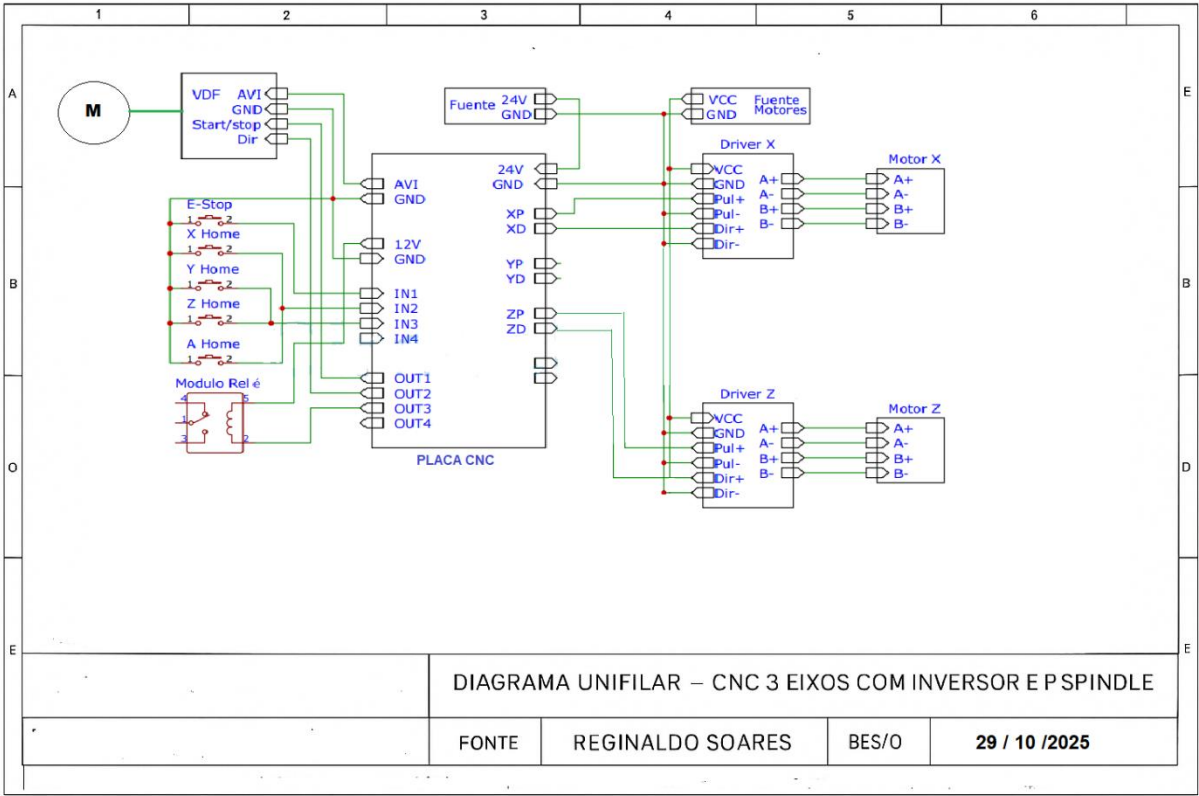
A utilização da Placa Controladora CNC USB 100 kHz, em conjunto com o software Mach3, mostrou-se uma escolha acertada, aumentando a confiabilidade e a precisão do sistema, de forma semelhante ao desempenho observado em equipamentos industriais de pequeno porte.

A interface gráfica do Mach3 se destacou pela facilidade de uso, permitindo ao operador acompanhar em tempo real o movimento das ferramentas e realizar ajustes rápidos e intuitivos durante a usinagem.

De maneira geral, o protótipo se mostrou uma ferramenta prática e eficiente para o ensino técnico e superior, servindo como plataforma de treinamento de futuros profissionais em CNC. Além disso, o projeto abre oportunidades para novas pesquisas nas áreas de usinagem de precisão e automação, demonstrando seu potencial acadêmico e científico.

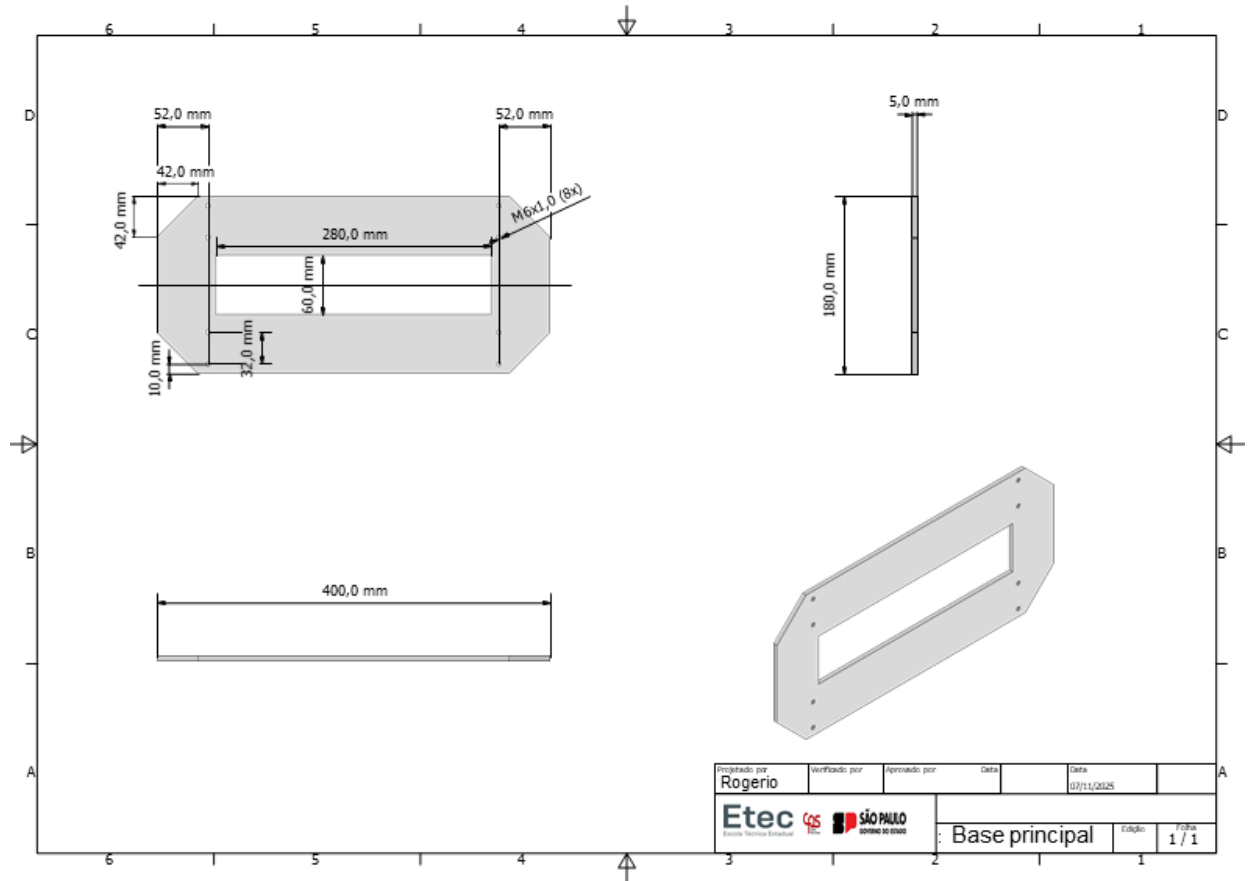
Mesmo apresentando limitações de porte e custo em relação a sistemas industriais avançados, o torno CNC desenvolvido possui grande aplicabilidade em ambientes de ensino. Ele contribui diretamente para o aprendizado de conceitos de manufatura digital e está alinhado às tendências da Indústria 4.0, atuando como um importante recurso didático para a disseminação do conhecimento nessa área.

Esquema elétrico do Mini Torno CNC Didático

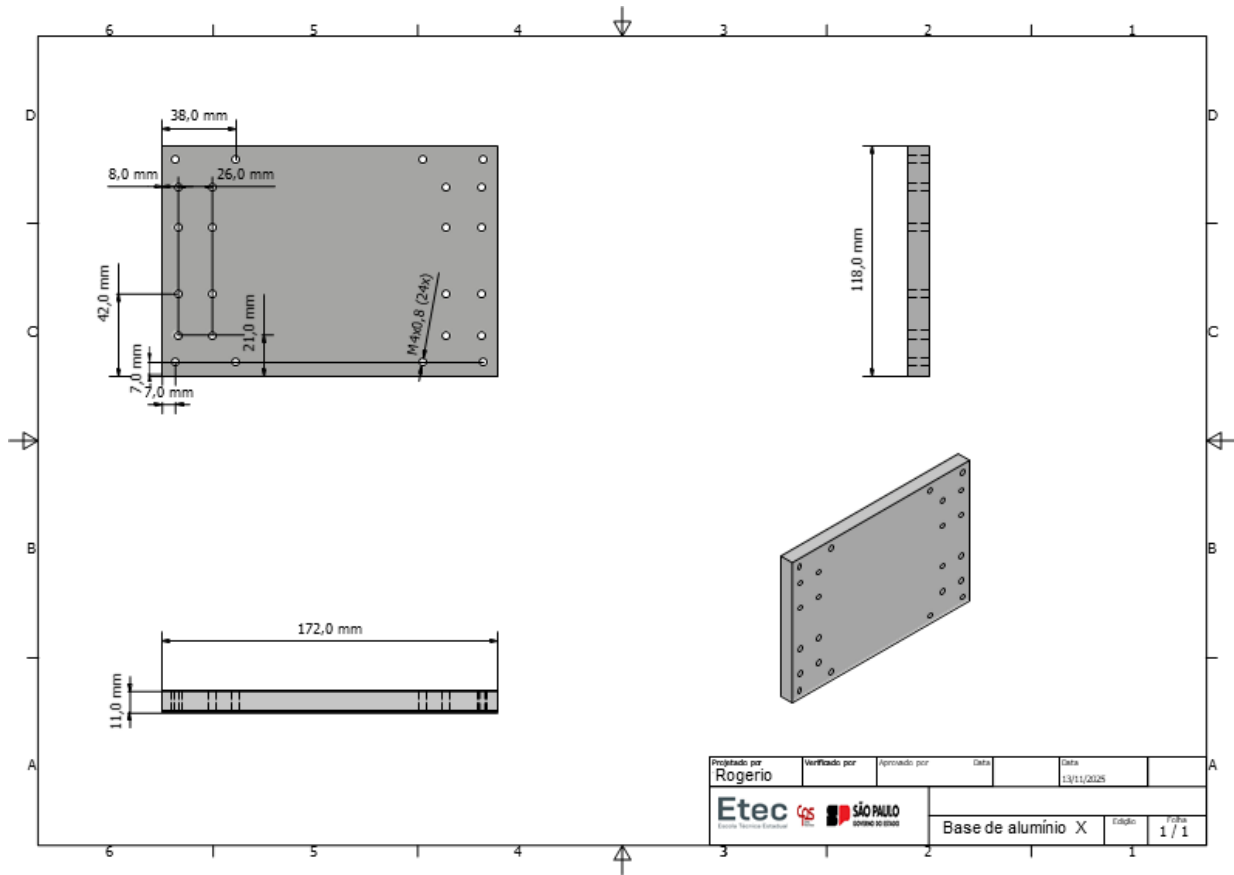


Desenho técnico da estrutura metálica do Mini Torno CNC Didático

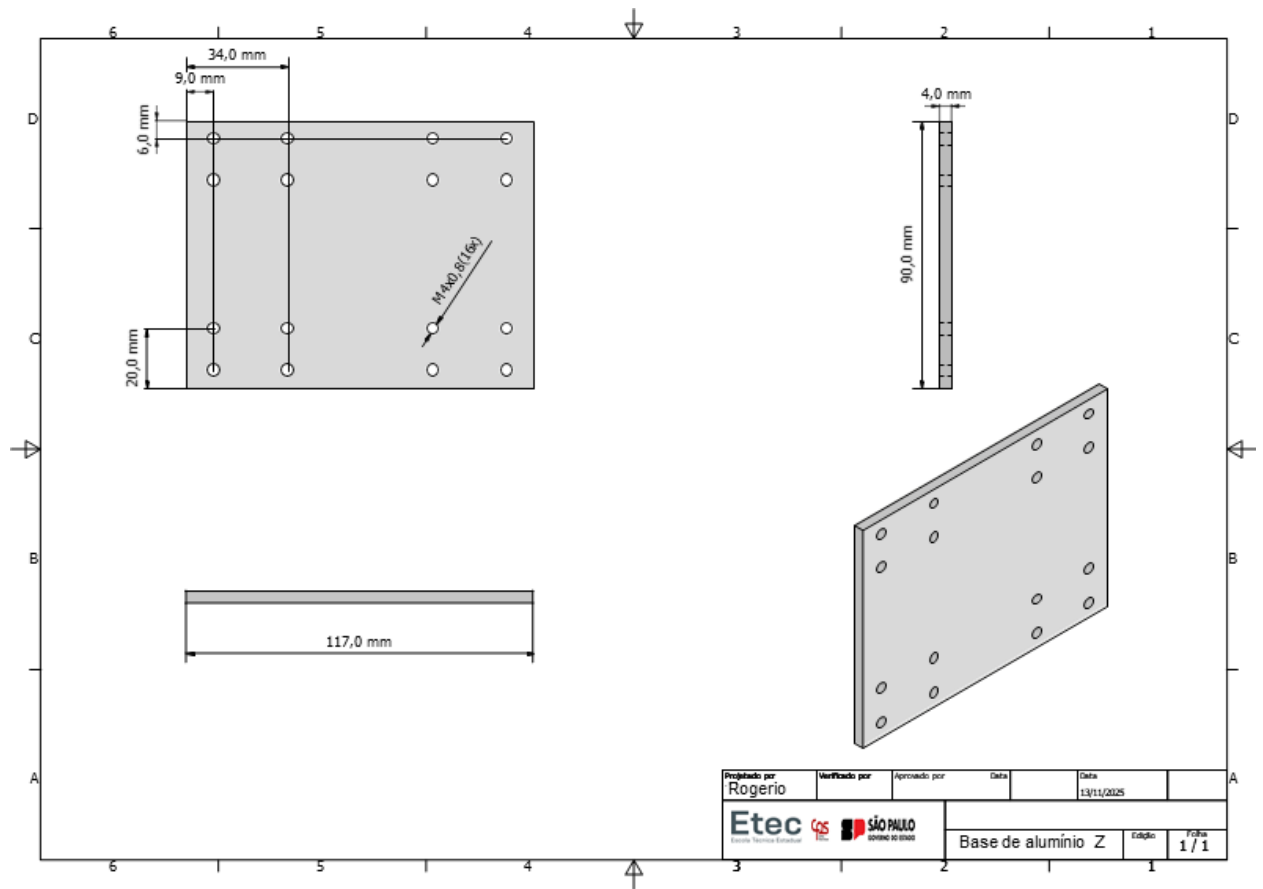
Base principal



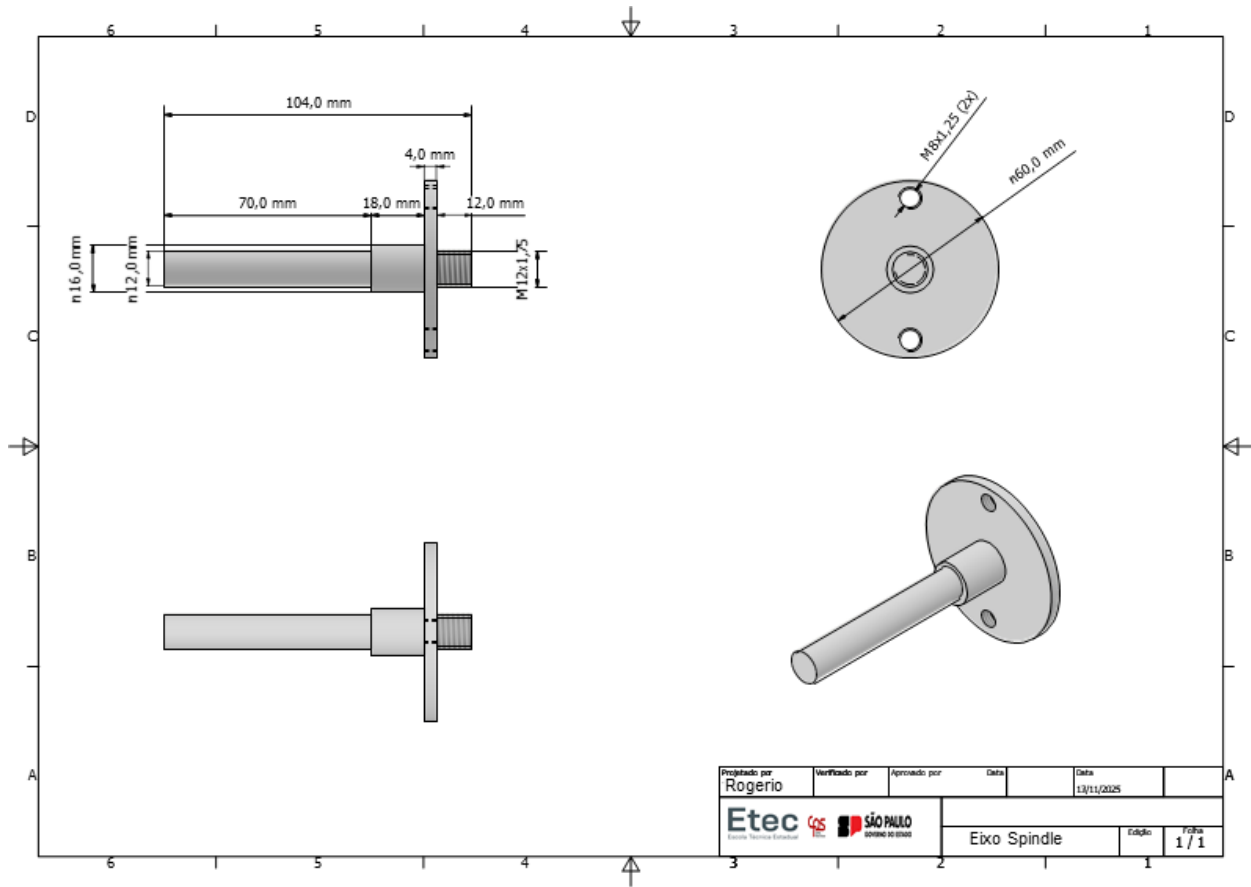
Base de alumínio – X

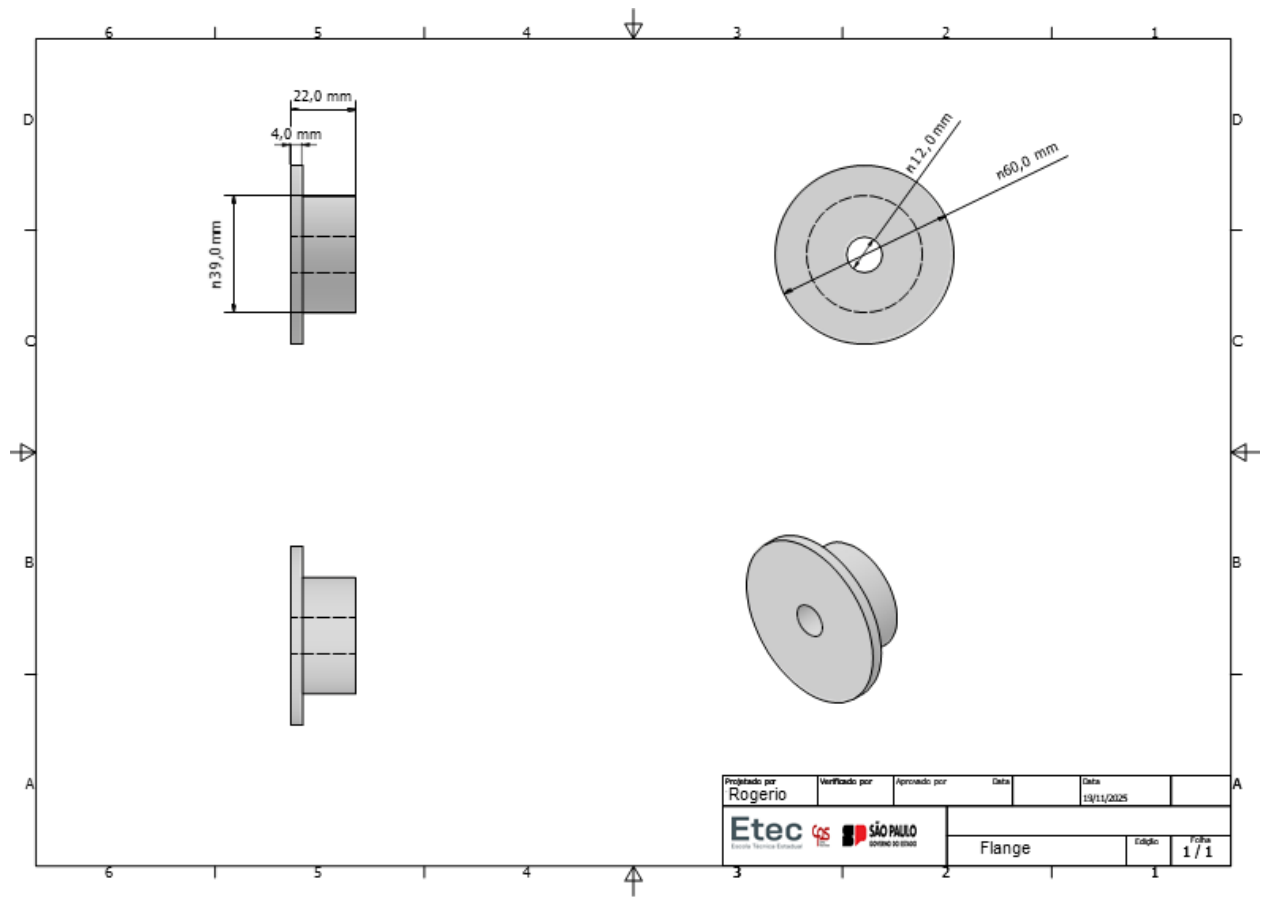


Base de Alumínio – Z

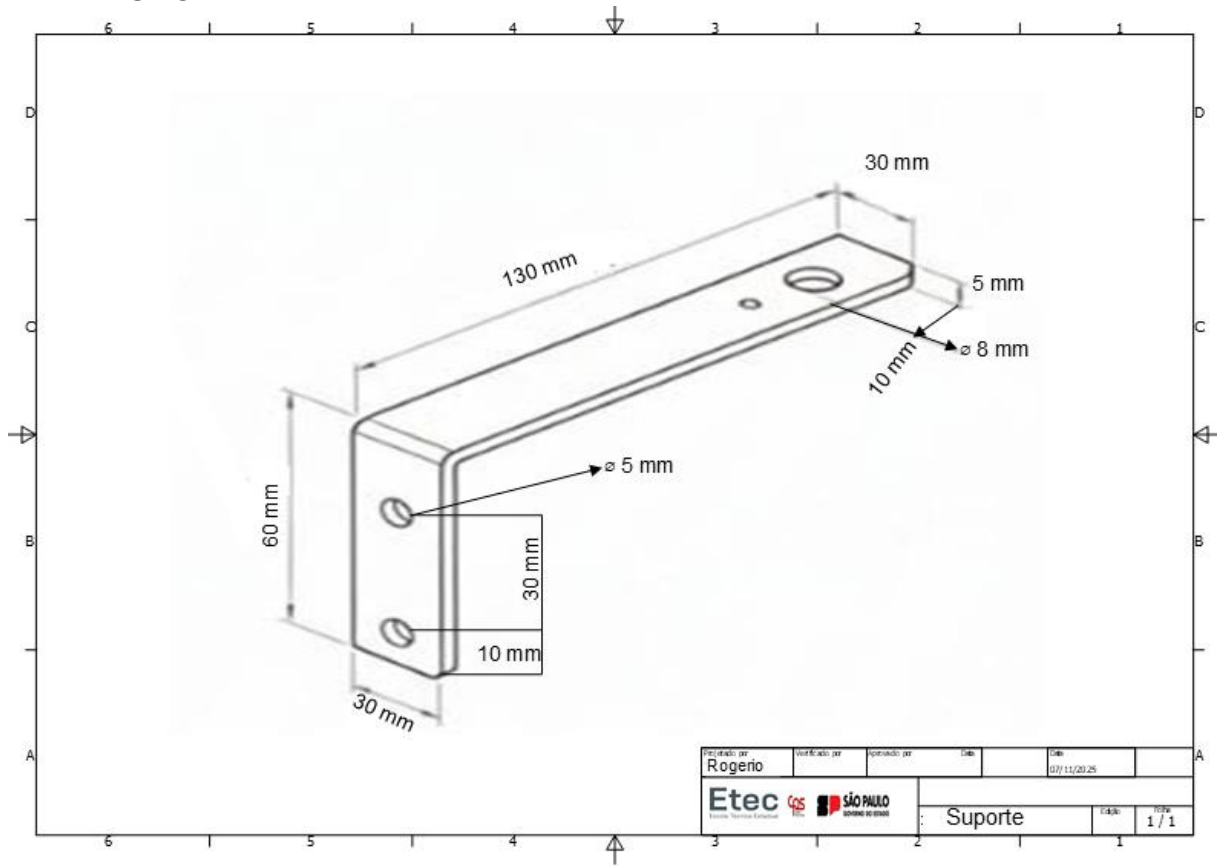


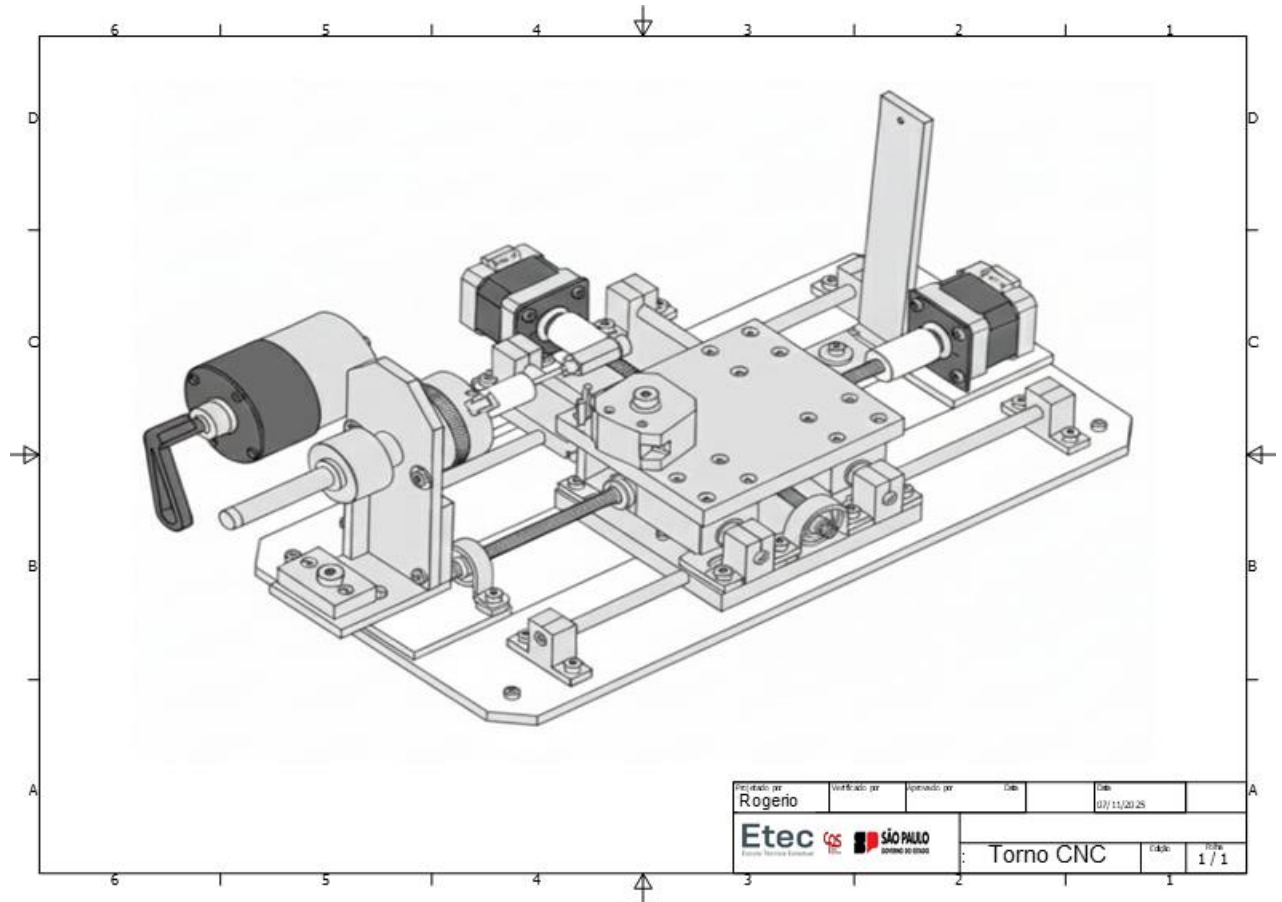
EIXO SPINDLE



FLANGE

SUPORTE



VISTA ISOMÉTRICA DO MINI TORNO CNC

Lista de Materiais do Mini Torno CNC Didático

1.Sistema Eletrônico e de Controle

Item	Descrição	Qtd.	Custo Unit. (R\$)	Custo Total (R\$)
1	Placa controladora CNC USB Mach3 – 100 kHz	1	126,00	126,00
2	Driver de potência TB6600	2	60,00	120,00
3	Motor de passo NEMA 17 – 4,2 kgf·cm	2	35,00	70,00
4	Módulo PWM – controle de rotação do spindle	1	61,00	61,00
5	Botão de emergência (E-Stop)	1	37,00	37,00
6	Fonte chaveada 12 V / 30 A (360 W)	1	60,00	60,00
7	Borne relé Finder	2	50,00	100,00
8	Motor DC 24 V – 400 W (spindle)	1	110,00	110,00
9	Conjunto de polias GT2 20/40 dentes + correia 200×6 mm	1	78,00	78,00
10	Suporte de motor de passo NEMA 17 – 90°	2	16,58	33,16

Subtotal (1): R\$ 795,16

2.Sistema Mecânico e de Movimentação

Item	Descrição	Qtd.	Custo Unit. (R\$)	Custo Total (R\$)
11	Fuso trapezoidal TR8×200 mm (passo 8 mm)	2	10,00	20,00
12	Castanha TR8 passo 8 mm – 4 entradas	2	8,00	16,00
13	Guia linear H7 Ø8×200 mm com suporte	4	10,00	40,00
14	Rolamento LM8UU – linear de 8 mm	8	8,00	64,00
15	Rolamento de esferas radial padrão 6202-2RSH	2	10,00	20,00
16	Mancal de apoio KP08	2	12,00	24,00
17	Pillow Block fechado Ø8 mm	8	26,00	208,00
18	Suporte SK8 para eixo linear Ø8 mm	2	20,00	40,00
19	Mandril autocentrante de alumínio – 3 castanhas, Ø50 mm	1	170,00	170,00

Subtotal (2): R\$ 602,00

3.Estrutura e Fixações

Item	Descrição	Qtd.	Custo Unit. (R\$)	Custo Total (R\$)
20	Barra chata metálica 3/16" × 4"	1	80,00	80,00
21	Barra chata de alumínio 1" × 3"	1	200,00	200,00
22	Caixa metálica 400×650×110 mm	1	1,00	1,00
23	Parafuso allen M3×10 mm	4	0,30	1,20
24	Parafuso allen M5×20 mm	40	0,45	18,00
25	Parafuso allen M6×20 mm	10	0,50	5,00
26	Parafuso allen M8×40 mm	1	1,00	1,00

Subtotal (3): R\$ 305,20

CUSTO TOTAL DO PROJETO: R\$ 1.702,36

Manual de Operação e Segurança do Mini Torno CNC Didático

Este manual detalha o procedimento operacional padrão e as condições de segurança essenciais para o uso do protótipo de mini torno CNC em ambiente laboratorial.

1 - Operação do Sistema

O comando do torno CNC é realizado por meio do software Mach3, que estabelece a interface lógica com a Placa Controladora CNC USB.

2 - Procedimento de Inicialização

3 - Verificação Mecânica: Inspeccione o equipamento. Certifique-se de que a peça de trabalho está firmemente fixada no mandril autocentrante e que a ferramenta está corretamente assentada no porta-ferramentas.

4 - Ligar a Eletrônica: Conecte a Fonte Chaveada à rede elétrica e, em seguida, ligue a Placa Controladora.

5 - Ligar o Computador: Inicie o computador conectado e abra o software Mach3.

6 - Referenciamento: Após a inicialização do Mach3, execute o referenciamento manual para estabelecer a posição Zero Máquina.

7 - Definição do Zero Peça: Utilize um apalpador ou o método de toque manual (com papel) para definir o ponto Zero Peça na face da peça (Eixo Z) e no seu centro (Eixo X). As coordenadas devem ser salvas e confirmadas no Mach3.

8 - Carregar Código G: Carregue o programa de usinagem (G-code) no software.

9 - Simulação: Execute o programa com a ferramenta elevada (sem contato com a peça) e em baixa velocidade de avanço.

10 - Controles Críticos e Ajustes Dinâmicos

- Controle de Velocidade: O operador deve ajustar a porcentagem da velocidade de avanço no Mach3 durante a usinagem. Recomenda-se o uso de valores baixos ao iniciar o corte para observar o comportamento do material.

- Controle de Spindle (PWM): Ajuste a rotação do motor 24v através do Mach3 para adequar a velocidade de corte ao material e à ferramenta.

- Botão de Emergência: Em qualquer situação de risco (ruído anormal, vibração excessiva ou colisão iminente), o Botão de Emergência (instalado na caixa de controle) deve ser pressionado imediatamente para interromper o

fornecimento de energia aos motores e ao Spindle.

11 - Requisitos de Segurança e Instrução

O cumprimento das normas de segurança é obrigatório em ambiente laboratorial.

- EPIs: É essencial o uso de óculos de segurança. O uso de protetor auricular é recomendado se o processo de usinagem gerar ruído excessivo.
- Peças Móveis: Mantenha mãos, cabelo e vestimentas soltas afastados de todas as partes móveis, incluindo o mandril, o eixo-árvore (Spindle) e os fusos de avanço, enquanto estiverem em movimento.
- Eletricidade: Nunca abra a Fonte Chaveada ou manipule os componentes eletrônicos (drivers TB6600 ou placa controladora) enquanto o sistema estiver energizado. Desligue sempre a fonte principal antes de realizar qualquer inspeção ou manutenção elétrica.
- Instrução: O equipamento é destinado a fins didáticos e deve ser operado exclusivamente por alunos ou técnicos que tenham recebido treinamento específico sobre a operação do Mach3 e os protocolos de segurança do mini torno.

REFERÊNCIAS

GROOVER, M. P. Automação Industrial e Sistemas de Manufatura. São Paulo: Pearson, 2010.

MACHADO, A. R.; COELHO, R. T. Teoria da Usinagem dos Materiais. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2016.

MELO, J. D. Comando Numérico Computadorizado (CNC): conceitos e aplicações. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. Tecnologia da Usinagem dos Materiais. São Paulo: Artliber, 2014

ISHIDA, T. Motores de Passo e suas Aplicações em CNC. Revista Máquinas & Metais, n. 574, 2017.

Elite EPI. Nosso Catálogo. Disponível em: <https://www.eliteepi.com.br/catalogo.php>. Acesso em: 5 set. 2025.

KALATEC. Catálogo de produtos. 2025. Disponível em: <https://www.kalatec.com.br>. Acesso em: 5 set. 2025.

ARTSOFT. Manual do software Mach3 CNC. Disponível em: <https://www.machsupport.com/>. Acesso em: 5 set. 2025.

WEG. Controls [catálogo de produtos]. Disponível em: https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Controls/c/BR_WDC_IA_CTL. Acesso em: 5 set. 2025.