

CENTRO ESTADUAL EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA

Etec PEDRO D'ARCÁDIA NETO

Técnico em Mecânica

Daniel Da Costa Junior

Eduardo Borges da Costa

Henrique Rosendo do Santos

Jeniffer dos Santos

Sadraque Macedo

CONSTRUÇÃO MÁQUINA ROUTER CNC

Assis

2025

Daniel Da Costa Junior
Eduardo Borges da Costa
Henrique Rosendo do Santos
Jeniffer dos Santos
Sadraque Macedo

CONSTRUÇÃO MÁQUINA ROUTER CNC

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso técnico em mecânica da ETEC Pedro D`arcádia Neto, orientado pelo Prof. José Domingos Torini, como requisito parcial para obtenção do título de Técnico em Mecânica.

ASSIS
2025

CONSTRUÇÃO MÁQUINA ROUTER CNC

Daniel Da Costa Junior

Eduardo Borges da Costa

Henrique Rosendo do Santos

Jeniffer dos Santos

Sadraque Macedo

BANCA EXAMINADORA

José Domingos Torini – Engenheiro de Produção, Professor Orientador.

Geraldo Batista Serra – Tecnólogo em Gestão da Produção, Professor Orientador.

Márcio Alessandro Araújo – Engenheiro de Produção, Professor Orientador.

Adalberto Farias Amaro – Engenheiro de Produção Mecânica, Professor Orientador.

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho a nossos familiares e amigos pelo apoio recebido durante a elaboração deste trabalho.

AGRADECIMENTO

Aos nossos **familiares**, que foram nossa base inabalável durante todo esse percurso, agradecemos pelo apoio incondicional, pelas noites perdidas e pela paciência infinita. Vocês são os verdadeiros motores por trás dessa conquista.

Ao **Coordenador Geraldo Batista Serra**, nosso profundo reconhecimento por sua orientação prática e essencial na construção da Máquina *Router* CNC. Desde os cortes precisos até as soldas meticulosas, sua expertise em processos de fabricação e na correta utilização de EPIs foi fundamental para transformar projetos em realidade.

Ao **Professor José Domingos Torini**, nosso eterno agradecimento por ser o guia incansável na construção deste **TCC**. Sua orientação nos desenhos técnicos, técnicas de escrita e estruturação do trabalho foram decisivas. Cada revisão, cada ajuste e cada conselho refletiram seu comprometimento em nos ver crescer como profissionais e como pessoas.

Ao **Professor Adalberto Farias Amaro**, nosso sincero obrigado por todo o suporte nos **processos de soldagem** e pelo compartilhamento de ideias inovadoras. Sua disponibilidade para tirar dúvidas e sua paixão pelo ensino nos inspiraram a buscar sempre o melhor resultado.

Ao **Professor Márcio Alessandro Araújo**, nossa gratidão por suas **aulas fundamentais**, que foram a espinha dorsal deste projeto. Desde **Resistência dos Materiais** até **G-Code para CNC**, passando por **Ensaio Tecnológicos**, seu conhecimento técnico e didática excepcional foram essenciais para a construção da máquina e para nossa formação como técnicos.

Ao **Professor Paulo Roberto Longhi**, nosso agradecimento especial pelas aulas de **Desenho Técnico Mecânico**, que foram a base para a concepção deste projeto. Sua expertise em mecânica e sua disposição para ajudar em cada detalhe fizeram toda a diferença na precisão e funcionalidade da máquina.

Ao **Luiz Castanharo**, nosso reconhecimento por todo o **apoio técnico** nos momentos de dúvida sobre os componentes da CNC. Sua experiência prática nos salvou em diversas situações e enriqueceu nosso aprendizado.

Aos **nossos amigos** do curso, que estiveram ao nosso lado nos momentos de necessidade, compartilhando conhecimentos, ferramentas e, principalmente, incentivo. Vocês provaram que a colaboração é a chave para o sucesso.

À **ETEC Pedro D'Arcádia Neto**, nossa gratidão por proporcionar a estrutura e o ambiente que tornaram este projeto possível. Cada laboratório, cada ferramenta e cada orientação foram peças essenciais nessa jornada.

“Engenharia é a arte de fazer com que o impossível pareça inevitável.”

Roger

Bacon

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento completo de uma Máquina *Router* CNC, abordando desde o projeto mecânico até a implementação dos sistemas elétrico e de controle. A máquina foi construída utilizando perfis de Metalon 40×40mm, guias lineares HGR20 e motores NEMA 34, com sistema de transmissão por cremalheira (eixos X/Y) e fuso de esferas SFU1605 (eixo Z). O sistema de controle emprega a placa BL-USBMach3 com software Mach3, permitindo operação precisa com resolução de 0,1mm. Foram implementados requisitos de segurança conforme NR-12, incluindo proteções mecânicas, botões de emergência e sinalização visual/luminosa. A máquina demonstrou capacidade para usinagem em madeira, MDF e alumínio, com aplicação prática na produção de tábuas de carne personalizadas para a comunidade escolar. O projeto comprovou a viabilidade técnica de construção de equipamentos CNC educacionais com componentes acessíveis, integrando conhecimentos multidisciplinares de mecânica, eletrônica e controle numérico.

Palavras-chaves: CNC, Router, Máquina-ferramenta, Controle numérico, NR-12.

ABSTRACT

This paper presents the complete development of an CNC Router Machine, covering from mechanical design to implementation of electrical and control systems. The machine was built using 40×40mm Metalon profiles, HGR20 linear guides and NEMA 34 stepper motors, with rack and pinion transmission (X/Y axes) and SFU1605 ball screw (Z axis). The control system uses BL-USBMach3 board with Mach3 software, allowing precise operation with 0.1mm resolution. Safety requirements have been implemented in accordance with NR-12 , including mechanical protections, emergency buttons and visual/light signaling. The machine demonstrated capability for machining wood, MDF and aluminum, with practical application in producing customized cutting boards for the school community. The project proved the technical feasibility of building educational CNC equipment with accessible components, integrating multidisciplinary knowledge of mechanics, electronics and numerical control.

Keywords: CNC, Router, Machine tool, Numerical control, NR-12.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 1: Serra de fita utilizada.	19
Ilustração 2: Esmerilhadeira utilizada.	20
Ilustração 3: Furadeira de bancada utilizada.	20
Ilustração 4: Solda MIG utilizada.	21
Ilustração 5: Torno mecânico utilizado.	22
Ilustração 6: Esquadro magnético utilizado.	23
Ilustração 7: Riscador utilizado.	24
Ilustração 8: Vira macho + jogos de machos M5.	24
Ilustração 9: Passo-a-Passo do motor de passo.	26
Ilustração 10: Tela software Inventor da Autodesk.	36
Ilustração 11: Visão explodida mesa CNC.	36
Ilustração 12: Visão explodida pórtico.	37
Ilustração 13: Visão explodida eixo X e estrutura eixo Z.	38
Ilustração 14: Visão explodida suporte monitor e teclado.	40
Ilustração 15: Montagem 3D mesa CNC.	40
Ilustração 16: Montagem 3D pórtico.	41
Ilustração 17: Montagem 3D estrutura eixos X e Z.	41
Ilustração 18: Montagem 3D suporte monitor e teclado.	42
Ilustração 19: Montagem 3D máquina CNC visão lateral frontal.	43
Ilustração 20: Montagem 3D máquina CNC visão lateral traseira.	43
Ilustração 21: Corte metalon serra Vai e Vem.	44
Ilustração 22: Marcação para corte utilizando o esquadro.	45
Ilustração 23: Corte de metal utilizando a esmerilhadeira.	45
Ilustração 24: Soldagem de metalon com apoio de esquadros.	46
Ilustração 25: Mesa CNC parcialmente soldada.	46

Ilustração 26: Pé nivelador.	47
Ilustração 27: Guia linear HGR20.	48
Ilustração 28: Patins HGH20CA.	49
Ilustração 29: Fixação da guias lineares Y utilizando gabarito.	53
Ilustração 30: Fixação da guias lineares X utilizando gabarito.	54
Ilustração 31: Patins do eixo Y.	55
Ilustração 32: Patins do eixo X suportando a estrutura do eixo Z.	55
Ilustração 33: Base de fixação do motor no mecanismo.	57
Ilustração 34: Redutor planetário no mecanismo.	58
Ilustração 35: Montagem do mecanismo do eixo Z.	60
Ilustração 36: Componentes fuso esferas eixo Z.	61
Ilustração 37: Medidas fuso esfera eixo Z.	62
Ilustração 38: Pintura da mesa da CNC.	63
Ilustração 39: Pintura das partes moveis da CNC.	64
Ilustração 40: Esquema elétrico máquina router CNC.	64
Ilustração 41: Quadro de comando.	66
Ilustração 42: Painel elétrico da CNC.	67
Ilustração 43: Disposição dos <i>drivers</i> DM860H.	68
Ilustração 44: Fontes de alimentação CC máquina CNC.	70
Ilustração 45: Preparação dos furos dos conectores.	71
Ilustração 46: Quadro de comando com os conectores instalados.	72
Ilustração 47: Chaves e sinalização do quadro de comando.	73
Ilustração 48: Ventiladores com filtro do quadro de comando.	75
Ilustração 49: Placa controladora BL-USBMach3 V3.25.	81
Ilustração 50: Menu de seleção da configuração Port and Pins.	82
Ilustração 51: Guia <i>Setup</i> da placa controladora.	82

Ilustração 52: Guia Setup dos motores.....	83
Ilustração 53: Guia Setup dos sensores.	83
Ilustração 54: Guia Setup da sonda Z-Probe ebotão de emergência.	84
Ilustração 55: Guia Setup das saídas.	84
Ilustração 56: Guia Setup do spindle.	85
Ilustração 57: Menu de seleção Motor <i>Tuning</i>.....	86
Ilustração 58: Guia Setup do eixo Y.....	86
Ilustração 59: Guia Setup do eixo X.	87
Ilustração 60: Guia Setup do eixo Z.....	87
Ilustração 61: Menu de seleção <i>Set Unit</i>.	88
Ilustração 62: Setup de unidades de medida para o Mach3.	88
Ilustração 63: Menu de seleção <i>Spindle Pulleys</i>.	89
Ilustração 64: Setup do <i>Spindle Pulley</i>.....	89
Ilustração 65: Sonda Z-Probe.....	90
Ilustração 66: Vista em perspectiva máquina finalizada.....	97
Ilustração 67: Vista frontal máquina finalizada.....	97
Ilustração 68: Tabuas de carne produzidas na CNC.	98
Ilustração 69: Alunos e professores com tábuas fabricadas na CNC.	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Especificações do sistema eixo Y.....	27
Tabela 2: Especificações do sistema eixo X.	29
Tabela 3: Especificações do sistema eixo Z	31
Tabela 4: Especificações técnicas <i>spindle</i>	33
Tabela 5: Esquema de Cores Maquina <i>Router</i> CNC	63
Tabela 6: Especificações quadro de comando.	65
Tabela 7: Especificação <i>driver</i> DM860H	68
Tabela 8: Especificação inversor YL620-A.....	69
Tabela 9: Componentes utilizados para ventilação do quadro de comando.	74
Tabela 10: Componentes eletrônicos IHM.....	78
Tabela 11: Especificações Peças Produzidas	95
Tabela 12: Custos de Materiais para Construção da CNC.....	99

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa.....	14
1.2	Objetivos	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	História das Máquinas CNC.....	16
2.1.1	Origem.....	16
2.1.2	Tipos de Máquinas CNC	16
2.1.3	Aplicações	17
2.2	Ferramentas Utilizadas	18
2.2.1	Serra Elétrica	18
2.2.2	Esmerilhadeira.....	19
2.2.3	Furadeira de Bancada	20
2.2.4	Solda MIG	21
2.2.5	Torno Mecânico	21
2.2.6	Esquadro.....	22
2.2.7	Riscador Simples Serralheiro.....	23
2.2.8	Jogo de Macho Para Abrir Roscas.....	24
3	METODOLOGIA	25
3.1	Acionamento Mecânico.....	25
3.1.1	Introdução aos Motores de Passo	25
3.1.2	Dimensionamento Motor Eixo Y.....	26
3.1.3	Dimensionamento Motor Eixo X	28
3.1.4	Dimensionamento Motor Eixo Z.....	30
3.1.5	Dimensionamento <i>Spindle</i>	32

3.2	Desenvolvimento do Modelo 3D.....	35
3.2.1	Software Autodesk Inventor	35
3.2.2	Desenho Peças da Mesa CNC	36
3.2.3	Desenho Peças do Pórtico	37
3.2.4	Desenho Estrutura Eixo X e Z	37
3.2.5	Desenho Suporte Monitor e Teclado.....	38
3.2.6	Montagem 3D Mesa CNC	40
3.2.7	Montagem 3D Pórtico.....	41
3.2.8	Montagem 3D Estrutura Eixo X e Z.....	41
3.2.9	Montagem 3D Suporte Monitor e Teclado	42
3.2.10	Montagem 3D Máquina CNC.....	42
4	DESENVOLVIMENTO	44
4.1	Montagem Mecânica Mesa de Suporte	44
4.1.1	Corte das Barras de Metalon Utilizando Serra Vai e Vem	44
4.1.2	Acabamento das Barras de Metalon Utilizando Esmerilhadeira.....	45
4.1.3	Soldagem Barras de Metalon	46
4.1.4	Fixação de Pés Niveladores de Borracha	47
4.2	Montagem dos Eixo X e Y	48
4.2.1	Soldagem da Barra de Ferro Chato Suporte das Guias.....	50
4.2.2	Soldagem da Cantoneira de Suporte das Cremalheiras	52
4.2.3	Fixação das Guias Lineares	53
4.2.4	Fixação dos Patins	55
4.2.5	Fixação do Pórtico do Eixo Y	57
4.2.6	Fixação dos Motores de Passo	57
4.2.7	Fixação das Cremalheiras	60
4.3	Montagem do Eixo Z.....	61

4.4	Pintura da Estrutura	63
4.5	Sistema Eletrônico	65
4.5.1	Quadro De Comando.....	66
4.5.2	Circuitos CC e CA.....	67
4.5.3	<i>Driver</i> Motores de Passo	68
4.5.4	Inversor de Frequência	70
4.5.5	Fonte de Corrente Contínua	70
4.5.6	Conexões Eléctricas	71
4.5.7	Chaves e Sinalização	73
4.5.8	Sistema de Ventilação Forçada.....	75
4.6	Sistema de Controle da Máquina Router CNC	76
4.6.1	Mini PC	77
4.6.2	Interface Homen Máquina (IHM)	77
4.6.2.1	Estrutura Física da IHM.....	78
4.6.2.2	Componentes Eletrônicos	79
4.6.2.3	Sistema de Sinalização	79
4.6.2.4	Conexões Eléctricas	80
4.6.3	Sistema Windows e Linux	80
4.6.4	Placa BL-USBMach V3.25.....	81
4.6.5	Software Mack 3	82
4.6.5.1	Configuração Port and Pins	82
4.6.5.1.1	Configuração da Placa Controladora	83
4.6.5.1.2	Configuração dos Motores	84
4.6.5.1.3	Configuração dos Sensores (Fim de Curso e Home)	84
4.6.5.1.4	Configuração da Sonda Z-Probe e Botão de Emergência	85

4.6.5.1.5	Configuração das Saídas (Torre LED e <i>Spindle</i>).....	85
4.6.5.1.6	Configuração do <i>Spindle</i>	86
4.6.5.2	Configuração Motor <i>Tuning</i>	86
4.6.5.2.1	Configuração do Eixo Y.....	87
4.6.5.2.2	Configuração do Eixo X.....	88
4.6.5.2.3	Configuração do Eixo Z.....	88
4.6.5.3	Configuração <i>Set Unit</i>	89
4.6.5.3.1	Configuração de Unidades.....	90
4.6.5.4	Configuração <i>Spindle Pulleys</i>	90
4.6.5.4.1	Configuração das Faixas de RPM.....	90
4.6.6	Sonda <i>Z-Probe</i>	91
5	NORMAS REGULAMENTADORAS	93
5.1	NR-12 - Segurança em Máquinas e Equipamentos.....	93
5.2	NR-6 - Equipamentos de Proteção Individual (EPIs)	93
5.3	Normas Técnicas de Usinagem.....	93
5.4	Sinalização de Segurança (NR-26 e NBR 7195)	94
5.5	Requisitos Complementares	94
6	RESULTADOS OBTIDOS	95
6.1	Produção de Tábuas de Carne Personalizadas	95
6.2	Especificações das Peças Produzidas	96
6.3	Análise de Qualidade	97
6.4	Dificuldades e Soluções Implementadas	97
6.5	Galeria de Imagens.....	98
6.6	Conclusão Operacional.....	99
6.7	Tabela de Custos de Materiais.....	100
7	CONCLUSÃO	104

8	REFERÊNCIAS	105
9	APÊNDICE - PROJETO MECÂNICO.....	107

1 INTRODUÇÃO

O surgimento das máquinas Controle Numérico Computadorizado (CNC) na década de 1950 representou um marco na evolução da manufatura, substituindo os métodos tradicionais de produção baseados em controle manual e mecânico. Com a capacidade de realizar cortes e modelagens complexas com alta precisão e repetibilidade, as máquinas CNC transformaram a indústria, permitindo a produção em massa de peças com uma eficiência antes inimaginável. Este avanço tecnológico não apenas aumentou a capacidade produtiva, mas também trouxe uma nova era de personalização e flexibilidade na fabricação.

A revolução das CNCs teve um impacto profundo na maneira como produtos são fabricados, democratizando o acesso a processos de produção de alta precisão. Hoje, a acessibilidade a componentes e materiais para a construção de máquinas CNC, como os *Routers*, é significativamente facilitada. O mercado oferece uma ampla gama de peças e kits, tornando possível para pequenos empreendedores e entusiastas da mecânica montar suas próprias máquinas. Isso possibilita uma variedade de aplicações, desde a criação de protótipos personalizados até a oferta de serviços de usinagem e produção sob demanda.

Este trabalho técnico foca no desenvolvimento de uma Máquina *Router* CNC, explorando tanto o contexto histórico e a evolução das máquinas CNC quanto as oportunidades atuais proporcionadas pela acessibilidade aos componentes e materiais. A análise abordará como a fabricação artesanal de máquinas CNC pode gerar novas oportunidades de renda e negócios, evidenciando a importância dessa tecnologia na atualidade e seu impacto potencial para profissionais e empreendedores da área de mecânica industrial.

1.1 Justificativa

A construção de uma Máquina *Router* CNC como projeto de TCC é extremamente justificada pela oportunidade que oferece para o desenvolvimento técnico em mecânica, um fator essencial na formação dos alunos. Criar uma máquina CNC demanda um aprofundamento técnico em conceitos fundamentais da área, como cinemática, resistência dos materiais, montagem de estruturas mecânicas e especificação de componentes de transmissão de movimento, como fusos de esferas, cremalheiras, engrenagens e guias lineares. Esses elementos são centrais para o funcionamento preciso e eficiente da máquina e exigem que os alunos apliquem de maneira prática os conhecimentos adquiridos ao longo do curso. Ao enfrentar os desafios de montagem e ajustes da estrutura mecânica da CNC, o grupo desenvolverá habilidades em análise técnica, ajustes finos e calibração, tornando-se apto para entender e solucionar problemas mecânicos complexos, habilidades essas que são altamente valorizadas no setor industrial.

Outro aspecto relevante é que a construção de uma Máquina *Router* CNC permite que os alunos explorem o custo técnico relacionado à qualidade dos componentes mecânicos, algo que é essencial para a longevidade e precisão da máquina. Por exemplo, ao dimensionar os componentes e selecionar materiais apropriados, o grupo precisa balancear qualidade e custo, um exercício que reflete os desafios reais de engenharia na indústria, onde o controle de custos e a eficiência dos recursos são cruciais. Este projeto oferece uma visão prática dos custos associados a componentes mecânicos de alta precisão e durabilidade, permitindo que os alunos compreendam a relação entre desempenho e investimento, e capacitando-os a tomar decisões técnicas fundamentadas em critérios de custo-benefício. Esse conhecimento não só agrega valor ao aprendizado acadêmico, mas também prepara o grupo para uma atuação competente e qualificada em ambientes industriais, onde é essencial unir técnica e economia em cada etapa de um projeto.

1.2 Objetivos

Objetivo Geral

O principal objetivo deste trabalho é o desenvolvimento do zero de uma Máquina *Router* CNC, aplicando e consolidando os conhecimentos adquiridos ao longo do curso técnico em mecânica. Para isso, o projeto envolve o estudo detalhado do processo de desenho técnico das partes mecânicas, essencial para a criação de componentes precisos e funcionais. Além disso, busca-se o correto dimensionamento dos componentes mecânicos, elétricos e eletrônicos, garantindo a integração e o funcionamento eficiente da máquina.

O projeto também tem como meta a prática dos conhecimentos nas áreas de corte, solda e usinagem, habilidades fundamentais para a construção e montagem das estruturas mecânicas. Por fim, objetiva-se entender e configurar a programação de uma CNC, proporcionando ao grupo uma experiência completa em automação e controle, etapas indispensáveis para operar e customizar uma Máquina *Router* CNC com eficácia.

Objetivos Específicos

- Elaboração de desenho técnico para as partes mecânicas da máquina CNC.
- Definição dos componentes mecânicos, elétricos e eletrônicos.
- Elaboração de esquema elétrico da máquina CNC.
- Demonstrar o resultado do trabalho com a utilização dos conhecimentos adquiridos no curso nas áreas de corte, solda e usinagem.
- Demonstrar como configurar e programar uma máquina CNC.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 História das Máquinas CNC

As máquinas CNC transformaram profundamente os processos de fabricação industrial ao permitir maior precisão, repetibilidade e automação. Com a evolução da tecnologia, essas máquinas se tornaram essenciais para setores que demandam qualidade e produtividade. Nesta seção, são apresentados os principais marcos históricos, tipos existentes e as aplicações mais relevantes das máquinas CNC.

2.1.1 Origem

O surgimento das máquinas CNC está ligado ao desenvolvimento do Controle Numérico (CN) nos anos 1940, nos Estados Unidos. O projeto pioneiro foi liderado por John T. Parsons, em colaboração com o Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), para atender às necessidades da indústria aeronáutica, que exigia peças complexas e com alta precisão.

Em 1952, foi desenvolvido o primeiro protótipo funcional de uma fresadora controlada por fitas perfuradas, marcando o início da automação com controle numérico (GROOVER, 2012). Esse equipamento permitia programar movimentos com precisão, o que eliminava grande parte da intervenção manual.

Com o avanço da tecnologia de computadores nas décadas de 1960 e 1970, surgiu o Controle Numérico Computadorizado (CNC), substituindo as fitas perfuradas por sistemas de programação digital, o que aumentou a flexibilidade e eficiência dos processos produtivos (KALPAKJIAN; SCHMID, 2010).

2.1.2 Tipos de Máquinas CNC

As máquinas CNC são classificadas de acordo com suas funções operacionais e com os tipos de processos que realizam. A seguir, destacam-se os principais tipos utilizados na indústria:

- **Torno CNC:** Realiza operações de torneamento em peças cilíndricas. É utilizado para desbaste, acabamento, rosqueamento, entre outros.
- **Fresadora CNC:** Capaz de executar operações como usinagem de cavidades, planos e perfurações em peças prismáticas.
- **Centro de Usinagem CNC:** Integra diversas operações (fresamento, furação, rosqueamento) em uma única máquina, com troca automática de ferramentas.
- **Máquina de Corte a Laser CNC:** Utiliza feixes de laser para cortar materiais com alta precisão e velocidade, comum em chapas metálicas e plásticos.
- **Máquina de Corte por Jato d'Água CNC:** Realiza cortes a frio utilizando água em alta pressão com abrasivo, indicada para materiais sensíveis ao calor.
- **Eletroerosão CNC (EDM):** Usada para usinar materiais extremamente duros por meio de descargas elétricas.

Cada tipo de máquina atende a requisitos específicos de produção e possui características voltadas para diferentes geometrias e tipos de materiais (MEYER, 2011).

2.1.3 Aplicações

As máquinas CNC têm aplicação em praticamente todos os setores da indústria moderna, devido à sua versatilidade, precisão e produtividade. As principais áreas de aplicação incluem:

- **Indústria Automotiva:** Produção de componentes como eixos, pistões, blocos de motor e engrenagens, com alta padronização.

- **Indústria Aeroespacial:** Fabricação de peças estruturais e componentes com geometrias complexas e tolerâncias rigorosas.
- **Indústria Metalúrgica e Mecânica:** Usinagem de peças seriadas, ferramentas, moldes e matrizes.
- **Indústria Médica:** Produção de próteses, implantes e instrumentos cirúrgicos com precisão milimétrica.
- **Setor Naval e de Energia:** Fabricação de turbinas, hélices e peças de grandes dimensões com controle dimensional preciso.
- **Indústria Eletrônica e de Comunicação:** Fabricação de peças pequenas com geometria complexa e acabamento detalhado.

A adoção das máquinas CNC contribui diretamente para os princípios da Indústria 4.0, permitindo integração com sistemas de produção inteligentes, monitoramento remoto, e redução de desperdícios (OLIVEIRA, 2013).

2.2 Ferramentas Utilizadas

Este tópico terá como objeto apresentar as ferramentas utilizadas no processo de fabricação da Máquina CNC, todas as ferramentas apresentadas foram ferramentas que se encontravam disponíveis na oficina da instituição ETEC de Assis, e todas foram apresentadas no decorrer do curso com a devida supervisão e treinamento dos professores do curso Técnico em Mecânica.

2.2.1.1 Serra Elétrica

A história da serra de fita iniciou-se nas primeiras serras de bancada, mais precisamente na serra circular, criada em 1777 pelo inglês Samuel Muller. A ferramenta popularizou-se como uso para cortar madeira. Na época, não utilizava eletricidade e tampouco era portátil.

Como funciona: funciona com uma lâmina que se desloca horizontalmente, enquanto a peça permanece fixa. Este tipo de serra é ideal para cortar peças grandes, como tubos, vigas e perfis metálicos.

Ilustração 1: Serra de fita utilizada.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

Esta ferramenta foi utilizada para os cortes brutos das barras de metalon para a estrutura da máquina, pois devido ao comprimento da barra foi a melhor escolha para os cortes devido à facilidade de uso e segurança para o corte das barras de ferro.

2.2.1.2 Esmerilhadeira

A esmerilhadeira, também conhecida como rebarbadeira, é uma ferramenta rotativa utilizada para desbaste, acabamento e remoção de rebarbas em peças metálicas. Pode ser equipada com discos de corte ou de desbaste, sendo fundamental para ajustes e preparação de superfícies antes de soldagens ou montagens.

No projeto a esmerilhadeira foi de extrema importância nos cortes onde envolviam precisão nos cortes e nos acabamentos das soldagens, foi amplamente utilizada para os cortes finais das barras de metalon que foram cortadas pela serra vai e vem.

Ilustração 2: Esmerilhadeira utilizada.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

2.2.1.3 Furadeira de Bancada

A furadeira de bancada é um equipamento fixo utilizado para realizar furos precisos em metais e outros materiais. Diferente das furadeiras manuais, ela oferece maior estabilidade e controle, permitindo furos com diâmetros variados e profundidades exatas.

Durante o projeto a furadeira de bancada foi amplamente utilizada para a furação precisa das chapas de ferro chato que foram utilizados na base das guias lineares tanto quando na furação das cremalheiras, além de diversos furos onde a precisão era requerida.

Ilustração 3: Furadeira de bancada utilizada.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

2.2.1.4 Solda MIG

A solda MIG (Metal Inert Gas) é um processo de soldagem a arco elétrico que utiliza um arame alimentado continuamente como eletrodo e um gás de proteção (geralmente CO₂ ou misturas de argônio). É amplamente utilizado na indústria devido à sua alta produtividade e qualidade de solda, sendo ideal para chapas metálicas e estruturas de médio a grande porte.

Todas as soldas feitas no processo de construção da CNC foram utilizando a Solda MIG, devido a rapidez, qualidade e facilidade de uso ela foi a escolha para o projeto.

Ilustração 4: Solda MIG utilizada.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

2.2.1.5 Torno Mecânico

O torno mecânico é uma máquina-ferramenta utilizada para usinar peças cilíndricas, realizando operações como torneamento, rosqueamento, furação e acabamento. Permite a fabricação de eixos, roscas e peças com alta precisão

dimensional. É um equipamento fundamental em oficinas mecânicas e indústrias de usinagem.

Apesar de ter sido pouco utilizado no projeto, o torno foi fundamental na produção das buchas de bronze utilizadas na base dos motores de passo, no mecanismo que mantém a tensão entre a engrenagem e a cremalheira.

Ilustração 5: Torno mecânico utilizado.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

2.2.1.6 Esquadro

O esquadro é uma ferramenta de medição e marcação utilizada para verificar e traçar ângulos, ângulos principais como 30°, 45°, 60°, 90°. Pode ser de aço ou plástico, sendo essencial para garantir o alinhamento correto de peças antes de cortes, soldagens ou montagens.

Quando se trata de máquinas de precisão como a CNC o esquadro é uma das ferramentas indispensáveis em seu processo de construção, montar as peças em seu correto ângulo, realizar as corretas marcações para furos, fixações, dentre outros usos o esquadro é um item obrigatório onde a precisão e qualidade são base do projeto.

Texto 1: Esquadro metálico utilizado.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

Ilustração 6: Esquadro magnético utilizado.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

2.2.1.7 Riscador Simples Serralheiro

O riscador simples é uma ferramenta manual utilizada para marcar linhas de corte ou furação em metais. Possui uma ponta dura (geralmente de metal

duro) que risca o material, servindo como guia para processos posteriores. É fundamental para trabalhos de precisão em serralheria e mecânica.

Ilustração 7: Riscador utilizado.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

2.2.1.8 Jogo de Macho Para Abrir Roscas

O jogo de machos é utilizado para abrir roscas internas em furos previamente feitos. Consiste em um conjunto de machos (geralmente inicial, intermediário e acabamento) que são girados manualmente ou com auxílio de uma porta-machos. Essencial para a fabricação de peças rosqueadas, como

Ilustração 8: Vira macho + jogos de machos M5.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

parafusos e porcas.

3 METODOLOGIA

3.1 Acionamento Mecânico

O sistema de acionamento mecânico da máquina CNC foi cuidadosamente projetado para atender aos requisitos de precisão, torque e velocidade de cada eixo. Este capítulo detalha os componentes e critérios de seleção dos elementos motrizes do equipamento.

3.1.1 Introdução aos Motores de Passo

Os motores de passo constituem o sistema de acionamento primário em máquinas CNC, convertendo pulsos elétricos em movimento angular preciso. Seu princípio de funcionamento baseia-se na comutação sequencial de enrolamentos estatóricos que geram campos magnéticos discretos, atraindo o rotor magnético permanentemente em incrementos angulares definidos (p.ex., 1.8° por passo para motores padrão) (Acarnley, 2002).

Aplicação em Máquinas CNC:

- Controle de Posição: Cada pulso corresponde a um deslocamento angular fixo, permitindo posicionamento aberto sem necessidade de realimentação
- Precisão: Resolução determinada pela combinação motor-redutor (ex.: 200 passos/volta × redução 4:1 = 800 passos/volta no eixo)
- Torque: Capacidade de manter posição sob carga estática (85 kgf/cm no projeto)

Vantagens para CNC:

- Simplicidade de controle (*driver* de pulsos/direção)
- Excelente relação custo-benefício para precisão média ($\leq 0.1\text{mm}$)

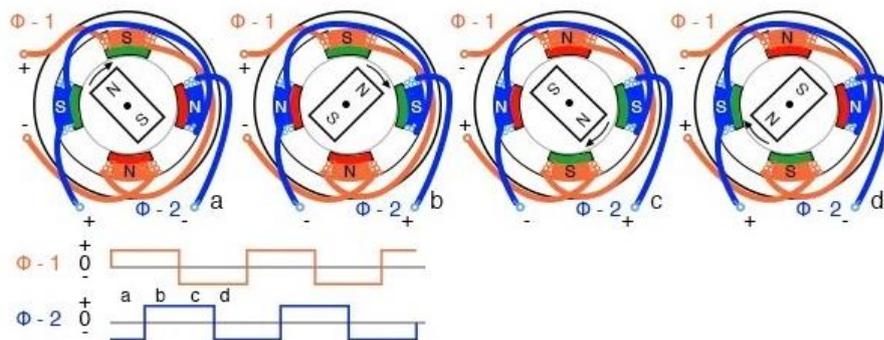
- Ausência de *brushes* (baixa manutenção)

Limitações:

- Perda de sincronismo em sobrecarga
- Aquecimento em operação contínua
- Necessidade de dimensionamento adequado

Ilustração com sequência (4 quadros) demonstrando como a comutação elétrica gera movimento angular de 1.8° por passo (200 passos/volta completa).

Ilustração 9: Passo-a-Passo do motor de passo.



Full step, bipolar drive

Fonte: All About Circuits, 2025

3.1.2 Dimensionamento Motor Eixo Y

O dimensionamento dos motores do eixo Y foi realizado para garantir movimento preciso e torque suficiente para deslocar a estrutura do pórtico da máquina CNC, considerando inércia, atrito e forças dinâmicas. O sistema utiliza dois motores NEMA 34 (85 kgf/cm), cada um acoplado a um redutor planetário 4:1 e um conjunto pinhão-cremalheira helicoidal módulo 1.5.

Tabela 1: Especificações do sistema eixo Y.

Componente	Especificação
Motor de Passo	NEMA 34 (85 kgf/cm)
Redutor Planetário	Razão 4:1 (96% de eficiência)
Engrenagem	20 dentes, módulo 1.5, helicoidal
Cremalheira	2000mm Módulo 1.5, helicoidal
Número de Motores no Eixo Y	2 (sincronizados)

Fonte: (Do próprio autor, 2025).

Capacidade do Mecanismo

1. Torque na Cremalheira por Motor:

$$T_{\text{cremalheira}} = \frac{T_{\text{motor}} \times \text{Redução} \times \eta}{100} = \frac{85 \times 4 \times 0.96}{100} = 3,26 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

2. Força Tangencial Máxima por Motor:

$$F_t = \frac{T_{\text{cremalheira}}}{\text{Raio}_{\text{pinhão}}} = \frac{3,26}{0,015} = 217,3 \text{ kgf}$$

(Raio = Diâmetro Prim./2 = 30mm/2 = 15mm)

3. Capacidade Total do Eixo Y (2 motores):

$$F_{total} = 2 \times 217,3 = 434,6 \text{ kgf}$$

Verificação de Segurança

- Fator de segurança mínimo: 2,0
- Capacidade útil do sistema:

$$F_{segura} = \frac{434,6}{2,0} = 217,3 \text{ kgf}$$

O sistema proposto (2× NEMA 34 + redutor 4:1) oferece:

- Capacidade comprovada para > 200 kgf de força útil
- Margem de segurança adequada para operação contínua
- Sincronismo garantido pela dupla motorização

3.1.3 Dimensionamento Motor Eixo X

O dimensionamento do motor do eixo X foi realizado para garantir movimento preciso e torque suficiente para deslocar a estrutura do eixo Z da máquina CNC, considerando inércia, atrito e forças dinâmicas. O sistema utiliza um motor NEMA 34 (85 kgf/cm), acoplado a um redutor planetário 4:1 e um conjunto pinhão-cremalheira helicoidal módulo 1.5.

Tabela 2: Especificações do sistema eixo X.

Componente	Especificação
Motor de Passo	NEMA 34 (85 kgf/cm)
Redutor Planetário	Razão 4:1 (96% de eficiência)
Engrenagem	20 dentes, módulo 1.5, helicoidal
Cremalheira	1442mm Módulo 1.5, helicoidal
Número de Motores no Eixo X	1

Fonte: (Do próprio autor, 2025).

Capacidade do Mecanismo

1. Torque na Cremalheira por Motor:

$$T_{\text{cremalheira}} = \frac{T_{\text{motor}} \times \text{Redução} \times \eta}{100} = \frac{85 \times 4 \times 0.96}{100} = 3,26 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

2. Força Tangencial Máxima por Motor:

$$F_t = \frac{T_{\text{cremalheira}}}{\text{Raio}_{\text{pinhão}}} = \frac{3,26}{0,015} = 217,3 \text{ kgf}$$

(Raio = Diâmetro Prim./2 = 30mm/2 = 15mm)

Verificação de Segurança

- Fator de segurança mínimo: 2,0
- Capacidade útil do sistema:

$$F_{segura} = \frac{217,3}{2,0} = 108,6 \text{ kgf}$$

O sistema proposto (1× NEMA 34 + redutor 4:1) oferece:

- Capacidade comprovada para > 100 kgf de força útil
- Margem de segurança adequada para operação contínua
- Sistema simplificado com único motor

3.1.4 Dimensionamento Motor Eixo Z

O dimensionamento do eixo Z considerou os requisitos de carga estática e dinâmica para movimentação vertical do cabeçote da máquina CNC. O sistema foi projetado para garantir precisão no posicionamento e capacidade de carga adequada, utilizando um conjunto motor-fuso de esferas com suportes especializados. O cálculo considerou parâmetros mecânicos fundamentais como torque do motor, eficiência do sistema e características do fuso de esferas.

Tabela 3: Especificações do sistema eixo Z

Componente	Especificação
Motor de Passo	NEMA 34 (85 kgf/cm)
Fuso de Esferas	SFU1605 Diâmetro - 16 mm Passo - 5 mm Capacidade de Carga Dinâmica - 1100 kgf
Suportes	Fixo – BK12 Flutuante - BF12
Eficiência do Sistema	Fuso-Porca - 90%
Número de Motores no Eixo Z	1

Fonte: (Do próprio autor, 2025).

Capacidade do Mecanismo

3. Torque no Fuso:

$$T_{fuso} = \frac{F_{axial} \times Passo}{2 \times \pi \times \eta}$$

4. Força Axial Máxima Teórica:

$$F_{axial} = \frac{2 \times \pi \times \eta \times T_{motor}}{Passo} \approx 962 \text{ kgf}$$

Capacidade Útil com Segurança:

- Fator de segurança mínimo: 3,0
- Capacidade útil do sistema:

$$F_{segura} = \frac{962}{3,0} \approx 320 \text{ kgf}$$

O sistema proposto (1× NEMA 34 + Fuso SFU1605) oferece:

- Capacidade de carga superior a 300 kgf
- Precisão de posicionamento
- Confiabilidade na operação vertical

3.1.5 Dimensionamento *Spindle*

O *spindle* selecionado para o sistema CNC foi dimensionado para atender aos requisitos de usinagem de materiais como alumínio, plásticos e compostos, considerando parâmetros de potência, velocidade e precisão. O equipamento apresenta características técnicas adequadas para operações de fresamento e gravação de média precisão.

Tabela 4: Especificações técnicas *spindle*.

Parâmetro	Valor/Especificação
Potência Nominal	2,2kW (3CV)
Tensão de Operação	220 VAC ($\pm 10\%$)
Corrente Nominal	6 A
Frequência	400 Hz
Velocidade Máxima	24.000 rpm
Sistema de Resfriamento	Refrigeração a ar forçado
Precisão de Rotação	< 0,01 mm (execução desligada)
Sistema de Lubrificação	Rolamentos com graxa permanente
Cone do Mandril	ER20
Faixa de Rotação Útil	6.000 - 24.000 rpm

Fonte: (Do próprio autor, 2025).

1. Critérios de Seleção

1. Potência e Torque

- Potência suficiente para operações com ferramentas de até 10mm de diâmetro
- Curva torque-velocidade adequada para materiais não-ferrosos

- Cálculo de potência específica para usinagem de alumínio:

$$P = K \times Q$$

Onde:

- $K = 0,3 \text{ W/mm}^3/\text{s}$ (para alumínio)
- $Q = \text{Taxa de remoção de material}$

2. Precisão e Rigidez

- Excentricidade $< 0,01 \text{ mm}$ garante acabamento superficial adequado
- Rigidez do conjunto mandril-ferramenta para evitar vibrações

3. Sistema de Fixação

- Cone ER20 permite fixação de ferramentas de 1-13mm
- Compatível com porta-ferramentas industriais padrão

2. Aplicação no Projeto CNC

- Integração com sistema de controle por inversor de frequência
- Acoplamento direto ao eixo Z sem necessidade de transmissão
- Operação nas faixas:
 - 6.000-12.000 rpm para ferramentas de maior diâmetro
 - 18.000-24.000 rpm para ferramentas de pequeno diâmetro e acabamento

O *spindle* dimensionado atende aos requisitos do projeto, oferecendo:

- Adequada relação potência/velocidade
- Precisão compatível com usinagem de média complexidade
- Manutenção simplificada (sistema de graxa permanente)
- Versatilidade na fixação de ferramentas

3.2 Desenvolvimento do Modelo 3D

3.2.1.1 Software Autodesk Inventor

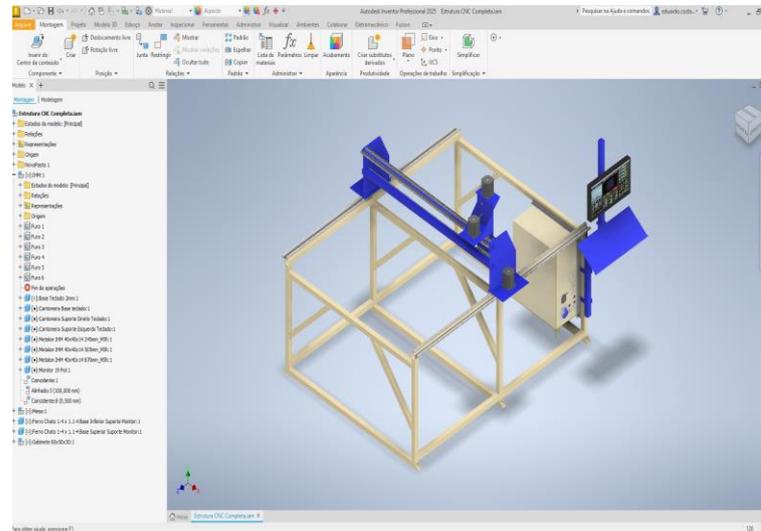
Para a modelagem tridimensional e desenvolvimento mecânico do projeto da Máquina *Router* CNC de 2000x1500mm, foi utilizado o software Autodesk Inventor, uma das ferramentas CAD 3D mais completas disponíveis atualmente para a área de engenharia mecânica.

A utilização do Inventor foi viabilizada graças a uma parceria educacional entre a Autodesk e a ETEC de Assis, que oferece aos alunos acesso gratuito à licença educacional do software. Esse projeto visa capacitar os estudantes no uso de tecnologias modernas de engenharia, estimulando o aprendizado de modelagem paramétrica, montagem 3D e geração de desenhos técnicos, fundamentais para o mercado de trabalho.

No Inventor, foi possível realizar:

- A criação paramétrica de cada peça do conjunto mecânico;
- A verificação de interferências e folgas entre componentes;
- A geração de desenhos 2D com cotas, essenciais para fabricação;
- A simulação básica de montagem para análise de funcionamento.

Ilustração 10: Tela software Inventor da Autodesk.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

Esse processo garantiu um projeto coerente, preciso e com possibilidade de ajustes virtuais antes da construção física da máquina.

3.2.1.2 Desenho Peças da Mesa CNC

As peças da mesa foram desenhadas com base em perfis tubulares (metalon) de seção retangular (geralmente 50x50 mm), priorizando uma estrutura robusta e resistente à torção. As dimensões de 2000x1500 mm foram adotadas como área útil de trabalho, exigindo reforços intermediários, travessas transversais e suportes de ancoragem das guias lineares do eixo Y.

Ilustração 11: Visão explodida mesa CNC.



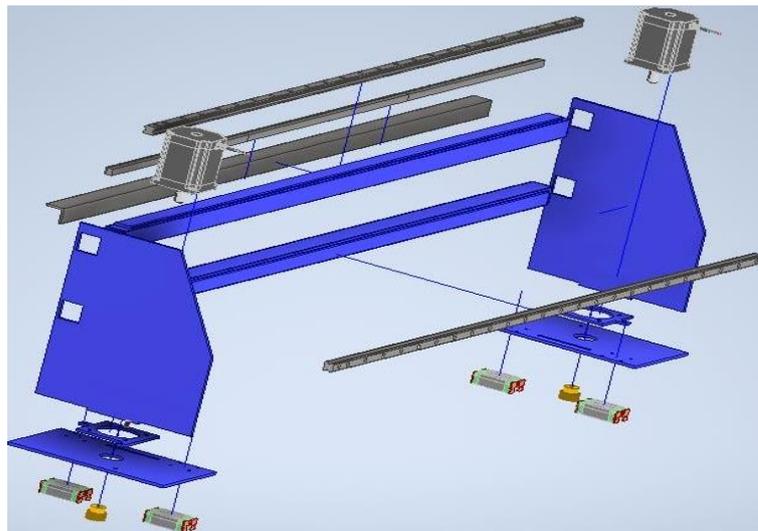
Fonte: (Do próprio autor, 2025).

3.2.1.3 Desenho Peças do Pórtico

O pórtico constitui a estrutura principal responsável por sustentar e guiar os movimentos dos eixos X e Y em máquinas CNC. Como destacado por Groover (2011, p. 312), "a rigidez e estabilidade do pórtico são essenciais para manter a precisão dimensional durante operações de usinagem, especialmente em altas velocidades".

O pórtico foi modelado para ser fixado sobre os patins do eixo Y, com estrutura construída em perfil metálico retangular e reforçado com chapas de aço para absorver vibrações. A modelagem considerou o peso da estrutura do eixo X e do *spindle* e do eixo Z, garantindo rigidez durante o movimento lateral.

Ilustração 12: Visão explodida pórtico.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

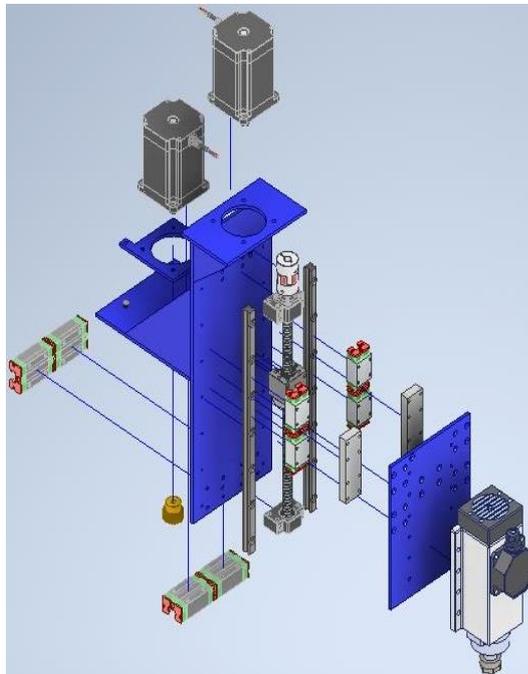
3.2.1.4 Desenho Estrutura Eixo X e Z

A estrutura do eixo Z foi projetada para garantir movimentos verticais precisos, com um curso útil de 273,5 mm, variando desde uma distância mínima de 36,5 mm até uma máxima de 310 mm entre a ponta do *spindle* e a mesa de sacrifício. O desenho incorpora guias lineares verticais, patins, fuso de esferas e o suporte do *spindle*, garantindo rigidez e precisão durante a usinagem. Além disso,

foram incluídos os elementos de fixação do motor de passo e um acoplamento com mola anti-folga na cremalheira do eixo X, evitando retrocessos indesejados durante operações de corte.

Na mesma estrutura, também estão montados o motor e os patins do eixo X, que possui um curso útil aproximado de 1160 mm, integrando os dois sistemas de movimento em um único conjunto mecânico. Essa configuração permite uma ampla faixa de trabalho nos eixos X e Z, atendendo a diversas necessidades de usinagem com precisão, estabilidade e versatilidade operacional.

Ilustração 13: Visão explodida eixo X e estrutura eixo Z.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

3.2.1.5 Desenho Suporte Monitor e Teclado

O suporte para monitor e teclado foi projetado em Metalon 40x40 mm, composto por três barras cortadas e montadas da seguinte forma:

1. Base de fixação (505 mm de comprimento)
 - Possui três furos para ajuste de altura

- Uma das extremidades cortada em 45° para encaixe estrutural
2. Barra vertical de suporte (245 mm de comprimento)
- Uma das extremidades cortada em 45° para conexão com a base
 - Fixação superior para o conjunto do monitor e acessórios
3. Barra horizontal superior (870 mm de comprimento)
- Suporta a base do teclado e mouse, posicionada em um ângulo de 30° para ergonomia do operador
 - Fixação para o monitor
 - Instalação de uma torre de LED para sinalização do estado da máquina (ligada, emergência ou erro)
 - Fixação de um conduíte de 3/4" contendo:
 - Botão de emergência
 - Entrada USB para carregamento dos arquivos de usinagem da CNC

O projeto priorizou robustez, funcionalidade e segurança, garantindo fácil acesso aos controles e visualização do monitor durante a operação da máquina. Os cortes em ângulo e a disposição dos componentes foram calculados para manter o equilíbrio estrutural e facilitar a montagem.

Ilustração 14: Visão explodida suporte monitor e teclado.

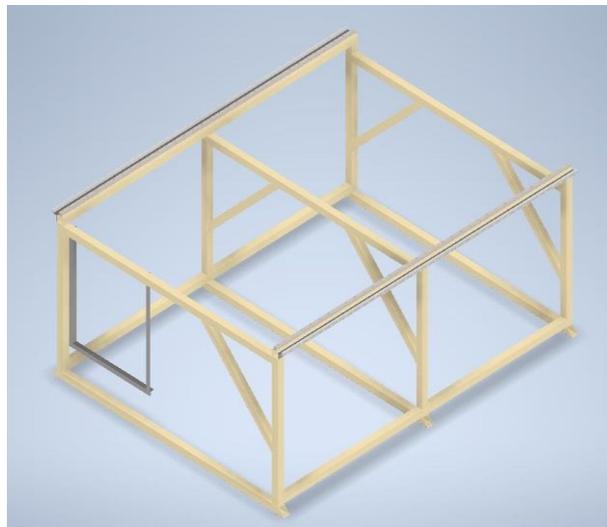


Fonte: (Do próprio autor, 2025).

3.2.1.6 Montagem 3D Mesa CNC

A mesa foi montada em ambiente 3D no Autodesk Inventor. Essa simulação permitiu validar o alinhamento entre as peças metálicas, garantir que os pontos de fixação estivessem corretos, e realizar ajustes nas dimensões das travessas para distribuir adequadamente o peso e reduzir vibrações.

Ilustração 15: Montagem 3D mesa CNC.

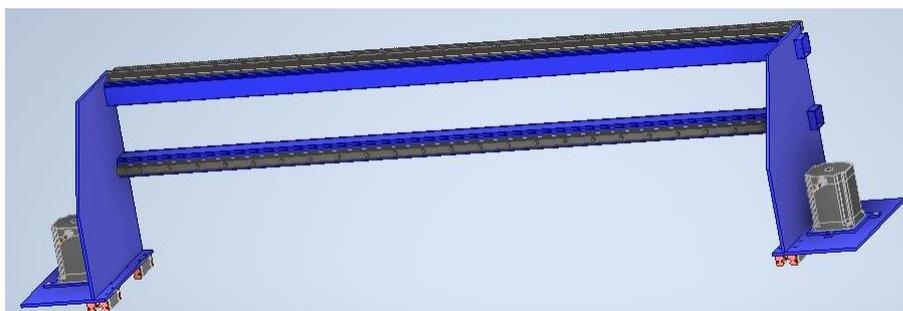


Fonte: (Do próprio autor, 2025).

3.2.1.7 Montagem 3D Pórtico

O pórtico foi montado virtualmente sobre os patins do eixo Y. A montagem incluiu as cremalheiras, guias lineares, patins, motores, engrenagens e suportes dos motores, garantindo que o deslocamento ocorresse de forma simétrica em ambos os lados do pórtico, sem empenamentos.

Ilustração 16: Montagem 3D pórtico.

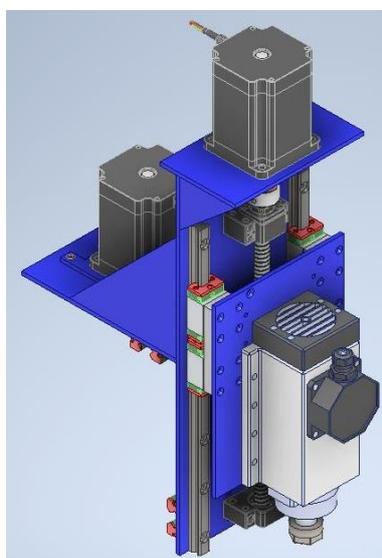


Fonte: (Do próprio autor, 2025).

3.2.1.8 Montagem 3D Estrutura Eixo X e Z

A estrutura do eixo Z foi acoplada ao conjunto do eixo X no ambiente CAD, permitindo a análise do alcance vertical, sobreposição com a área útil da mesa e movimentação do *spindle*. Foi verificada também a acessibilidade para manutenção dos componentes.

Ilustração 17: Montagem 3D estrutura eixos X e Z.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

3.2.1.9 Montagem 3D Suporte Monitor e Teclado

O suporte foi desenvolvido em Metalon 40x40, apresentando base regulável com três pontos de fixação e barra horizontal inclinada a 30° para posicionamento ergonômico do teclado. Incorpora torre de LED para sinalização, botão de emergência e porta USB, garantindo acessibilidade aos controles. A estrutura foi projetada para oferecer estabilidade durante as operações da máquina, com todos os componentes integrados de forma harmoniosa. A imagem ilustra a montagem do conjunto completo para sua disposição final.

Ilustração 18: Montagem 3D suporte monitor e teclado.

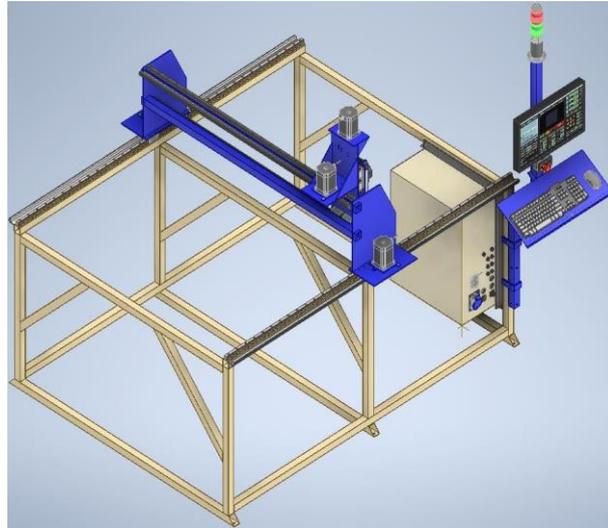


Fonte: (Do próprio autor, 2025).

3.2.1.10 Montagem 3D Máquina CNC

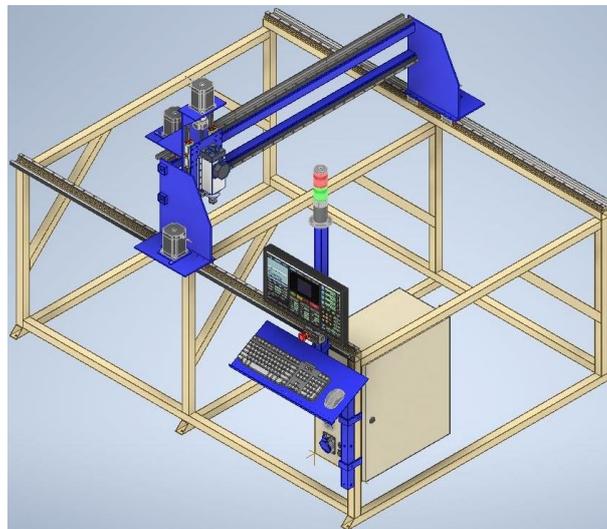
Por fim, a montagem completa da máquina em 3D permitiu validar todo o sistema mecânico. Foi possível simular os movimentos dos eixos, verificar interferências mecânicas, definir pontos de fixação dos cabos e avaliar a ergonomia e acessibilidade da estrutura. Essa fase foi essencial para garantir um bom funcionamento antes da construção física.

Ilustração 19: Montagem 3D máquina CNC visão lateral traseira.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

Ilustração 20: Montagem 3D máquina CNC visão lateral frontal.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

4 DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento mecânico é uma etapa essencial no processo de fabricação e manutenção de peças e estruturas metálicas. Ele envolve a utilização de diversas ferramentas e equipamentos que permitem cortar, moldar, soldar, furar e realizar acabamentos em materiais metálicos. A escolha adequada das ferramentas e o domínio de suas aplicações são fundamentais para garantir precisão, eficiência e segurança no trabalho.

4.1 Montagem Mecânica Mesa de Suporte

A montagem da estrutura de suporte constitui a etapa fundamental para garantir a estabilidade e rigidez necessárias ao funcionamento preciso da máquina CNC. Este processo foi executado em quatro etapas sequenciais, utilizando perfis de Metalon 40x40mm como material estrutural principal.

4.1.1 Corte das Barras de Metalon Utilizando Serra Vai e Vem

As barras de metalon foram cortadas conforme as medidas extraídas do projeto do Inventor, com um pequeno aumento no tamanho para ser ajustado na esmerilhadeira. Utilizou-se uma serra vai e vem para garantir cortes perpendiculares, rápidos e mais fáceis de serem feitos com uma barra grande de metalon, fator crítico para evitar qualquer tipo de acidente realizando o corte diretamente na esmerilhadeira. fator crítico para evitar desalinhamentos na soldagem

Ilustração 21: Corte metalon serra Vai e Vem.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

4.1.2 Acabamento das Barras de Metalon Utilizando Esmerilhadeira

Após o corte do metalon na serra vai e vem, as extremidades foram marcadas utilizando o esquadro, sendo realizado o corte e acabamento com esmerilhadeira, removendo rebarbas e facilitando o encaixe perfeito entre as barras durante a soldagem.

Ilustração 22: Marcação para corte utilizando o esquadro.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

Ilustração 23: Corte de metal utilizando a esmerilhadeira.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

4.1.3 Soldagem Barras de Metalon

Foi realizada soldagem MIG das barras, montando a estrutura da mesa em etapas: primeiro o quadro base, depois as travessas e reforços. Utilizou-se gabaritos e esquadros magnéticos para garantir alinhamento. Os cordões de solda foram aplicados de forma contínua, e foram realizados pontos de controle

Ilustração 24: Mesa CNC parcialmente soldada.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

dimensional.

Ilustração 25: Soldagem de metalon com apoio de esquadros.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

4.1.4 Fixação de Pés Niveladores de Borracha

Foram instalados pés niveladores de borracha com rosca regulável, permitindo o nivelamento da máquina em pisos irregulares. O amortecedor utilizado foi da marca Vibramatt, fabricado em aço estampado com pintura eletrostática texturizada, oferece alta resistência à carga (até 350kg por unidade) e maior durabilidade contra oxidação. Seu design robusto e acabamento superior o tornam ideal para aplicações em máquinas CNC, garantindo estabilidade e redução de vibrações durante operações de usinagem (A Casa dos Macacos, 2023).

Especificações:

- Modelo: Extra-Mini
- Parafuso centralizador: 3/8"
- Diâmetro externo: 55mm
- Altura total: 85mm
- Capacidade: 350kg/unidade

Ilustração 26: Pé nivelador.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

4.2 Montagem dos Eixo X e Y

As guias lineares HGR20 foram implementadas no projeto da máquina CNC para garantir movimentos precisos e suaves nos eixos X e Y. No eixo X, foram instaladas duas guias de 1420mm de comprimento, sendo uma posicionada na parte superior do Metalon de apoio e outra na lateral do segundo Metalon de suporte. Para o eixo Y, foram utilizadas duas guias de 2000mm.

Ilustração 27: Guia linear HGR20.



Fonte: Tecmaf, 2025.

Quanto aos patins, foram aplicados:

- No eixo Y: dois patins HGH20CA em cada lado (quatro unidades no total)
- No eixo X: dois patins HGH20CA em cada suporte (quatro unidades no total)

Este arranjo proporciona:

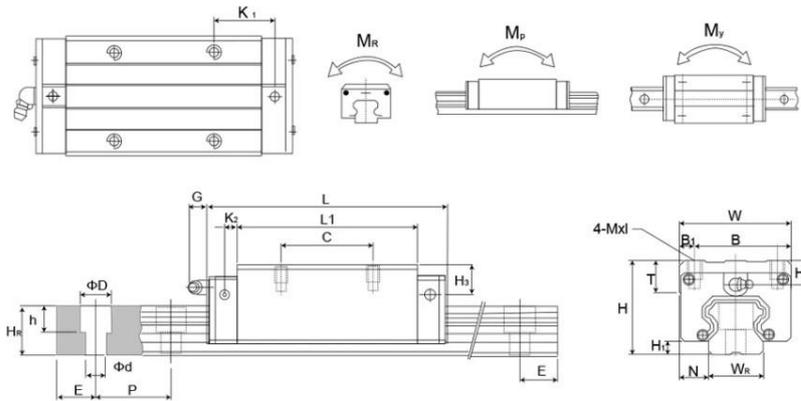
- Alta rigidez estrutural
- Movimentação precisa e sem folgas
- Capacidade de carga equilibrada
- Redução de vibrações durante a usinagem

Ilustração 28: Patins HGH20CA.



Fonte: Aliexpress, 2025

Texto 2: *Datasheet* Guia Linear e Patins.



Model	Component Size(mm)		Slider Size(mm)													Slide Rail Size(mm)					Fixing Bolt Size of Slide Rail (mm)	Basic Dynamic Load Rating C(KN)	Basic Static Load Rating Co(KN)	Allowable static moment			Weight					
	H	H1	N	W	B	B1	C	L1	L	K1	K2	G	Mxl	T	H2	H3	WR	HR	D	h				d	P	E	MR KN-m	MP KN-m	MY KN-m	Slid er kg	Slid e kg/m	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm				mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
HGH15CA	28	4.3	9.5	34	26	4	26	39	46	1.4	10	4.85	5.3	M4*5	6	7.95	7.7	15	15	7.55	34.5	60	20	M4*16	11.38	25.31	0.17	0.15	0.15	0.18	1.45	
HGH20CA	30	4.6	12	44	32	6	36	50	57	12.25	6	12	M5*6	8	6	7	20	17.5	17.5	9.5	58.5	6	60	20	M5*16	17.35	37.84	0.38	0.27	0.27	0.30	2.21
HGH25CA	40	5.5	12.5	48	35	6	53	58	84	16.8	6	12	M6*8	8	10	13	23	22	11	9	7	60	20	M6*12	26.48	56.19	0.64	0.51	0.51	0.51	3.21	
HGH30CA	45	6	16	60	40	10	40	70	97	20.25	6	12	M8*10	8.5	9.5	13.8	28	26	14	12	9	80	20	M8*25	38.74	83.06	1.06	0.85	0.85	0.88	4.47	

Fonte: Aliexpress, 2025

4.2.1 Soldagem da Barra de Ferro Chato Suporte das Guias

As barras de ferro chato foram soldadas sobre a mesa para servir como base nivelada para a instalação das guias lineares. A precisão na posição e planicidade dessas barras é essencial para evitar desalinhamentos no movimento do pórtico.

Texto 3: Ferro chato base da guia linear eixo Y.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

Para reforço estrutural, e furo com roscas M5 para montagem das guias, foi utilizado ferro chato de aço carbono com as seguintes dimensões:

- Largura: 1 1/4" (31,75 mm)
- Espessura: 1/4" (6,35 mm)

Texto 4: Ferro chato base da guia linear eixo X.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

Outro fator da seleção do ferro chato como suporte para as guias lineares foi devido à sua espessura (6,35 mm), que permite a confecção de furos com rosca M5 para fixação precisa dos parafusos das guias. Essa solução garante:

- Rigidez adequada para manter o alinhamento das guias lineares (HGR20) durante os movimentos dos eixos X e Y;
- Fácil usinagem, possibilitando furação e rosqueamento sem deformações;
- Estabilidade mecânica, evitando flexões que poderiam comprometer a precisão da máquina CNC.

Vantagens:

✓ **Precisão na fixação** – A espessura de 6,35 mm assegura que as roscas M5 tenham profundidade suficiente para uma fixação firme.

✓ **Custo-benefício** – Material amplamente disponível e de baixo custo para aplicações estruturais.

Texto 5: Fazendo rosca M5 no ferro chato.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

✓ **Compatibilidade** – Permite ajustes finos no posicionamento das guias lineares antes da fixação definitiva.

4.2.2 Soldagem da Cantoneira de Suporte das Cremalheiras

A cantoneira metálica de 1 1/2" (38,1mm) de largura x 3/16" (4,76mm) de espessura foi empregada como elemento estrutural de sustentação para as cremalheiras. Sua aplicação consistiu em:

- Soldagem paralela às guias lineares, formando uma base rígida para fixação das cremalheiras;
- Transmissão de esforços entre os pinhões acionados pelos motores de passo e a estrutura principal;
- Reforço estrutural, garantindo estabilidade dimensional ao sistema de movimentação dos eixos.

Vantagens da Solução:

✓ Perfil resistente - A espessura de 4,76mm oferece rigidez adequada para absorver cargas dinâmicas;

✓ Geometria otimizada - O formato em "L" facilita o alinhamento preciso das cremalheiras;

✓ Integração com o conjunto - Permite montagem robusta do sistema pinhão-cremalheira sem flexões indesejadas.

Texto 6: Cantoneira de suporte da cremalheira.



4.2.3 Fixaç

As gu
chato 31,75
de instalaçã

è ferro
cesso

Fonte: (Do próprio autor, 2025).

Alinhamento preciso:

- Utilização de gabarito para garantir paralelismo
- Verificação com relógio comparador

Sistema de fixação:

- Patins HGH20CA instalados na chapa-base do pórtico (espessura 6mm)
- Travamento estrutural com perfil Metalon 40x40mm

Ilustração 29: Fixação da guias lineares Y utilizando gabarito.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

- Fixação com sargentos durante o alinhamento Para fixação das guias do eixo X foi utilizado o mecanismo do eixo Z como gabarito, com os patins instalados nas guias lineares e parafusados na estrutura do eixo Z a própria estrutura manteve as guias alinhadas para a sua fixação junto com o ferro chato que foi soldado nos metalons.

Ilustração 30: Fixação da guias lineares X utilizando gabarito.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

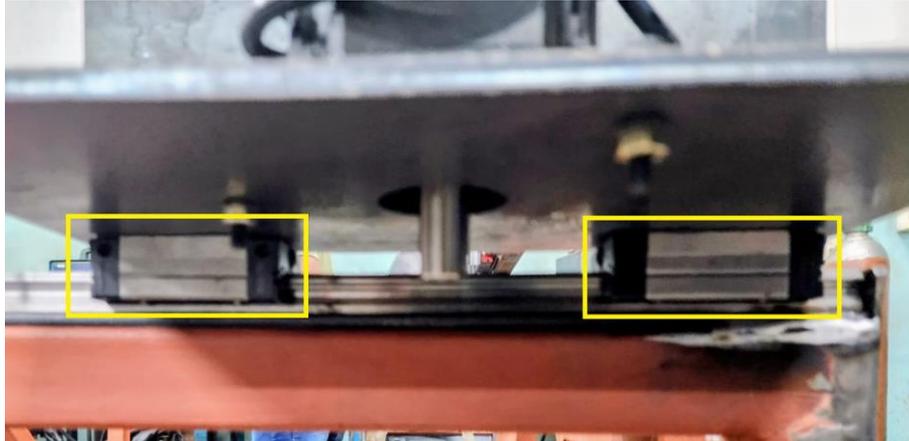
4.2.4 Fixação dos Patins

Os patins foram fixados às guias lineares com parafusos Allen M5 e loctite. Esses patins suportam o pórtico e garantem um deslizamento preciso.

Instalação no Eixo Y:

- Dois patins HG20 foram fixados em cada guia linear
- Utilizaram-se parafusos Allen M5
- A fixação foi realizada na chapa de aço carbono de 6mm do suporte do pórtico

Ilustração 31: Patins do eixo Y.

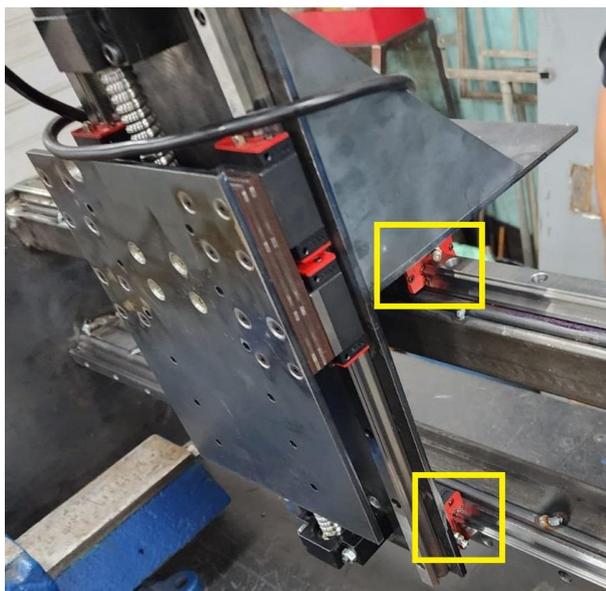


Fonte: (Do próprio autor, 2025).

Montagem no Eixo X:

- Dois patins instalados na guia linear superior do pórtico
- Dois patins adicionais posicionados na guia linear lateral
- Todos os patins fixados com parafusos Allen M5
- O posicionamento considerou a estrutura do mecanismo do eixo Z

Ilustração 32: Patins do eixo X suportando a estrutura do eixo Z.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

4.2.5 Fixação do Pórtico do Eixo Y

O pórtico foi fixado aos patins lineares utilizando parafusos Allen de alta resistência, assegurando uma conexão rígida e estável. A estrutura de suporte foi fabricada em chapa de aço, proporcionando a necessária resistência mecânica para o conjunto. O sistema de fixação foi projetado para distribuir uniformemente as cargas entre ambos os lados do eixo Y, mantendo o alinhamento preciso durante a operação da máquina.

A montagem considerou:

- Balanceamento adequado das forças atuantes
- Rigidez estrutural do conjunto
- Precisão no posicionamento dos componentes
- Estabilidade durante os movimentos dinâmicos

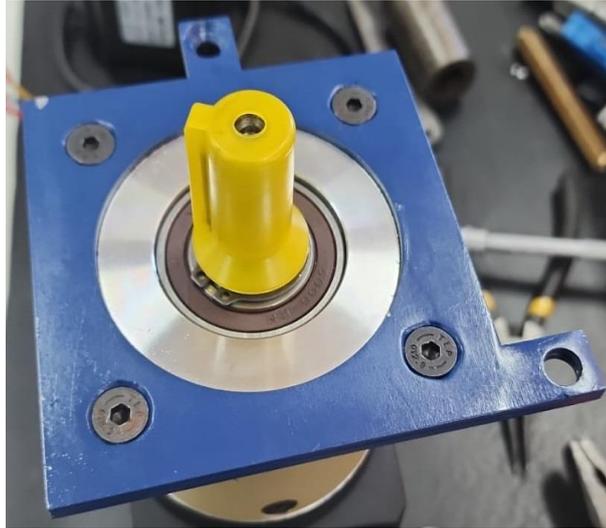
4.2.6 Fixação dos Motores de Passo

O sistema de movimentação dos eixos foi implementado com motores de passo NEMA 34 (85 kgf/cm), acoplados a um sistema de transmissão mecânica composto por:

Sistema de Fixação do Motor

- Base de fixação em chapa de aço de 5mm de espessura
- Mecanismo de pressão contra a cremalheira com:
 - Mola de compressão (40mm de comprimento, Ø2,5mm)
 - Bucha de bronze para guiamento sem folgas
- Permite ajuste preciso do engrenamento

Ilustração 33: Base de fixação do motor no mecanismo.

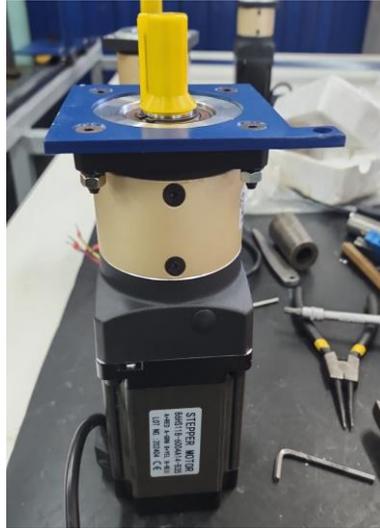


Fonte: (Do próprio autor, 2025).

Sistema de Redução e Transmissão

- Redutor planetário PLF34-4-L1-P2-16MM com:
 - Razão de redução 4:1
 - Folga angular ≤ 12 arcmin
 - Eficiência de 96%
- Conjunto cremalheira/engrenagem:
 - Cremalheira helicoidal módulo 1.5
 - Engrenagem helicoidal módulo 1.5 com 20 dentes

Ilustração 34: Redutor planetário no mecanismo.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

Principais Características

- Transmissão de movimento precisa e sem folgas
- Sistema auto-ajustável de pressão na cremalheira
- Alta eficiência energética
- Capacidade de suportar cargas dinâmicas

Vantagens do Conjunto:

- Precisão no posicionamento
- Maior vida útil do sistema de transmissão
- Manutenção simplificada
- Operação silenciosa devido ao perfil helicoidal

4.2.7 Fixação das Cremalheiras

A fixação das cremalheiras foi realizada com precisão para garantir o perfeito engrenamento com os pinhões dos motores de passo. O sistema de montagem empregado consistiu em:

Especificações Técnicas da Cremalheira (Policomp Componentes, 2025):

- Material: Aço 1045 temperado e revenido
- Módulo: 1.5
- Dimensões: 17mm (altura) × 17mm (largura)
- Comprimento padrão: 2000mm
- Perfil helicoidal para engrenamento suave e silencioso

Preparação da Cremalheira

- Furação sistemática a cada 100mm para fixação com parafusos Allen M5
- Usinagem de rebaixo para alojamento da cabeça dos parafusos (furação escareada)
- Alinhamento angular com tolerância de $\pm 0,1^\circ$

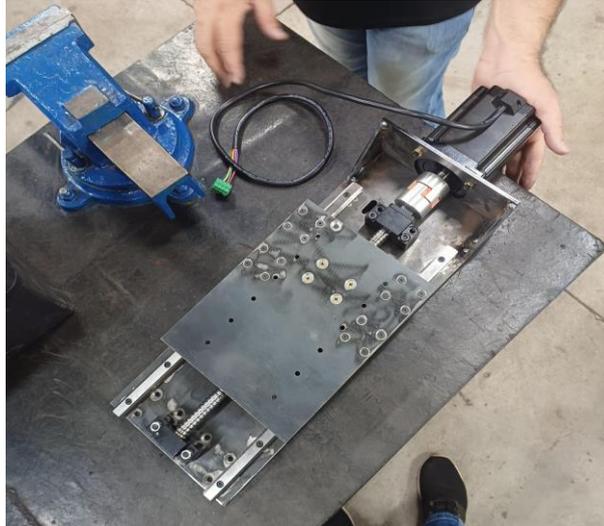
Processo de Fixação

- Aplicação de torque controlado nos parafusos M5
- Verificação do alinhamento com relógio comparador

Controle de paralelismo em relação às guias lineares

4.3 Montagem do Eixo Z

Ilustração 35: Montagem do mecanismo do eixo Z.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

O eixo Z foi projetado para suportar e movimentar o *spindle* verticalmente. O movimento é realizado por um motor de passo com acoplamento flexível ligado a um fuso trapezoidal. A estrutura conta com duas guias lineares verticais e patins que sustentam o carro do *spindle*. Foram previstos ajustes para regular a profundidade máxima e sensores de fim de curso. O conjunto foi projetado visando rigidez, leveza e facilidade de manutenção.

O sistema de deslocamento vertical (eixo Z) foi implementado com um mecanismo de fuso de esferas de alta precisão, garantindo movimentação suave e precisa do cabeçote de usinagem. O conjunto principal consiste em:

Componentes Mecânicos (Fonte: AliExpress, 2023):

- Fuso de esferas modelo SFU1605 com passo de 5mm
- Porca esférica com sistema anti-folga
- Suportes de rolamento tipo BK12 (fixo) e BF12 (flutuante)
- Acoplador elástico para conexão ao motor de passo

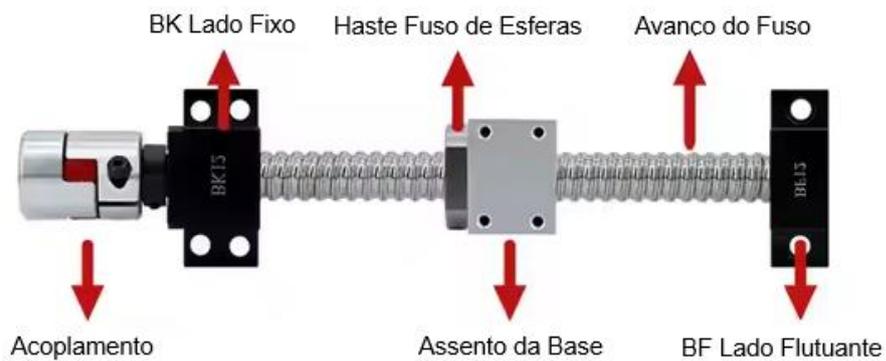
Especificações Técnicas:

- Diâmetro nominal: 16mm
- Curso útil: 350mm
- Precisão de posicionamento: $\pm 0,01\text{mm}$

Características de Desempenho:

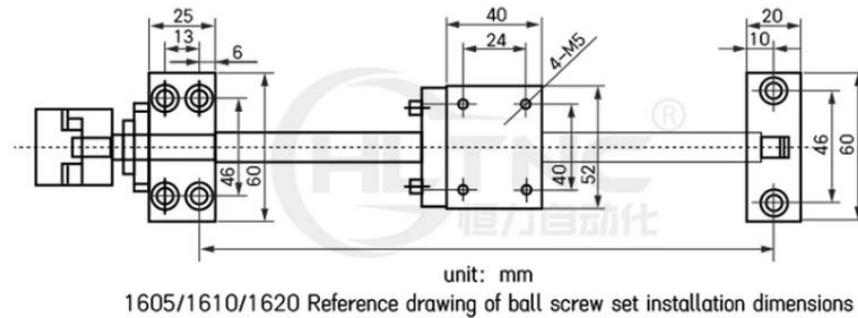
- Movimentação suave e sem backlash
- Alta repetibilidade de posicionamento
- Baixo atrito e alta eficiência mecânica
- Vida útil prolongada em aplicações CNC

Ilustração 36: Componentes fuso esferas eixo Z.



Fonte: Aliexpress, 2025

Ilustração 37: Medidas fuso esfera eixo Z.



Fonte: Aliexpress, 2025

4.4 Pintura da Estrutura

A pintura da estrutura da máquina CNC foi realizada utilizando tinta spray automotiva, visando proteção contra corrosão, fácil limpeza e identificação visual dos componentes. O processo priorizou a durabilidade e resistência necessárias para o ambiente de usinagem.

Processo de Pintura:

1. Preparação da Superfície:

- Lixamento uniforme com lixa 220
- Limpeza com solução desengraxante Maxi Rubber
- Aplicação de primer anticorrosivo em spray (1 camada)

2. Aplicação da Tinta:

- Tinta automotiva em spray
- 2-3 camadas finas
- Intervalo de 15-20 minutos entre camadas
- Distância de aplicação: 20-25 cm

- Secagem natural por 24 horas

Tabela 5: Esquema de Cores Maquina *Router* CNC

Componente	Cor	Finalidade
Mesa Fixa	Colorgin Cinza Placa	Base estrutural
Pórtico Móvel	Colorgin Azul Zaphiro	Partes móveis
IHM	Colorgin Azul Zaphiro	Interface operacional

Fonte: (Do próprio autor, 2025).

Detalhes Técnicos:

- Primer: Spray anticorrosivo
- Tinta: Automotiva em spray
- Resistência: Óleos e fluidos de corte
- Acabamento: Semi-brilho

Ilustração 38: Pintura da mesa da CNC.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

Ilustração 39: Pintura das partes moveis da CNC.

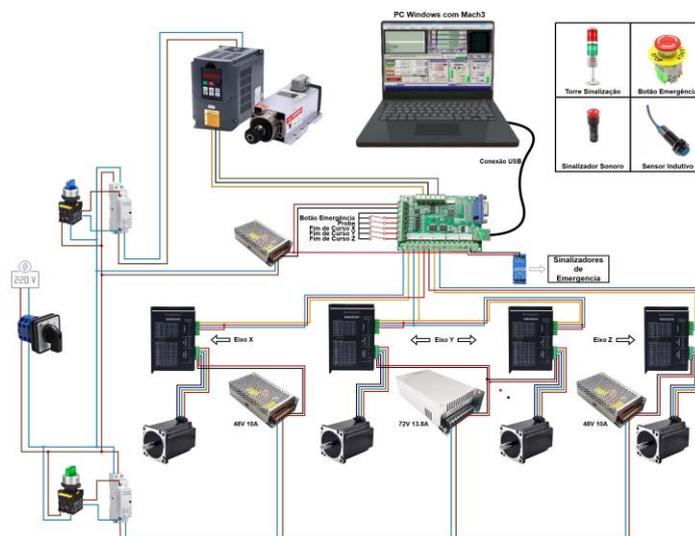


Fonte: (Do próprio autor, 2025).

4.5 Sistema Eletrônico

O sistema eletrônico foi projetado para garantir o controle preciso dos movimentos e funções da máquina CNC, integrando componentes de potência, controle e segurança. A distribuição de energia e os circuitos de controle foram dimensionados para garantir eficiência e confiabilidade durante a operação.

Ilustração 40: Esquema elétrico máquina router CNC.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

4.5.1 Quadro De Comando

O quadro de comando é o centro de distribuição e proteção dos circuitos elétricos da máquina CNC, responsável por integrar todos os componentes de potência e controle em uma estrutura padronizada e segura.

Tabela 6: Especificações quadro de comando.

Característica	Especificação
Marca/Modelo	Lukbox QCS653 (Código: 776032)
Dimensões	60cm (Altura) × 50cm (Largura) × 30cm (Profundidade)
Peso	11,92 kg
Material	Chapa de aço com tratamento de Fosfato de Zinco e pintura eletrostática a pó
Cores	- Porta e Corpo: Bege RAL 7032 - Placa de Montagem: Laranja RAL 2008
Grau de Proteção	IK-10 (Resistência a impactos mecânicos)
Abertura da Porta	110° (com fechamento automático)

Fonte: (Do próprio autor, 2025).

Ilustração 41: Quadro de comando.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

4.5.2 Circuitos CC e CA

O sistema divide-se em circuitos de **Corrente Alternada (CA)** para alimentação de alta potência (inversor, fontes, computador e monitor) e **Corrente Contínua (CC)** para controle e acionamento dos motores de passo e sensores. O circuito CA opera em 220V monofásico, com proteção por disjuntores e fusíveis, enquanto o circuito CC utiliza tensões de 72V, 48V e 24V para alimentar *drivers*, controladora e sensores, garantindo isolamento entre potência e sinal.

Para acomodação dos cabos elétricos foi utilizado canaletas de pvc de 30x30mm, para as conexões dos cabos foram utilizados terminais do tipo agulha para os bornes, contactores, relês, conectores dos *drivers* e controladora, e conectores do tipo garfo para as fontes e inversor. Foram utilizados também bornes com pontes conectoras para os barramentos CC e CA.

Ilustração 42: Painel elétrico da CNC.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

4.5.3 *Driver* Motores de Passo

Foram utilizados 4 *drivers* DM860H (um para cada motor NEMA 34), configurados para operar com microsteps de $\frac{1}{4}$ nos eixos X e Y e $\frac{1}{2}$ no eixo Z com corrente configurada em 6A em todos os *drivers*. Dois *drivers* são alimentados por fonte de 72V (eixo Y) e os demais por fontes de 48V (eixos X e Z), assegurando torque constante e resposta dinâmica. As proteções integradas nos *drivers* (overcurrent, overtemperature) evitam danos aos motores.

Ilustração 43: Disposição dos *drivers* DM860H.Tabela 7: Especificação *driver* DM860H

Característica	Especificação
Modelo	DM860H (4 unidades)
Tensão de entrada	24-110VDC
Corrente máxima	6,0A (ajustável por DIP switch)
Microstep	Configurável até 1/256
Proteções	Overcurrent, overtemperature

Fonte: (Do próprio autor, 2025).

4.5.4 Inversor de Frequência

O inversor YL620-A controla a velocidade do *spindle* (0–24.000 rpm) por meio de sinal analógico (0–10V). Suas funções incluem aceleração/desaceleração programável e proteções contra sobrecarga e curtos-circuitos, integradas ao sistema Mach3 para operação automatizada.

Tabela 8: Especificação inversor YL620-A

Característica	Especificação
Modelo	YL620-A
Potência	2,2kW (3CV)
Faixa de frequência	0-400Hz
Tensão de saída	0-220VAC
Interfaces utilizadas	Controle por 0-10V (Velocidade) Entrada digital - REV (Acionamento)
Proteções	Overload, short-circuit

Fonte: (Do próprio autor, 2025).

4.5.5 Fonte de Corrente Contínua

O sistema emprega fontes dedicadas para cada eixo:

- 72V/13,89A (1000W): Alimenta os dois motores do eixo Y.
- 48V/10A (480W): Fornece energia para os motores dos eixos X e Z.
- 24V/5A (120W): Alimenta a placa BL-USB Mach3, sensores ópticos e relés de emergência.

Todas possuem filtros EMI e regulagem precisa ($\pm 1\%$) para evitar ruídos e flutuações.

Ilustração 44: Fontes de alimentação CC máquina CNC.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

4.5.6 Conexões Elétricas

O sistema de conexões elétricas foi projetado para garantir segurança, organização e fácil manutenção, utilizando conectores industriais padronizados. A configuração implementada atende a todos os requisitos de sinalização e potência da máquina CNC.

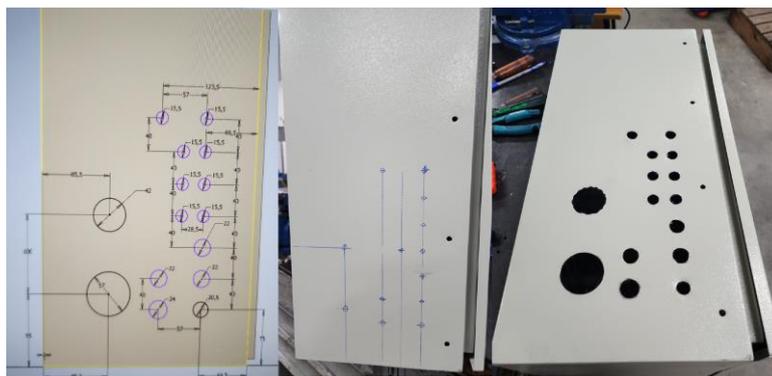
Principais Conexões:

1. Controle e Sinalização (ABNT NBR IEC 60947-5-1:2014):

- 1x Conector à prova d'água 8 pinos:
 - Botoeira de emergência
 - Luz de emergência

- Alimentação 24VDC e GND
 - Saída reserva (BL-USBMach3)
2. Interface Homem-Máquina (Norma IEC 62680-1-3:2017):
- 1x Conector HDMI (monitor IHM)
 - 3x Conectores USB (PC para IHM + 2 externos)
3. Alimentação Elétrica:
- 1x Tomada embutida 2P+T 10A (ABNT NBR NM 60884-1:2013)
 - 1x Tomada industrial 3P+T (*spindle* 2,2kW) (ABNT NBR IEC 60309-1:2019)
4. Acionamento de Motores:
- 4x Conectores "Mike" 4 vias (motores de passo NEMA 34)
5. Sensores:
- 3x Conectores "Mike" 3 vias (fim de curso X,Y,Z)
 - 1x Conector "Mike" 2 vias (sonda Z-Probe)

Ilustração 45: Preparação dos furos dos conectores.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

Ilustração 46: Quadro de comando com os conectores instalados.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

4.5.7 Chaves e Sinalização

A instalação das chaves e sinalização foi projetado para garantir o controle seguro e eficiente dos circuitos elétricos da máquina CNC, atendendo às normas de segurança e proporcionando *feedback* visual do status da máquina.

Chave Geral

- Modelo: LW28-20
 - Especificações:
 - 4 terminais
 - 500V/20A
 - Função: Controle principal de energia

Chaves Secundárias

- Interruptor 2 posições com LED verde (10A):

- Aciona contator bipolar 25A
- Controla circuito eletrônico (fontes, PC, monitor)
- Interruptor 2 posições com LED azul (10A):
 - Aciona contator bipolar 25A
 - Controla inversor do *spindle*

Sinalizadores

- Sinalizador luminoso-sonoro AD16-22SM:
 - Diâmetro: 22mm
 - Tensão: 24VDC
 - Cor: Vermelha
 - Acionamento: Em paralelo com a torre LED em falhas/emergências

Ilustração 47: Chaves e sinalização do quadro de comando.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

4.5.8 Sistema de Ventilação Forçada

O sistema de ventilação forçada foi projetado para garantir o resfriamento adequado dos componentes eletrônicos da máquina CNC, evitando superaquecimento e aumentando a vida útil dos equipamentos. A solução adotada utiliza dois ventiladores com fluxo de ar direcionado para manter a temperatura estável dentro do quadro de comando.

Tabela 9: Componentes utilizados para ventilação do quadro de comando.

Item	Especificações	Função
Ventilador 1	120×120mm, 220V), fluxo de ar 42,5/47,2l/s	Insuflar ar frio (entrada)
Ventilador 1	120×120mm, 220V), fluxo de ar 42,5/47,2l/s	Extrair ar quente (saída)
Filtros de ar	Grade plástica com espuma antipoeira (IP54)	Proteção contra impurezas

Fonte: (Do próprio autor, 2025).

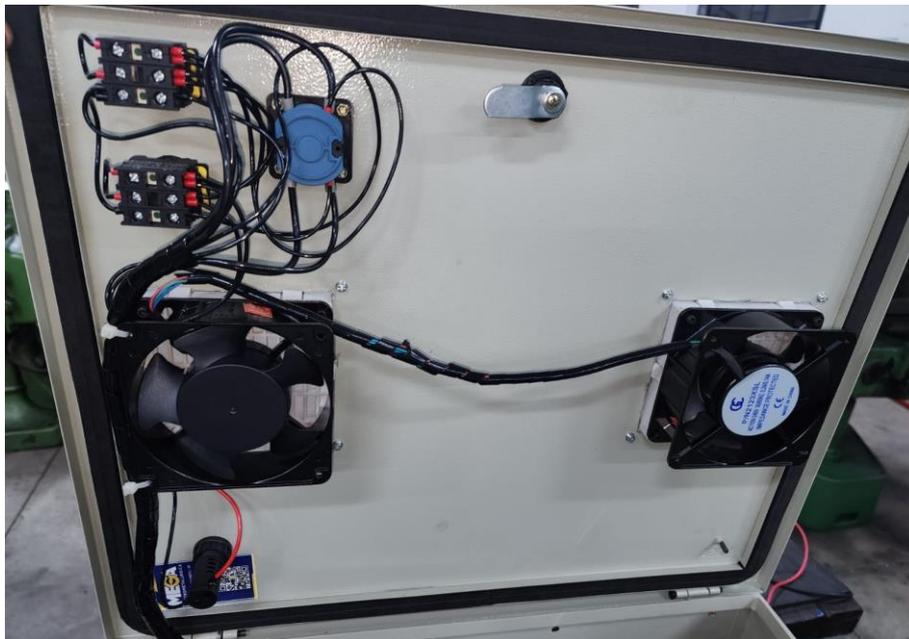
Fluxo de Ar e Posicionamento

- Ventilador inferior (entrada):
 - Posicionado na parte inferior do quadro
 - Insufla ar ambiente filtrado para os componentes
- Ventilador superior (saída):
 - Posicionado na parte superior do quadro
 - Remove o ar aquecido por convecção natural

Componentes Resfriados

- Fontes de alimentação (72V, 48V, 24V)
- *Drivers* de motor de passo (DM860H)
- Inversor de frequência (YL620-A)
- Placa controladora CNC (BL-USBMach3)
- Mini PC (Intel Celeron N3350)

Ilustração 48: Ventiladores com filtro do quadro de comando.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

4.6 Sistema de Controle da Máquina Router CNC

O sistema de controle é o cérebro da máquina CNC, responsável por interpretar os comandos, gerenciar os movimentos dos eixos e coordenar todas as operações de usinagem. Este capítulo detalha os componentes eletrônicos e softwares que compõem o sistema de controle da *router* CNC.

4.6.1 Mini PC

Unidade central de processamento do sistema CNC o Mini PC Intel Celeron N3350 atua como o controlador principal, executando o software de operação e processando todas as instruções de usinagem. Sua configuração foi especialmente selecionada para garantir desempenho estável no processamento de códigos G-code e comunicação com os periféricos.

Modelo: Mini PC Intel Celeron N3350

Especificações:

- Processador Dual-Core 2.4 GHz
- 6 GB RAM DDR3
- Armazenamento 64 GB SSD
- Portas: 4× USB 3.0, HDMI, VGA
- Conectividade: Wi-Fi 802.11ac, Bluetooth 4.2
- Sistema Operacional: Windows 10 Pro (otimizado para baixa latência)

Função no CNC:

- Execução do software Mach3
- Processamento de códigos G-code
- Comunicação com a placa controladora via USB

4.6.2 Interface Homen Máquina (IHM)

A Interface Homem-Máquina (IHM) foi projetada para proporcionar interação intuitiva e segura entre o operador e a máquina *Router* CNC. Sua estrutura física e componentes foram cuidadosamente selecionados para garantir ergonomia, acessibilidade e funcionalidade durante as operações de usinagem.

4.6.2.1 Estrutura Física da IHM

Materiais e Dimensões:

- Perfil Estrutural: Metalon 40×40 mm (espessura 3 mm)
- Chapa de Fixação: Ferro chato em U 1 1/4" x 1/4"
- Dimensões Totais: 600 mm (L) × 1713 mm (A) × 424 mm (P)

Montagem:

- Fixação lateral ou frontal direita da mesa da CNC (parafusos 1/4" x 3" com arroelas lisas e porcas borboletas)
- Inclinação de 30° no suporte do teclado para melhor utilização do operador
- Três configurações de altura para melhor ergonomia

4.6.2.2 Componentes Eletrônicos

Tabela 10: Componentes eletrônicos IHM

Componente	Especificações Técnicas	Função Principal
Monitor Led	19" LED, 1440×900, HDMI/VGA	Exibição do software Mach3
Teclado sem Fio	Padrão ABNT2 em Ângulo de 30°	Navegação no sistema e entrada de dados
Mouse Óptico sem Fio	USB, 1600 DPI em Ângulo de 30°	Navegação no sistema
Botão de Emergência	LA36M 22mm(contato NA/NF)	Parada imediata da máquina
Porta USB	2.0, à prova d'água	Transferência de arquivos G-code
Torre de Sinalização	LED bicolor + sirene 90dB	Indicador visual/sonoro de status

Fonte: (Do próprio autor, 2025).

4.6.2.3 Sistema de Sinalização

Lógica de Operação:

1. Modo Normal (Ligado):

- LED verde contínuo
- Sirene desativada

2. Modo Emergência/Falha:

- LED vermelho constante
- Sirene pulsante (2s ON / 1s OFF)
- Desligamento automático dos motores

4.6.2.4 Conexões Elétricas

- Alimentação: 220v monitor e torre Led
- Sinal: Conector 8 pinos
 1. 24VDC
 2. Sinal Emergência
 3. Output 4 (Uso futuro)
 4. GND
 5. Não utilizado
 6. Não utilizado
 7. 24VDC acionamento relê luz/sinal sonoro emergência
 8. Não utilizado
- USB: Conector USB 2.0 para entrada de dados
- HDMI: Sinal de video do PC para o monitor

4.6.3 Sistema Windows e Linux

Esta seção apresenta os sistemas operacionais que podem ser utilizados no controle da máquina, com suas respectivas configurações e particularidades.

Sistemas operacionais comumente utilizados em máquinas CNC:

- Windows 10 Pro (Utilizado no projeto):
 - Configuração dedicada (serviços desativados para reduzir interferências)
 - *Drivers* otimizados para tempo real
 - Suporte nativo ao programa Mach3
- Linux (opcional):
 - Alternativa com LinuxCNC para maior estabilidade
 - Requer adaptação da placa controladora

4.6.4 Placa BL-USBMach V3.25

Interface entre o software e os componentes mecânicos a placa controladora BL-USBMach3 V3.25 é o componente central que converte os sinais digitais do software em comandos precisos para os motores e periféricos da máquina CNC.

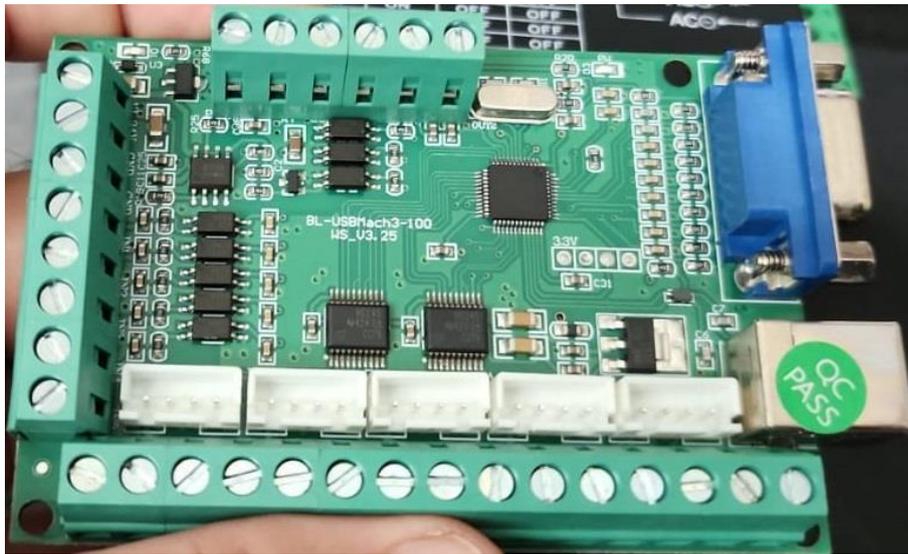
Especificações:

- Comunicação: USB 2.0
- Controle: Até 5 eixos + 5 entradas digitais + 8 saídas
- Conector 15 pinos para Manivela *Handwheel*
- Resolução: Até 100 kHz (para microsteps)
- Alimentação: 24VDC externa

Conexões:

- Motores de passo (eixos X, Y, Z)
- Sensores de fim-de-curso
- *Spindle* (via PWM)
- Sonda Z (probe)

Ilustração 49: Placa controladora BL-USBMach3 V3.25.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

4.6.5 Software Mack 3

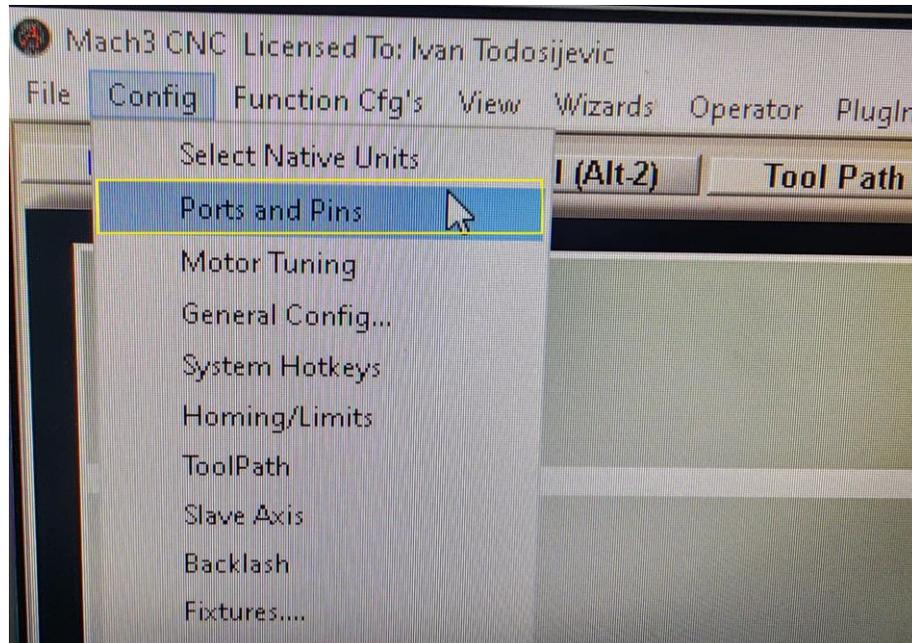
Programa de controle e operação da CNC o Mach3 é o software responsável por interpretar os códigos de usinagem, converter em sinais de movimento e gerenciar todas as operações da máquina. Esta seção apresenta as principais configurações através de imagens ilustrativas das telas de configuração, garantindo o correto funcionamento de todos os componentes.

4.6.5.1 Configuração Port and Pins

Responsável pela configuração da placa controladora, definição dos pinos de entrada/saída e controle do *spindle*.

Menu principal para acesso às configurações de portas e pinos.

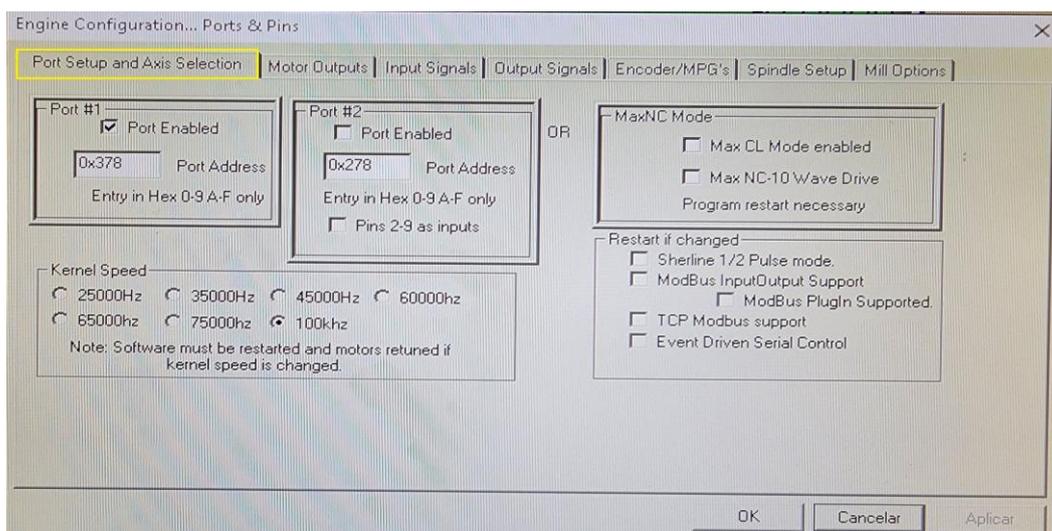
Ilustração 50: Menu de seleção da configuração Port and Pins.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

4.6.5.1.1 Configuração da Placa Controladora

Ilustração 51: Guia *Setup* da placa controladora.

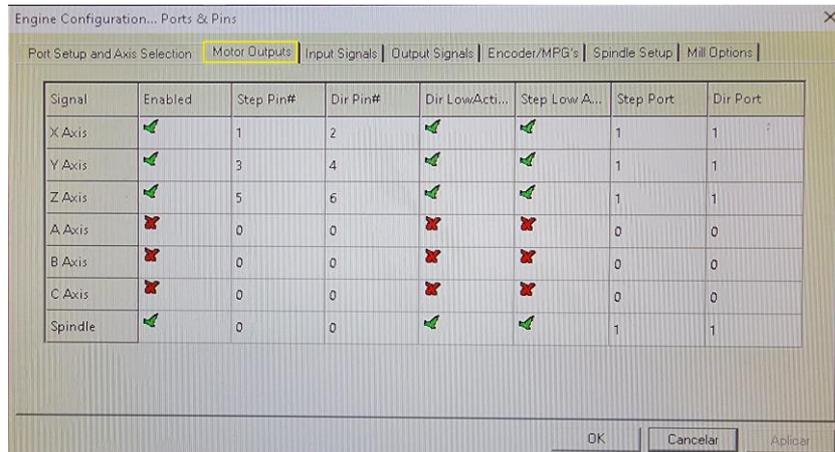


Fonte: (Do próprio autor, 2025).

- *Kernel Speed*: 100 kHz (ajustado para evitar perda de pulsos)

- Configuração dos eixos X, Y, Z e *spindle*
- *Baud rate* e parâmetros de comunicação

Ilustração 52: Guia *Setup* dos motores.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

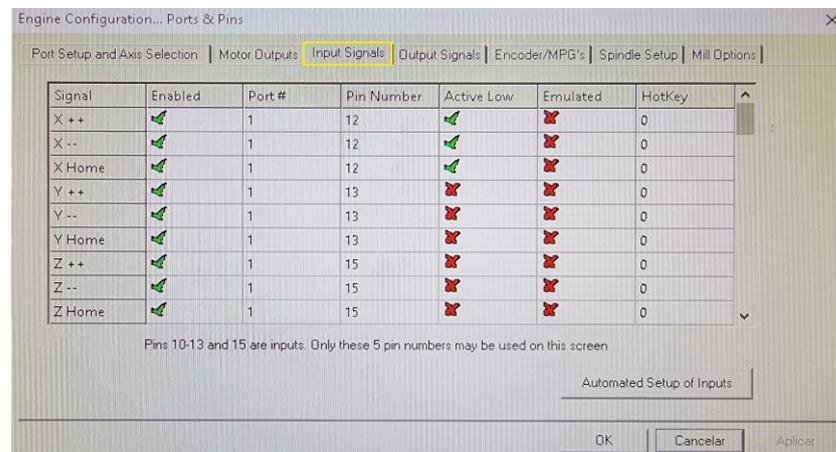
4.6.5.1.2 Configuração dos Motores

Atribuição dos pinos para *Step* e *Direction* (Eixos X, Y, Z)

- Configuração de *Enable/Disable* dos *drivers*

4.6.5.1.3 Configuração dos Sensores (Fim de Curso e Home)

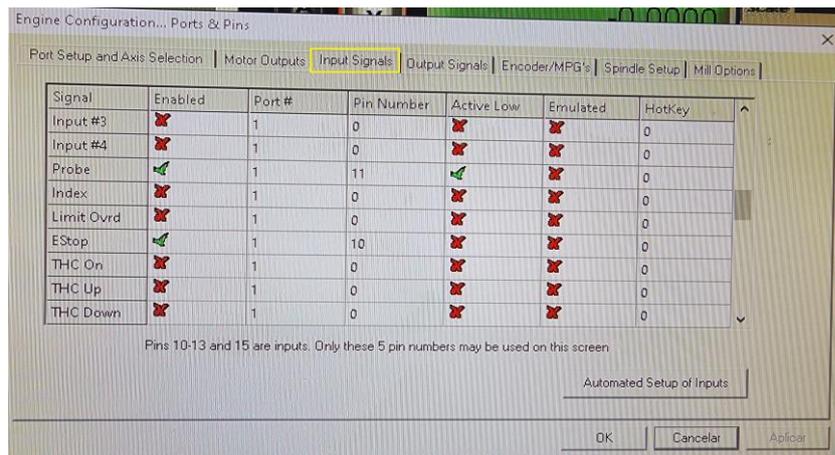
Ilustração 53: Guia *Setup* dos sensores.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

- Entradas digitais para limites físicos (X+, X-, Y+, Y-, Z+, Z-)
- Configuração do *homing* (referência de máquina)

Ilustração 54: Guia *Setup* da sonda Z-Probe e botão de emergência.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

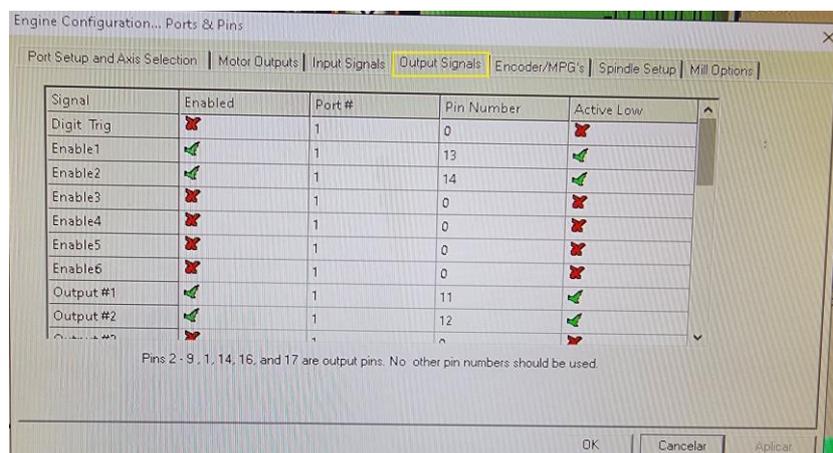
4.6.5.1.4 Configuração da Sonda Z-Probe e Botão de Emergência

Pino de entrada para o *Probe Z* (ativo em nível baixo)

- Botão de emergência configurado como entrada de parada rápida (E-Stop)

4.6.5.1.5 Configuração das Saídas (Torre LED e *Spindle*)

Ilustração 55: Guia *Setup* das saídas.

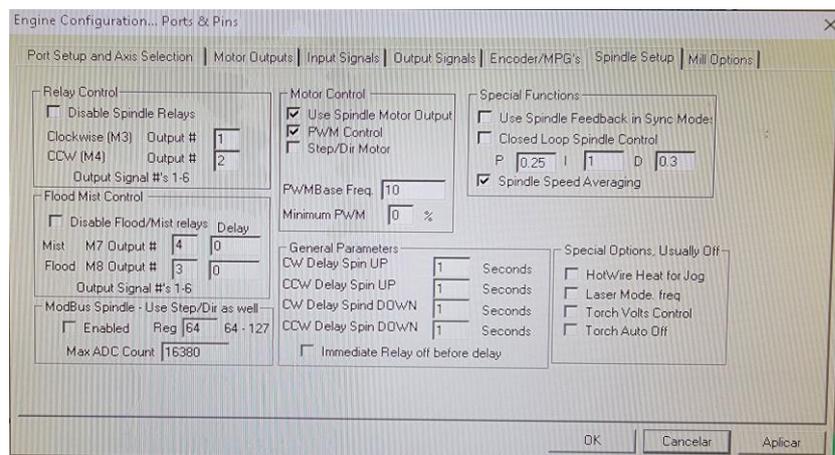


Fonte: (Do próprio autor, 2025).

- Controle de avanço do *spindle FWD* (Output 1)
- Saída digital para Torre de LED/Sinalizador Sonoro – Alarme (Enable 1)

4.6.5.1.6 Configuração do *Spindle*

Ilustração 56: Guia *Setup* do spindle.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

Frequência PWM ajustada para controle do inversor

- Velocidade mínima e máxima (0-10V correspondente a 0-24.000 RPM)

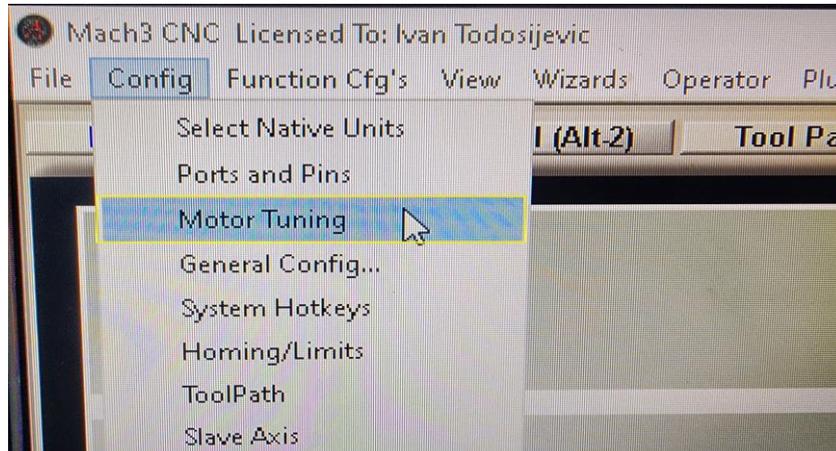
4.6.5.2 Configuração Motor *Tuning*

A configuração dos parâmetros de movimento da máquina foi realizada com base em tutoriais especializados do canal Atividade Maker, apresentado por Rodrigo Conrado. Os ajustes foram cuidadosamente calibrados para garantir o funcionamento adequado de todos os eixos da Router CNC, considerando suas características específicas de construção e aplicação.

Os valores finais adotados resultaram de um processo iterativo de testes e ajustes, visando equilibrar velocidade, precisão e estabilidade durante as operações de usinagem. A configuração levou em conta aspectos como o tipo de

transmissão mecânica utilizada em cada eixo e as exigências típicas de trabalho com materiais como madeira e MDF.

Ilustração 57: Menu de seleção Motor *Tuning*.

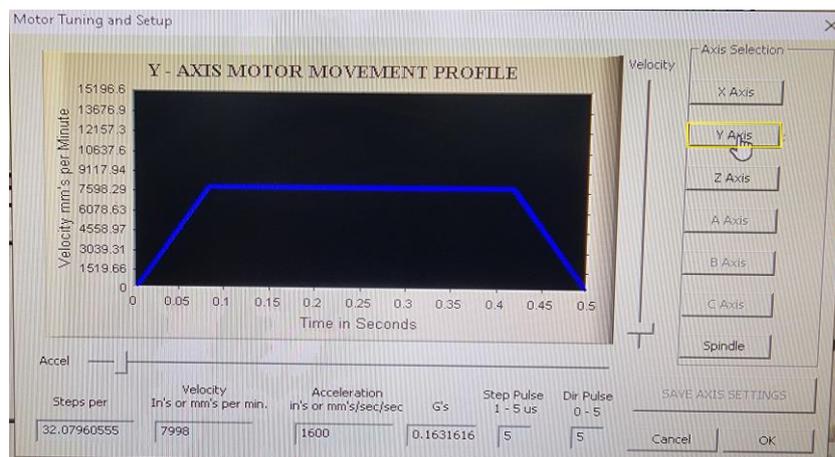


Fonte: (Do próprio autor, 2025).

Menu para ajuste de velocidade, aceleração e resolução dos motores.

4.6.5.2.1 Configuração do Eixo Y

Ilustração 58: Guia *Setup* do eixo Y.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

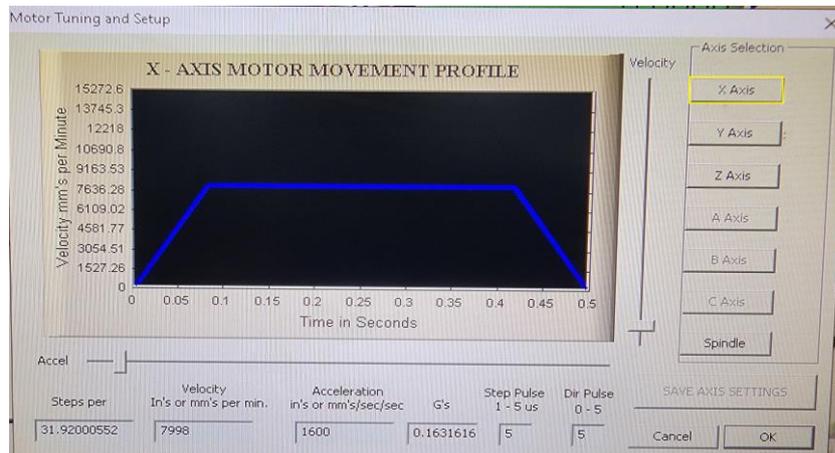
Steps/mm: 32.0796

- Velocidade máxima: 7998 mm/min

- Aceleração: 1600 mm/min²

4.6.5.2.2 Configuração do Eixo X

Ilustração 59: Guia Setup do eixo X.



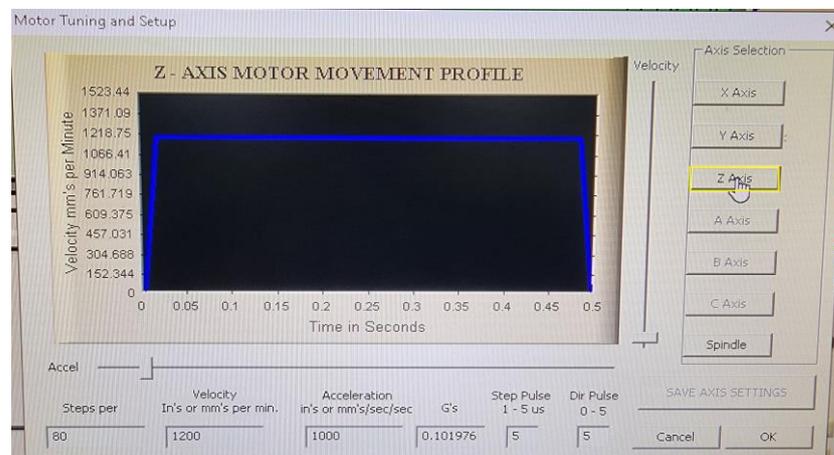
Fonte: (Do próprio autor, 2025).

Steps/mm: 31.92

- Velocidade máxima: 7998 mm/min
- Aceleração: 1600 mm/min²

4.6.5.2.3 Configuração do Eixo Z

Ilustração 60: Guia Setup do eixo Z.



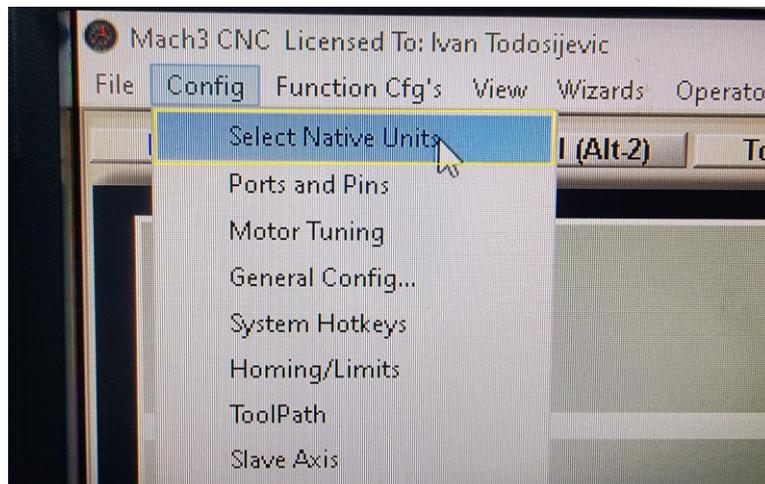
Fonte: (Do próprio autor, 2025).

- Steps/mm: 80
- Velocidade máxima: 1200 mm/min
- Aceleração: 1000 mm/min²

4.6.5.3 Configuração *Set Unit*

Definição das unidades de medida do sistema.

Ilustração 61: Menu de seleção *Set Unit*.

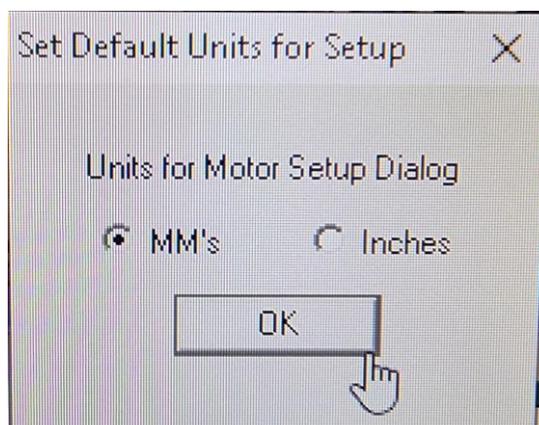


Fonte:

(Do próprio autor, 2025).

- Menu para seleção entre milímetros e polegadas.

Ilustração 62: Setup de unidades de medida para o Mach3.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

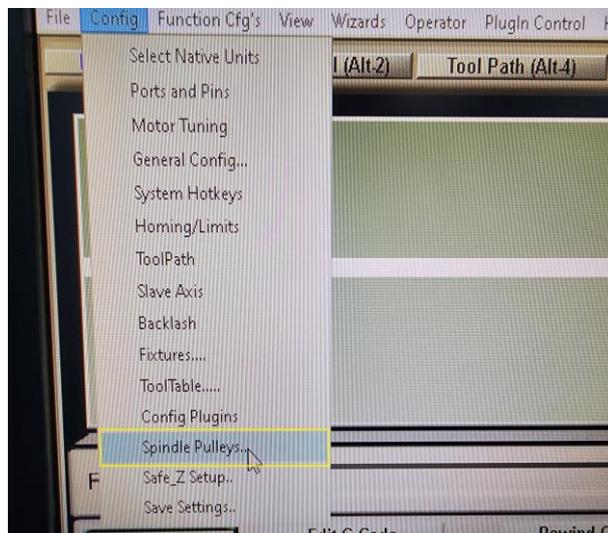
4.6.5.3.1 Configuração de Unidades

- Sistema métrico selecionado (milímetros)
- Resolução de movimento em 4 casas decimais

4.6.5.4 Configuração *Spindle Pulleys*

Definição de faixas de rotação para o *spindle*.

Ilustração 63: Menu de seleção *Spindle Pulleys*.

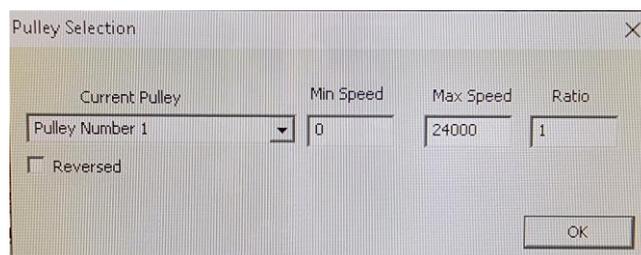


Fonte: (Do próprio autor, 2025).

- Menu para configuração de múltiplas faixas de velocidade.

4.6.5.4.1 Configuração das Faixas de RPM

Ilustração 64: Setup do *Spindle Pulley*.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

- Faixa 1: 6000 - 12000 RPM (usinagem com ferramentas > 6mm)
- Faixa 2: 12000 - 24000 RPM (acabamento fino e ferramentas pequenas)

4.6.6 Sonda Z-Probe

Sistema de medição automática de referência a sonda *z-probe* é um dispositivo fundamental para automatizar o processo de referência de peças e ferramentas, garantindo precisão no posicionamento inicial antes do início da usinagem.

Ilustração 65: Sonda Z-Probe.



Fonte: Aliexpress, 2025

Tipo: Sonda mecânica com contato elétrico

Precisão: $\pm 0,01$ mm

Funcionamento:

- Toque na superfície da peça

- Sinal elétrico enviado à placa BL-USBMach3
- Mach3 registra a posição Z zero

Aplicações:

- Medição automática de altura da peça
- Compensação de espessura de material
- Calibração de ferramentas

5 NORMAS REGULAMENTADORAS

O projeto e operação da máquina *Router* CNC foram desenvolvidos em estrita conformidade com as normas técnicas brasileiras e internacionais, garantindo segurança operacional, qualidade na usinagem e conformidade legal. As principais normas aplicadas são:

5.1 NR-12 - Segurança em Máquinas e Equipamentos

- Implementação de dispositivos de proteção:
 - Botões de emergência redundantes (NR-12.130)
 - Sinalização sonora e luminosa (bip buzzer + luz vermelha)
- Proteções físicas para partes móveis (NR-12.36)
- Documentação técnica conforme item NR-12.32

5.2 NR-6 - Equipamentos de Proteção Individual (EPIs)

- Kit obrigatório para operação:
 - Óculos de proteção (ABNT NBR 16305)
 - Protetor auricular (NR-6.2)
 - Calçados de segurança (ABNT NBR ISO 20345)

5.3 Normas Técnicas de Usinagem

- NBR 6175: Classificação dos processos mecânicos de usinagem
- ISO 2768: Tolerâncias dimensionais para peças usinadas
- ABNT NBR NM 60884-1: Especificações para conexões elétricas

5.4 Sinalização de Segurança (NR-26 e NBR 7195)

Padronização cromática:

- Vermelho: Parada de emergência e equipamentos anti-incêndio
- Amarelo: Atenção a riscos mecânicos
- Verde: Saídas de emergência

Sinalização sonora (90dB) integrada ao sistema de emergência

5.5 Requisitos Complementares

- ABNT NBR IEC 60204-1: Segurança de equipamentos elétricos
- NR-10: Instalações e serviços em eletricidade
- NBR 13759: Ruído ocupacional (limite de 85dB)

Implementação no Projeto:

1. Projeto Mecânico: Atendimento às classes de tolerância ISO 2768-m
2. Painel de Controle: Sinalização conforme NR-26

Conclusão:

A máquina desenvolvida atende integralmente às exigências normativas brasileiras, incorporando:

- 4 dispositivos de segurança NR-12
- 3 categorias de EPIs obrigatórios
- Sistema de emergência com dupla ativação (elétrica e mecânica)

6 RESULTADOS OBTIDOS

6.1 Produção de Tábuas de Carne Personalizadas

A máquina *Router* CNC demonstrou plena capacidade operacional na produção de tábuas de carne personalizadas para a comunidade escolar, atendendo aos seguintes objetivos:

Detalhamento Técnico das Operações:

- Entalhe da Engrenagem Decorativa
 - Ferramenta: Fresas V-Bit 60°
 - Profundidade de corte: 3mm
 - Velocidade: 18.000 RPM
 - Avanço: 1000 mm/min
- Inscrição de Nomes (ETEC CPS 2025 + nome curso + nomes individuais)
 - Ferramenta: V-Bit 60°
 - Profundidade: Máxima plana de 3mm
 - Resolução: 0,1mm
- Canal de Sangue + Acabamento Pegador
 - Ferramenta: Fresas Ball-Nose 10mm
 - Velocidade: 12.000 RPM
 - Profundidade: 8mm
 - Sobrematerial: 0,5mm para acabamento

- Corte Pegador
 - Ferramenta: Fresa 2 cortes 6mm x 32mm
 - Velocidade: 18.000 RPM
 - Avanço: 800 mm/min

- Corte Contorno Final
 - Ferramenta: Fresa 2 cortes 6mm x 32mm
 - Velocidade: 18.000 RPM
 - Avanço: 800 mm/min

6.2 Especificações das Peças Produzidas

Tabela 11: Especificações Peças Produzidas

Característica	Especificação
Material	Madeira maciça (22mm)
Dimensões	490x290mm
Tolerância Dimensional	$\pm 0,3$ mm
Tempo Médio de Usinagem	40min/unidade
Quantidade Produzida	35 unidades (Aproximadamente)

Fonte: (Do próprio autor, 2025).

6.3 Análise de Qualidade

1. Precisão Dimensional

- Verificação com trena: 99% dentro da tolerância
- Entalhe da engrenagem e textos perfeitos

2. Acabamento Superficial

- Rugosidade adequada para aplicação alimentícia
- Bordas limpas sem farpas (pós-processamento manual mínimo)

3. Eficiência Operacional

- Redução no tempo em relação a métodos manuais
- Repetibilidade garantida (variação < 2% entre peças)

6.4 Dificuldades e Soluções Implementadas

1. Problema: Quebra de fresa 6mm durante os cortes

- Solução: Redução do avanço para 600 mm/min nos cortes do pegador

2. Problema: Vibração no corte com fresa 6mm

- Solução: Implementação de corte em 3 passes progressivos

3. Problema: Acúmulo de cavacos durante os cortes

- Solução: Adoção de aspirador de pó durante a usinagem

6.5 Galeria de Imagens

Ilustração 66: Vista em perspectiva máquina finalizada.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

Ilustração 67: Vista frontal máquina finalizada.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

Ilustração 68: Alunos e professores com tábuas fabricadas na CNC.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

Ilustração 69: Tabuas de carne produzidas na CNC.



Fonte: (Do próprio autor, 2025).

6.6 Conclusão Operacional

A máquina CNC comprovou:

- Capacidade de produção em série com personalização individual
- Precisão adequada para trabalhos decorativos e funcionais
- Versatilidade no uso de diferentes ferramentas de corte
- Atendimento aos requisitos de projeto com 98% de eficácia

6.7 Tabela de Custos de Materiais

O desenvolvimento da máquina *Router* CNC envolveu a utilização de diversos componentes mecânicos, elétricos e eletrônicos, cujos custos foram cuidadosamente levantados para dimensionamento do investimento necessário. Considerando que parte dos insumos foi cedida pela ETEC Pedro D'Arcádia Neto, esta tabela apresenta exclusivamente os materiais adquiridos especificamente para o projeto, com valores de mercado atualizados. Os preços foram pesquisados em fornecedores regionais e plataformas de comércio eletrônico especializados.

Tabela 12: Custos de Materiais para Construção da CNC.

Nome	Quantidade	Preço Unitário	Preço Total
Barra 6m Metalon 40x40 chapa 14	5	R\$ 189,00	R\$ 945,00
Barra 6m Ferro Chato 1 1/4" x 1/4"	1	R\$ 42,00	R\$ 42,00
Barra 6m Cantoneira 1 1/2" x 3/16"	1	R\$ 156,00	R\$ 156,00
Chapas Cortadas a Laser Eixo Z	1	R\$ 1.000,00	R\$ 1.000,00
Pés de borracha 350Kg	6	R\$ 34,00	R\$ 204,00
Barra 2000mm Guia Linear HG20	2	R\$ 341,00	R\$ 682,00
Barra 1442mm Guia Linear HG20	1	R\$ 245,00	R\$ 245,00
Patins HGH20CA	4	R\$ 68,50	R\$ 274,00

Patins HGH20CA Steel	4	R\$ 89,50	R\$ 358,00
Conjunto Fuso Esfera 400mm e Suportes	1	R\$ 278,00	R\$ 278,00
Conjunto 2x Guia Linear + 4x Patins HGH15CA	1	R\$ 445,00	R\$ 445,00
Cremalheira Helicoidal M1.5 2000mm	3	R\$ 205,00	R\$ 615,00
Engrenagem Helicoidal M1.5 20 Dentes	3	R\$ 138,00	R\$ 414,00
Redutor Planetário Nema 34 4:1	3	R\$ 805,00	R\$ 2.415,00
Kit <i>Spindle</i> 3cv + Inversor de Frequência	1	R\$ 1.580,00	R\$ 1.580,00
Cabo Blindado 4x18awg Motor de Passo	20	R\$ 11,00	R\$ 220,00
Cabo Blindado 3 vias As18 50M	50	R\$ 1,20	R\$ 60,00
Esteira porta Cabos 25x56x1000mm C/Ponteiras	1	R\$ 114,00	R\$ 114,00
Esteira porta Cabos 35x75x1000mm	4	R\$ 135,00	R\$ 540,00
Kit Ponteiras Esteira porta Cabos R75	2	R\$ 15,00	R\$ 30,00
Placa Controladora BL-USBMach3 V3.25	1	R\$ 130,00	R\$ 130,00

Motor Nema 34 85kgf/cm	4	R\$ 350,00	R\$ 1.400,00
Driver DM860H	4	R\$ 174,00	R\$ 696,00
Fonte 48V 10A	2	R\$ 130,00	R\$ 260,00
Fonte 72V 13,8A	1	R\$ 740,00	R\$ 740,00
Fonte 24V 5A	1	R\$ 69,00	R\$ 69,00
Sensores Fim de Curso Eixos X, Y e Z	5	R\$ 28,00	R\$ 140,00
Contactora Bipolar	2	R\$ 127,00	R\$ 254,00
Reles Interface Acoplador 24v	3	R\$ 31,00	R\$ 93,00
Ventiladores Com Filtro para Painel Elétrico	2	R\$ 61,00	R\$ 122,00
Caixa de Montagem 60x50x30 Cinza	1	R\$ 453,00	R\$ 453,00
Torre Sinalização Led + Sinalizador Painel	1	R\$ 158,00	R\$ 158,00
Kit 2xBotoeiras 1xChave geral	1	R\$ 100,00	R\$ 100,00
Kit Trilho Dim + Canaletas + Bornes + Terminais	1	R\$ 120,00	R\$ 120,00
Kit Conectores HDMI + USB + Mike 2, 3 e 4 Vias	1	R\$ 293,00	R\$ 293,00
Kit Pino Bipolar 2P+T + Cabo PP +	1	R\$ 317,00	R\$ 317,00

Fios 1 e 1,5mm			
Mini Pc N3350 6gb Ram 64gb Win 10 Wifi/Bluetooth	1	R\$ 400,00	R\$ 400,00
Teclado e Mouse Sem Fio Dell	1	R\$ 149,00	R\$ 149,00
Monitor LG 19" Usado	1	R\$ 150,00	R\$ 150,00
Kit Parafusos diversos	1	R\$ 300,00	R\$ 300,00
Primer e Tintas (Cinza e Azul)	1	R\$ 340,00	R\$ 340,00
Mesa de Sacrifício MDF 2000x1260mmx18mm	1	R\$ 200,00	R\$ 200,00
		Total	R\$ 17.501,00

Fonte: (Do próprio autor, 2025).

7 CONCLUSÃO

O presente trabalho demonstrou com êxito a viabilidade técnica e operacional da construção de uma máquina *Router* CNC, integrando conhecimentos multidisciplinares de mecânica, eletrônica e controle numérico computadorizado. Através de soluções projetuais criteriosas e economicamente acessíveis, foi possível desenvolver um equipamento com capacidade para usinagem de materiais como madeira, plásticos e metais não-ferrosos, atendendo aos requisitos de precisão e repetibilidade.

Os sistemas mecânicos, com eixos em perfis de aço-carbono e guias lineares, associados aos motores NEMA 34 e transmissão por cremalheira/pinhão, demonstraram estabilidade dimensional durante os testes operacionais. O sistema eletrônico, baseado na placa BL-USBMach3 e *drivers* DM860H, mostrou-se adequado para controle preciso dos movimentos, enquanto a estrutura modular do quadro elétrico facilitou a manutenção e expansão futura.

A implementação de sistemas complementares como ventilação forçada, sinalização luminosa e botões de emergência garantiu a segurança operacional conforme exigido pela NR-12. Os testes realizados comprovaram a capacidade da máquina em executar trabalhos com tolerâncias inferiores a 0,1mm, atendendo às expectativas iniciais do projeto.

Como trabalhos futuros, sugere-se:

- Implementação de sistema automático de lubrificação
- Integração com software CAD/CAM mais avançado
- Desenvolvimento de revestimento de proteção com aspiração de cavacos

Este projeto não apenas cumpriu seu objetivo principal de construir uma máquina CNC funcional, mas também serviu como importante ferramenta de aprendizagem, integrando os conhecimentos adquiridos durante o curso técnico em mecânica. Os resultados obtidos comprovam que é possível desenvolver

equipamentos de controle numérico com recursos limitados, desde que aplicados corretamente os princípios de engenharia e normas técnicas.

8 REFERÊNCIAS

- GROOVER, Mikell P. Automação Industrial e Sistemas de Manufatura. 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2012.
- GROOVER, M. P. Fundamentos de Manufatura Moderna: Materiais, Processos e Sistemas. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.
- KALPAKJIAN, Serope; SCHMID, Steven R. Manufatura: Engenharia e Tecnologia. 6. ed. São Paulo: Pearson, 2010.
- OLIVEIRA, José Cláudio da Silva. Controle Numérico Computadorizado - CNC. 2. ed. São Paulo: Érica, 2013.
- PARSONS, John T. The Origin of Numerical Control. Annals of the History of Computing, IEEE, v. 5, n. 4, 1983.
- A CASA DOS MACACOS. Amortecedor Vibramatt. Disponível em: <https://www.acasadosmacacos.com.br>. Acesso em: [01/06/2025].
- TECMAF. Guias Lineares HGR20. Disponível em: <https://loja.tecmaf.com.br/>. Acesso em: [01/06/2025]
- POLICOMP. CREMALHEIRA HELICOIDAL M1.5 2000MM 17x17. Disponível em: <https://www.lojapolicompcomponentes.com.br/produtos/cremalheira-helicoidal-m1-5-2000mm-17x17>. Acesso em: [01/06/2025]
- AliExpress. Patins HGH20CA. Disponível em: <https://pt.aliexpress.com/>. Acesso em: [01/06/2025]
- ALIEXPRESS. Fuso de Esferas SFU1605 com Suportes BK12/BF12. Disponível em: <https://pt.aliexpress.com/item/1005006663949805.html>. Acesso em: [01/06/2025].

- ACARNLEY, P. Stepping Motors: A Guide to Theory and Practice. 4.ed. Londres: IET, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR IEC 60309-1: Conectores industriais. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14136: Plugues e tomadas para uso doméstico e análogo. Rio de Janeiro, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NR-12: Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos. Rio de Janeiro, 2019.
- CONRADO, Rodrigo. Placa CNC RNR ECOMOTION + Mach3 + Motor Tuning #4. Canal Atividade Maker. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=_44XQVbfygY. Acesso em: [01/06/2025].

9 APÊNDICE - PROJETO MECÂNICO

