



Universidade de Brasília – UnB
Faculdade UnB Gama – FGA
Engenharia Automotiva

Projeto Mecânico de um Mini Torno CNC

Autores: Genilson Ferreira dos Anjos Junior
Renata Lorrany Aparecida Freitas
Orientadores: Prof. Dr. Rhander Viana

Brasília, DF
2023



Genilson Ferreira dos Anjos Junior
Renata Lorrany Aparecida Freitas

Projeto Mecânico de um Mini Torno CNC

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Automotiva da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva.

Universidade de Brasília – UnB

Faculdade UnB Gama – FGA

Orientador: Prof. Dr. Rhander Viana

Brasília, DF

2023

Genilson Ferreira dos Anjos Junior
Renata Lorrany Aparecida Freitas
Projeto Mecânico de um Mini Torno CNC/ Genilson Ferreira dos Anjos Junior
Renata Lorrany Aparecida Freitas. – Brasília, DF, 2023
69 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Rhander Viana

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília – UnB
Faculdade UnB Gama – FGA , 2023.

1. Torno. 2. CNC. I. Prof. Dr. Rhander Viana. II. Universidade de Brasília.
III. Faculdade UnB Gama. IV. Projeto Mecânico de um Mini Torno CNC

CDU 02:141:005.6

Genilson Ferreira dos Anjos Junior
Renata Lorrany Aparecida Freitas

Projeto Mecânico de um Mini Torno CNC

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Automotiva da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva.

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 26 de Julho de 2023 – Data da aprovação do trabalho:

Prof. Dr. Rhander Viana
Orientador

Me. Danilo dos Santos Oliveira
Convidado 1

Dr. Paolo Gessini
Convidado 2

Brasília, DF
2023

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por me conceder a vida e a saúde que me permitiram chegar até aqui e enfrentar os desafios que surgiram ao longo desta jornada.

A meus pais, Genilson Ferreira e Lenilza Teixeira, que desde o início me guiaram com amor, paciência e dedicação incansável. Aos meus irmãos, Tamires Teixeira e Lucas Teixeira, que estiveram presentes em cada etapa da minha criação, apoiando e acreditando em meu potencial. Obrigado por investirem na minha educação e por serem os melhores exemplos que eu poderia ter.

Agradeço, em especial, à minha namorada Tainah Nayara, por ser a luz que ilumina meus dias e a força que me impulsiona a seguir em frente, mesmo diante das adversidades. Sua presença e apoio constantes foram essenciais para alcançar esse momento tão importante.

À Equipe UnBaja, meus colegas de curso, que além de compartilharmos conhecimentos e desafios, vivemos momentos únicos e enriquecedores. Vocês deixaram uma marca significativa em minha trajetória pessoal, acadêmica e profissional.

À minha dupla de TCC, Renata Freitas, agradeço pela parceria, empenho e dedicação durante todo o processo de desenvolvimento desse projeto. Nossa colaboração foi fundamental para o sucesso desta empreitada acadêmica.

Agradeço ao meu colega de curso, Celso Augusto, que esteve ao meu lado durante toda a graduação, proporcionando suporte e amizade em diversas disciplinas.

Não posso deixar de expressar minha imensa gratidão ao professor orientador Rhander Viana. Sua ajuda, paciência e compreensão foram fundamentais para o sucesso deste trabalho acadêmico.

Por fim, um agradecimento especial ao Júlio César, que nos inspirou com o protótipo de sua autoria durante a fase de concepção do projeto. Sua contribuição foi de valor inestimável e trouxe um diferencial significativo ao nosso trabalho.

A cada pessoa que, direta ou indiretamente, contribuiu para a minha formação, meu mais profundo agradecimento. Cada palavra de encorajamento, gesto de apoio e motivação foram cruciais para que eu me tornasse quem sou hoje.

Que este agradecimento não seja apenas palavras escritas, mas um sincero reconhecimento da minha gratidão a todos vocês, que de alguma forma, fizeram parte dessa caminhada.

Genilson Ferreira dos Anjos Junior

Agradeço aos meus familiares e amigos que durante toda a graduação estiveram presentes me ajudando e apoiando, em especial minha mãe Maria José da Silva Freitas.

Sou grata aos meus colegas de faculdade e estágio que participaram da minha formação me dando força e direcionamento quando o caminho não parecia mais ter fim. Em especial a Equipe FGR que me proporcionou as melhores e mais valiosas experiência para minha formação profissional, a todos os membros que já fizeram, fazem e farão parte da FGR meu maior carinho e admiração.

Sou imensamente grata ao meu amigo e companheiro de TCC Genilson Ferreira dos Anjos Junior por toda paciência e conhecimento compartilhado e ao nosso orientador, Prof. Dr. Rhander Viana, que nos guiou e incentivou durante essa jornada.

E por fim agradeço também a todos os professores, técnicos e funcionários da Faculdade do Gama, sem eles essa instituição nada seria.

Renata Lorrany Aparecida Freitas

Resumo

Nesse trabalho serão apresentadas informações referentes a proposta de desenvolvimento do projeto mecânico de um mini torno CNC para ser utilizado em aulas práticas de processos de fabricação no Laboratório de Desenvolvimento de Transportes e Energias Alternativas da Universidade de Brasília – Faculdade do Gama. A principal motivação é criar um equipamento de usinagem seguro e acessível para fins didáticos. O objetivo geral do trabalho é desenvolver um projeto de um torno e implementar o comando numérico computadorizado, realizando o dimensionamento de motores, polias, correias e selecionando os componentes mais adequados. O trabalho se divide em seis capítulos que incluem introdução, revisão bibliográfica, estudo de mercado, projeto conceitual, considerações finais e conclusão. Durante o desenvolvimento do projeto conceitual são listados os componentes necessários para realização do projeto e o orçamento dos mesmos e também o processo de implementação do sistema CNC. Por fim são apresentadas as etapas de fabricação e de validação que devem ser aplicadas ao projeto na prática e também são propostas melhorias futuras envolvendo a implementação de um sistema de troca de ferramentas e um sistema de proteções de segurança. Conclui-se com esse trabalho que o desenvolvimento de um mini torno CNC para fins didáticos é financeiramente mais atrativo do que a compra de um modelo comercial. No apêndice do projeto estão disponíveis os desenhos técnicos.

Palavras-chave: Tono. CNC. Usinagem.

Abstract

In this work, information will be presented regarding the proposed development of the mechanical design of a mini CNC lathe to be used in practical classes on manufacturing processes at the Laboratory for the Development of Transport and Alternative Energy at the University of Brasília - Faculdade do Gama. The main motivation is to create safe and affordable machining equipment for teaching purposes. The general objective of the work is to develop a design of a lathe and implement the computerized numerical command, performing the sizing of motors, pulleys, belts and selecting the most appropriate components. The work is divided into six chapters that include introduction, bibliographic review, market study, conceptual project, final considerations and conclusion. During the development of the conceptual project, the necessary components to carry out the project and their budget are listed, as well as the process of implementing the CNC system. Finally, the manufacturing and validation steps that must be applied to the project in practice are presented and future improvements are also proposed involving the implementation of a tool exchange system and a safety protection system. It is concluded with this work that the development of a mini CNC lathe for didactic purposes is financially more attractive than the purchase of a commercial model. The technical drawings are available in the project appendix.

Key-words: Lathe. CNC. Machining.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Avanços no Torneamento.	17
Figura 2 – Principais operações de usinagem que podem ser realizadas nos tornos.	18
Figura 3 – Movimentos Ativos do Torneamento.	19
Figura 4 – Representação dos movimentos no processo de torneamento.	21
Figura 5 – Visão Geral de tamanhos e grupos de tornos.	22
Figura 6 – Matriz de Posicionamento no Mercado.	26
Figura 7 – Seções de correias em V padronizadas.	32
Figura 8 – Conector Fêmea da Porta Paralela (Vista da parte traseira do PC)	34
Figura 9 – Diagrama de Montagem do Sistema CNC	35
Figura 10 – Vista Isométrica do Mini-Torno CNC	39
Figura 11 – Vista Lateral do Mini-Torno CNC	40
Figura 12 – Vista Frontal do Mini-Torno CNC	40
Figura 13 – Proteção paara Placa de Torno Até 600mm - NR12.	44
Figura 14 – Proteção articulável para o carro porta ferramentas - NR12.	44

Lista de tabelas

Tabela 1 – Modelos Comerciais e Principais Características	25
Tabela 2 – Mini Torno CNC: Principais Características	27
Tabela 3 – Requisitos Funcionais do Projeto	28
Tabela 4 – Parâmetros das Correias de Transmissão	32
Tabela 5 – Lista de Componentes	36
Tabela 6 – Lista de Fixadores	37
Tabela 7 – Orçamento dos Custos dos Componentes	38

Lista de abreviaturas e siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
CNC	Comando Numérico Computadorizado
FGA	Faculdade do Gama
ISO	Organização de Padronização Internacional
LTDEA	Laboratório de Desenvolvimento de Transportes e Energias Alternativas
NBR	Normas Técnicas Brasileiras
NR	Norma Regulamentadora
PC	Computador
UnB	Universidade de Brasília

Lista de símbolos

a_p	Profundidade de corte
D	Diâmetro da peça a ser usinada
d	Diâmetro da ferramenta
f	Avanço
F_c	Força de corte
h	Espessura do cavaco
K_c	Força de corte específica
$K_{c1.1}$	Força de corte específica para um cavaco de área = $1mm^2$
m_c	Constante do material
n	Rotação
P_c	Potência requerida
V_c	Velocidade de corte
V_f	Velocidade de avanço
χ	Ângulo de posição

Sumário

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Motivação	14
1.2	Objetivos do Projeto	14
1.2.1	Objetivo Geral	14
1.2.2	Objetivos Específicos	14
1.3	Metodologia de Projeto e Organização do Trabalho	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Usinagem	16
2.2	O Processo do Torneamento	17
2.2.1	Parâmetros e Grandezas Físicas do Torneamento	18
2.3	Tipos de Torneamento	21
2.4	Comando Numérico Computadorizado (CNC)	22
2.5	Comando Numérico Computadorizado em Tornos	24
3	ESTUDO DE MERCADO	25
3.1	Modelos Comerciais	25
3.2	Posicionamento de Mercado	26
4	PROJETO CONCEITUAL	28
4.1	Concepção e Requisitos	28
4.2	Dimensionamento	28
4.2.1	Motores	30
4.2.2	Eixo Árvore	31
4.2.3	Correia	31
4.2.4	Chaveta	32
4.2.5	Polias	33
4.3	Implementação do CNC	33
4.4	Lista de Componentes	35
4.4.1	Orçamento de componentes	37
5	CONSIDERAÇÃO FINAIS	39
5.1	Resultados Obtidos	39
5.2	Resultados Esperados	40
5.2.1	Fabricação	40
5.2.2	Validação	42

5.3	Propostas de Melhorias Futuras	43
5.3.1	Sistema de Proteção	43
5.3.2	Sistema de Troca de Ferramentas	45
6	CONCLUSÃO	46
	REFERÊNCIAS	47
	APÊNDICES	48
	APÊNDICE A – DESENHOS TÉCNICOS	49

1 Introdução

Este capítulo apresenta a motivação para o tema abordado, bem como os objetivos, a metodologia de projeto e a organização do mesmo.

1.1 Motivação

No Laboratório de Desenvolvimento de Transportes e Energias Alternativas (LT-DEA) da Universidade de Brasília (UnB) Faculdade do Gama (FGA) são ministradas aulas práticas de processos de fabricação, durante as aulas são apresentados o funcionamento de diversas máquinas operatrizes, entre elas furadeira de bancada, fresadora, serra fita horizontal, tornos mecânicos, tornos de comando numérico computadorizado (CNC), entre outros. Além das aulas o LTDEA tem como objetivo ser um espaço completo e seguro para o desenvolvimento de projetos de alunos e professores da UnB.

Diante deste cenário a proposta de um mini torno CNC surge como uma solução que permite aliar as características de um torno mecânico com as facilidades da automação e a praticidade e segurança de uma máquina de pequeno porte, podendo ser utilizado como um torno CNC didático e também como um torno CNC para pequenas produções, dessa forma garantindo uma experiência mais segura para as aulas de processos de fabricação onde os alunos, em sua maioria, tem um primeiro contato com essas máquinas operatrizes.

1.2 Objetivos do Projeto

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver o projeto mecânico de um mini torno CNC que possua a geometria simples e implementar um sistema de comando numérico computadorizado.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Estudar a literatura a respeito de usinagem, processo de torneamento e comando numérico computadorizado.
- Dimensionamento de Motores, Correias e Polias.
- Realizar a seleção de componentes que atendam às necessidades do projeto.
- Realizar uma análise para validar a estrutura do torno mecânica.

1.3 Metodologia de Projeto e Organização do Trabalho

Este trabalho está dividido em seis capítulos, que a seguir são brevemente apresentados.

O presente capítulo apresenta a contextualização do trabalho, trazendo uma explicação da motivação que levou a escolha do tema e expondo os objetivos almejados com a realização do mesmo, além de apresentar a organização do projeto.

O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica, na qual o leitor é introduzido aos principais tópicos para compreender o desenvolvimento do projeto. Sendo abordados os conceitos de usinagem, o processo de torneamento e suas grandezas físicas, os tipos de torno, o comando numérico computadorizado e sua aplicação em tornos, uma explanação sobre as possíveis fontes de erro e os quesitos de segurança de um mini torno CNC.

O capítulo 3 apresenta um estudo de mercado que justifica a construção de um Mini-Torno CNC em contrapartida a compra de um, explicando as demandas, implicações gerais e modelos comerciais.

No capítulo 4 temos a introdução do leitor ao projeto conceitual do Mini-torno a ser desenvolvido, nesse capítulo se encontra todas as definições e características do projeto, os cálculos de dimensionamentos, lista de componentes e orçamento.

O capítulo 5 apresenta as considerações finais e os resultados obtidos durante o desenvolvimento do projeto, apresenta também a proposta de melhorias futuras que poderiam ser implementadas no projeto, para garantir maior segurança e proporcionar um sistema de troca de ferramentas que proporcionaria uma maior versatilidade do mesmo.

Por fim o capítulo 6 apresenta a conclusão e em seguida o o apêndice evidencia os desenhos técnicos do projeto.

2 Revisão Bibliográfica

Neste capítulo são apresentados os conhecimentos necessários para o desenvolvimento do projeto mecânico do mini torno CNC, onde serão abordados o conceito de usinagem, o processo de torneamento, e o comando numérico computadorizado. As informações apresentadas neste capítulo foram obtidas em livros, artigos de engenharia e normas regulamentadoras.

2.1 Usinagem

A usinagem é um conjunto de processos de manufatura nos quais uma ferramenta de corte é usada para remover o excesso de material de um sólido de tal maneira que o material remanescente tenha a forma da peça desejada (KIMINAMI; CASTRO; OLIVEIRA, 2013). O excesso de material que é removido durante a usinagem possui o nome de cavaco, o cavaco pode ser definido como a porção de material que é retirada pela ferramenta, caracterizado por sua forma geométrica irregular (FERRARESI, 1970).

A usinagem pode ser utilizada como processo principal de fabricação como também pode ser um processo complementar para dar acabamento em peças obtidas através de outros processos como por exemplo a fundição. Ela é um do conjunto de processos de manufatura mais importantes e pode ser aplicada a uma variedade de matérias para obter diversas geometrias (KIMINAMI; CASTRO; OLIVEIRA, 2013), essa característica torna a usinagem um processo de fabricação muito versátil e muito utilizado, que com o desenvolvimento de novas tecnologias ao longo do tempo se tornou cada vez mais preciso o que garante aos produtos ótimos acabamentos superficiais e possibilita a redução de tolerâncias dimensionais, o que a torna a usinagem um processo amplamente utilizado em diferentes setores industriais, como o automotivo, aeroespacial, metalúrgico, naval, engenharia biomédica, entre outros.

Ainda segundo (KIMINAMI; CASTRO; OLIVEIRA, 2013) a usinagem pode ser dividida em três tipos de processos: processos de corte, processos abrasivos e processos avançados de usinagem. Neste trabalho o processo abordado é o torneamento que faz parte do grupo de processos de corte e será mais explorado nas seções subsequentes.

A precisão dimensional e o acabamento superficial são requisitos importantes na usinagem. Para alcançar esses resultados, é fundamental o uso de ferramentas de corte adequadas, máquinas de alta precisão e técnicas de usinagem avançadas. Além disso, a seleção correta dos parâmetros de corte, como velocidade de corte, avanço e profundidade de corte, também desempenha um papel crucial na obtenção de resultados desejados,

esses parâmetros serão explorados com maior detalhamento no item 2.2.2 deste capítulo com foco no torneamento.

Devido à sua importância na indústria a usinagem tem sido amplamente estudada e novas tecnologias relacionadas aos materiais utilizados nas ferramentas de corte, sua vida útil, os parâmetros de usinagem e o impacto deles na qualidade das peças veem surgindo. Esses e outros temas de pesquisas permitem o avanço da usinagem e a otimização desse processo, o que o torna atemporal e de suma importância na formação de engenheiros.

2.2 O Processo do Torneamento

O processo de torneamento faz parte do grupo de processos de corte dentro da usinagem, como citado anteriormente. O torneamento consiste na remoção de cavaco para superfícies cilíndricas e cônicas com a utilização de uma ou mais ferramentas monocortantes. Esse processo utiliza uma máquina operatriz denominado torno, no qual se faz a fixação da peça na placa que efetua o movimento de rotação enquanto uma ferramenta de corte realiza o movimento de avanço ao longo da superfície da peça, retirando a quantidade de material desejada.

A ferramenta atua em um único ponto na remoção do material da peça que, por sua vez, é rotacionada em torno de seu eixo longitudinal (40 a 2500 rpm), enquanto a ferramenta é conduzida longitudinalmente sobre a superfície da peça; a velocidade de corte varia na faixa de 10 a 1000 m/min (KIMINAMI; CASTRO; OLIVEIRA, 2013).

O torneamento é um dos processos de usinagem mais utilizados, permite a criação de eixos, rosca, engrenagens, roletes e outras peças variadas. Pode ser aplicado na maioria das ligas metálicas e com dimensões variadas.

Durante o torneamento a peça é rotacionada em um eixo e a ferramenta de corte avança radialmente (faceamento), axialmente (torneamento) ou em ambas direções (perfilamento) como pode ser observado na Figura 1.

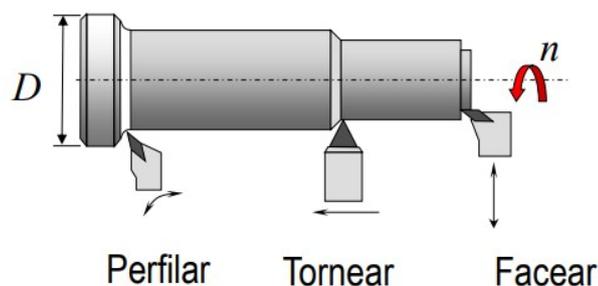


Figura 1 – Avanços no Torneamento.

Adaptado de: (KIMINAMI; CASTRO; OLIVEIRA, 2013).

Utilizando dos avanços descritos anteriormente combinados com ferramentas específicas é possível realizar diversas operações com o torno, como as apresentadas na Figura 2.

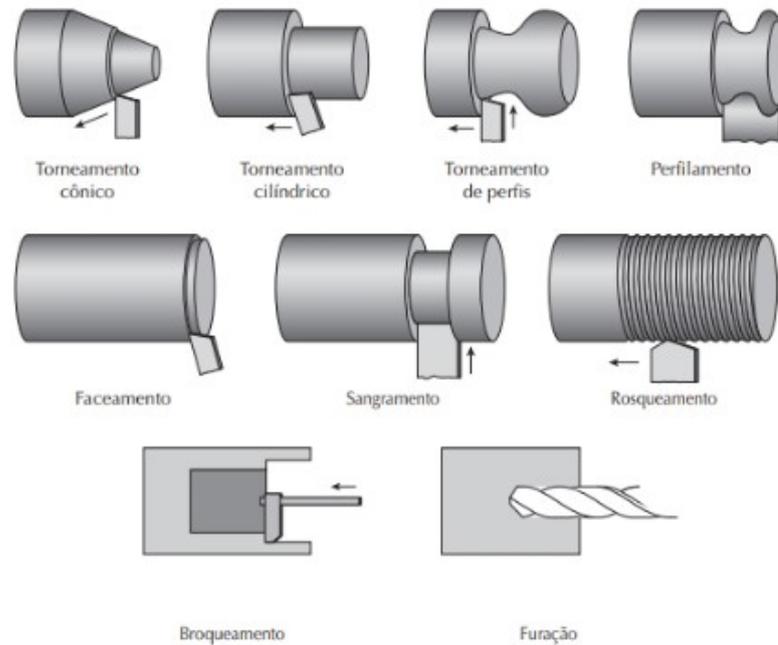


Figura 2 – Principais operações de usinagem que podem ser realizadas nos tornos.

Fonte: (KIMINAMI; CASTRO; OLIVEIRA, 2013).

Em relação ao acabamento no processo de torneamento a (ISO:1302, 2002) indica que a rugosidade média está na faixa de $6,3$ à $0,4 \mu\text{m}$ que classifica o torneamento como um tipo de usinagem que apresenta acabamento superficial entre médio e fino.

2.2.1 Parâmetros e Grandezas Físicas do Torneamento

Para obter resultados eficientes e de alta qualidade durante o processo de torneamento é fundamental compreender e controlar as grandezas físicas e os parâmetros envolvidos no processo.

Um dos parâmetros fundamentais do torneamento é o movimento de usinagem. O movimento de usinagem é compreendido como movimentos entre a ferramenta e a peça, eles são divididos em dois grandes grupos, movimentos ativos aqueles que realizam remoção de material e movimentos passivos que não realizam remoção de material. A norma (ABNT-6162, 1989) apresenta a seguinte definição para os movimentos:

- a. **Movimento de Avanço:** movimento realizado entre a peça e a aresta de corte que juntamente com o movimento de corte, provoca a retirada da contínua do cavaco.

- b. **Movimento de Corte:** movimento realizado entre a peça e a aresta de corte que sem o movimento de avanço, durante uma volta ou curso, origina somente uma única remoção de cavaco.
- c. **Movimento Efetivo:** movimento originado dos movimentos de corte e avanço simultaneamente.
- d. **Movimento de Ajuste:** movimento entre a peça e a ferramenta em que se determina a espessura da camada de material a ser retirado (utilizado para “zerar” a distância entre a ferramenta e a peça).
- e. **Movimento de Aproximação:** movimento entre a peça e a ferramenta, no qual a ferramenta é aproximada da peça antes da usinagem.
- f. **Movimento de Correção:** movimento entre a peça e a ferramenta, no qual o desgaste da ferramenta é compensado.
- g. **Movimento de Recuo:** movimento entre a peça e a ferramenta, no qual a ferramenta é afastada da peça final de usinagem.

Os movimentos descritos dos itens *a* ao *c* descrevem os movimentos ativos e os demais itens os movimentos passivos. A Figura 3 mostra as direções dos movimentos ativos.

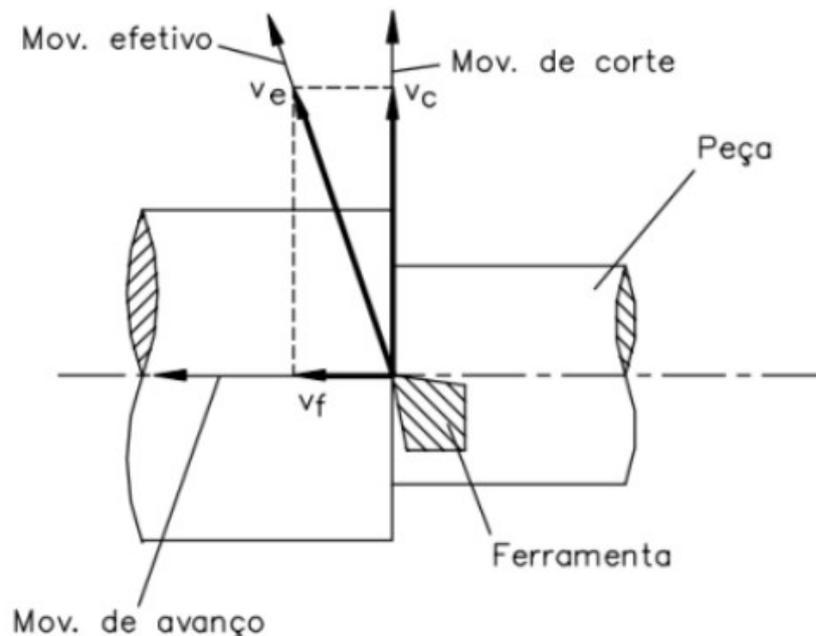


Figura 3 – Movimentos Ativos do Torneamento.

Fonte: (MACHADO et al., 2009).

Três grandezas importantes que devem ser definidas ao utilizar um torno mecânico são a velocidade de avanço (V_f), velocidade de corte (V_c) e profundidade de corte (a_p). Essas grandezas são definidas como:

- 1. Velocidade de Avanço (V_f):** A velocidade de avanço refere-se à distância percorrida pela ferramenta de corte em relação à peça em cada rotação completa do torno, expressa em milímetros por revolução [mm/rev] ou milímetros por tempo [mm/min], o cálculo da velocidade de avanço é apresentado na Equação 2.1. A velocidade de avanço influencia diretamente na taxa de remoção de material, a rugosidade superficial e a vida útil da ferramenta de corte. Um avanço maior resulta em uma maior taxa de remoção de material e um acabamento superficial mais áspero.

$$V_f = f.n \quad (2.1)$$

Onde:

f = avanço [mm/rev]

n = rotação [rpm]

- 2. Velocidade de Corte (V_c):** representa a velocidade linear na qual a superfície não cortada da peça passa pela aresta de corte da ferramenta, é expressa em metros por minuto [m/min] conforme a Equação 2.2. A seleção adequada da velocidade de corte é crucial para garantir a vida útil da ferramenta de corte, minimizar a geração de calor e obter um acabamento superficial de qualidade. Altas velocidades podem resultar em um maior desgaste da ferramenta de corte e até mesmo na quebra dela, e baixas velocidades podem causar atrito excessivo e danos à peça.

$$V_c = \frac{\pi.d.n}{1000} \quad (2.2)$$

Onde:

d =diâmetro da ferramenta [m]

n = rotação[rpm]

- 3. Profundidade de Corte (a_p):** refere-se à penetração da ferramenta na peça e é medida perpendicular ao plano de trabalho e geralmente é expressa em milímetros [mm]; Grandes profundidades de corte podem causar vibrações e instabilidade no processo de usinagem, e profundidades muito pequenas aumentam o tempo de usinagem.

As três grandezas descritas anteriormente podem ser observadas na Figura 4.

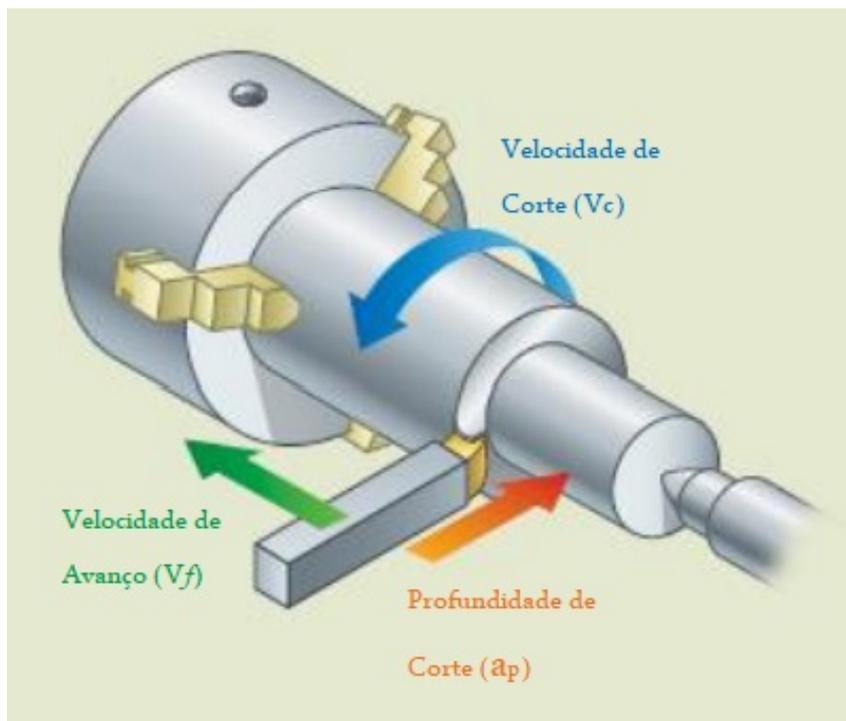


Figura 4 – Representação dos movimentos no processo de torneamento.

Adaptado de: (MACHADO et al., 2009).

Outros parâmetros que devem ser considerados na hora do torneamento são o material da peça e o material da ferramenta de corte que deve ser adequado para resistir ao atrito com o material da peça durante a usinagem, e os fluidos refrigerantes e lubrificantes que são utilizados para reduzir o calor gerado no processo, os mesmos ajudam a prolongar a vida útil da ferramenta de corte, evitam superaquecimento da peça, ou seja, impede a geração de zonas termicamente afetadas durante a usinagem e auxiliam também na remoção dos cavacos. (SILVA; SANTOS; RODRIGUES, 2020)

2.3 Tipos de Torneamento

A norma NBR ISO 23125 apresenta a definição de torno como “máquina-ferramenta em que o movimento principal é a rotação da peça de trabalho contra a(s) ferramenta(s) de corte estacionária(s).” (ABNT-23125, 2013)

Em relação aos tipos de torno, a mesma norma faz uma divisão em quatro grupos com base nos perigos relevantes relacionados a cada um e uma subdivisão em relação ao tamanho, sendo “pequeno porte” ou “grande porte”. A Figura 5 mostra a tabela presente na norma NBR ISO 23125 que apresenta uma visão geral dos grupos.

Um torno de pequeno porte possui os seguintes limites dimensionais: “tornos de fuso horizontal e centros de torneamento com distância entre centros (BC) até e incluindo

2 000 mm e que são projetados para aceitar dispositivos de fixação da peça de trabalho de até e incluindo 500 mm de diâmetro externo;” (ABNT-23125, 2013)

Grupo N°	Nome do grupo	Subseção onde o grupo é definido	Subdivisão em tamanhos	Subseção onde o tamanho é definido
Grupo 1	Tornos controlados manualmente sem controle numérico	3.4.1.3	Pequeno porte	3.4.1.1
			Grande porte	3.4.1.2
Grupo 2	Tornos controlados manualmente com capacidade limitada de controle numérico	3.4.1.4	Pequeno porte	3.4.1.1
			Grande porte	3.4.1.2
Grupo 3	Tornos e centros de torneamento de controle numérico	3.4.1.5	Pequeno porte	3.4.1.1
			Grande porte	3.4.1.2
Grupo 4	Tornos automáticos de fuso único ou múltiplo	3.4.1.6	Sem subdivisão	—

Figura 5 – Visão Geral de tamanhos e grupos de tornos.

Fonte: Tabela 1(ABNT-23125, 2013).

A norma não apresenta nenhuma definição relacionada a “mini torno”, que é o foco do presente trabalho, de tal forma o projeto se enquadra na categoria de “pequeno porte” do Grupo 3 “Tornos e Centros de torneamento de Controle Numérico” .

A mesma norma também descreve requisitos de segurança para os grupos de torno mencionados anteriormente de forma que abrange utilizações e sistemas específicos. Para o presente projeto acadêmico, a norma foi utilizada como guia onde apenas os que são aplicáveis para mini-tornos e de construção simples. Um exemplo é a implementação de um botão de emergência e a proteção de partes móveis.

2.4 Comando Numérico Computadorizado (CNC)

O CNC é uma tecnologia que tem sido amplamente utilizada na indústria de manufatura desde a década de 1950. Seu surgimento foi resultado da combinação de duas tendências importantes na época: o avanço da tecnologia da computação e a necessidade de automatizar os processos de usinagem. Na década de 1950, as máquinas-ferramenta eram controladas manualmente, o que tornava o processo de usinagem lento e propenso a erros. A introdução do CNC permitiu a automatização desse processo, tornando-o mais preciso, eficiente e repetível.

Desde então, o uso de sistemas CNC tem sido ampliado para incluir uma ampla gama de aplicações na indústria, como tornos, fresadoras e centros de usinagem. A tecnologia CNC é implementada através de um sistema composto por um computador, um

software de controle e uma máquina-ferramenta. O software de controle é responsável por interpretar as informações de desenho e transformá-las em instruções para a máquina, que realiza a usinagem. Com o tempo, a tecnologia CNC evoluiu, tornando-se mais sofisticada e acessível, e hoje é amplamente utilizada em uma ampla gama de indústrias, desde automóveis até aviação.

O uso de CNC na indústria tem possibilitado a realização de processos em grande escala com pouca interferência humana, o que resulta em aumento de produtividade, redução de tempo de produção, erros e melhoria na qualidade dos produtos finais, pois com a tecnologia CNC torna-se possível programar a máquina para realizar tarefas específicas, eliminando a necessidade de operação manual. Com isso tem trazido impactos positivos na segurança do trabalho. A automação de tarefas perigosas e repetitivas reduz o risco de acidentes, e as máquinas possuem dispositivos de segurança incorporados para proteger os trabalhadores. De acordo com a ISO (2022), o uso de máquinas CNC é uma das práticas recomendadas para a segurança no ambiente de trabalho. Além disso, a monitoração eficiente do processo de produção permite identificar e corrigir problemas de segurança antes que causem danos aos trabalhadores.

O uso do G-code é fundamental para o funcionamento dos processos de CNC. G-code é uma linguagem de programação universal usada para controlar máquinas CNC e programar a produção de peças. É composto por uma série de comandos que são interpretados pelo sistema de comando numérico computadorizado, permitindo que a máquina execute as operações de usinagem de forma precisa e automatizada.

Os comandos G-code especificam a posição, a velocidade e a direção da ferramenta, bem como a profundidade de corte e o tipo de operação a ser realizada. Isso permite a produção de peças personalizadas, ajustando as especificações de acordo com as necessidades do projeto. Além disso, a utilização de G-code permite a programação off-line, o que significa que o programador pode escrever e testar o programa antes de iniciar a produção, economizando tempo e matéria-prima.

O uso do G-code tem evoluído ao longo dos anos, com a introdução de novos comandos e recursos que permitem maior controle e flexibilidade na programação de máquinas CNC. A padronização da linguagem G-code também foi fundamental para o crescimento do uso da tecnologia CNC, permitindo a interoperabilidade entre diferentes sistemas e máquinas.

Mas para isso ser possível é necessário que o programador de máquinas CNC tenha conhecimento sólido nas áreas de mecânica, matemática, tecnologia da informação e processos de usinagem. É importante que saiba também sobre o funcionamento e manutenção das máquinas, bem como compreendam as ferramentas e matérias-primas utilizadas na produção. Além disso, é importante que eles tenham habilidade em desenho técnico, sendo capaz de interpretar desenhos e especificações técnicas para criar programas de usinagem.

Também é fundamental que eles tenham habilidade em programação, principalmente o conhecimento em G-code e outras linguagens de programação utilizadas nas máquinas CNC. É crucial que eles mantenham-se atualizados com as últimas tecnologias e desenvolvimentos na indústria de usinagem para garantir que as produções sejam eficientes e precisas.

2.5 Comando Numérico Computadorizado em Tornos

O uso de CNC em tornos mecânicos é um aspecto fundamental da indústria moderna. Essa tecnologia permite a automação de processos de produção, garantindo maior precisão, rapidez e eficiência nos processos de usinagem. Os tornos mecânicos equipados com sistemas CNC são capazes de realizar tarefas complexas de forma repetitiva e precisa, sem erros humanos.

Essa ferramenta possibilita a produção de peças com alta qualidade, repetibilidade e uniformidade. Isso é possível graças à capacidade dos sistemas CNC de controlar os movimentos do torno mecânico com precisão e velocidade. Além disso, o uso de CNC em tornos mecânicos permite a criação de programas de usinagem, que são utilizados para guiar o processo de produção e garantir a uniformidade das peças produzidas.

Também permite a realização de tarefas de usinagem que seriam impossíveis de serem realizadas manualmente. Isso inclui operações complexas de fresamento, roscamento, ranhura, entre outras. Além disso, o uso de CNC em tornos mecânicos possibilita a realização de tarefas de usinagem em alta velocidade, o que resulta em maior produtividade e eficiência na produção de peças.

Além disso, a combinação entre CNC e tornos mecânicos também tem possibilitado a criação de mini tornos didáticos, que são pequenas versões dessas máquinas, projetadas para fins educacionais. Esses mini tornos são programados para executar tarefas simples de usinagem, permitindo que estudantes e amadores tenham contato com a tecnologia e possam aprender a programar e usar esses equipamentos. Eles são uma ferramenta valiosa para a formação de futuros profissionais da área, e também para a promoção de atividades de hobby e lazer relacionadas à mecânica.

3 Estudo de Mercado

Nesse capítulo foram avaliados alguns modelos de tornos de pequeno porte disponíveis comercialmente, que serviram para inspirar e comparar com o modelo de mini-torno proposto neste projeto acadêmico. A avaliação realizada foi feita em caráter qualitativo e com base nas informações disponíveis nas fichas técnicas dos modelos mencionados.

3.1 Modelos Comerciais

Tabela 1 – Modelos Comerciais e Principais Características

Máquina	Peso [Kg]	Potência [KW]	Vel. Máx. [rpm]	CNC	Dim. de usinagem [mm x mm]	Preço [R\$]
<p>Mini Torno CNC Toptech</p>  <p>(Loja Casa do Mecânico, 2023)</p>	61,00	0,6	2500	SIM	140 x 300	20.621,45
<p>Mini Torno FortGPRO-FG0001</p>  <p>(Loja do Mecânico, 2023)</p>	-	0,55	2500	NÃO	180 x 350	4.299,90
<p>Torno Mecânico Bumafer</p>  <p>(Loja Ferramentas Kennedy, 2023)</p>	-	1,1	2500	NÃO	125 x 400	13.539,77
<p>DT-MN004</p>  <p>(Loja DidaTech,2023)</p>	-	1,9	4000	SIM	71 x 121	34.736,63

Para realizar o estudo dos modelos comerciais de forma a atender o contexto das universidades brasileiras e do projeto, foram selecionados mini-tornos e tornos de bancada nacionais ou de fácil aquisição no Brasil. Com os dados extraídos das fichas técnicas dos

tornos selecionados a Tabela 1 foi desenvolvida. Nela se encontram os modelos de torno estudados, as principais características e o preço médio.

Dentre os tornos de pequeno porte e mini-tornos encontrados com facilidade para compra no Brasil a maioria não possui CNC, os modelos com CNC apresentam um valor mais elevado, ultrapassando 20 mil reais. Dentro da realidade das universidades brasileiras sabe-se que conseguir verba para projeto e/ou compra de equipamentos é burocrático e penoso. O que torna a opção de construir um Torno CNC didático muito atrativa financeiramente.

3.2 Posicionamento de Mercado

Com uma análise qualitativa dos tornos citados anteriormente e considerando os objetivos almejados o projeto conceitual, desenvolvido no capítulo seguinte, determina as principais características do torno de modo que seu posicionamento de mercado esteja em consonância com a matriz apresenta na Figura 6.

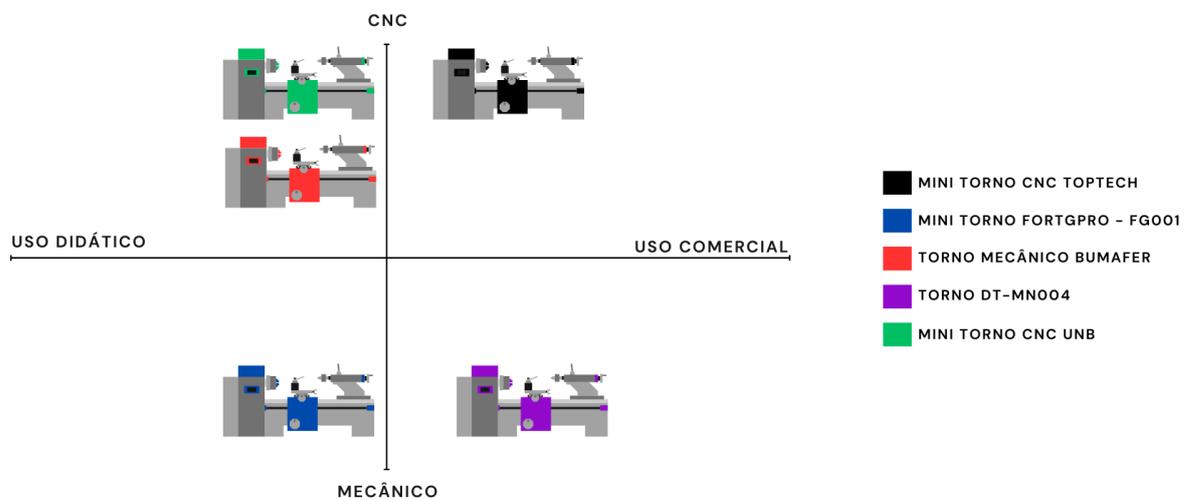


Figura 6 – Matriz de Posicionamento no Mercado.

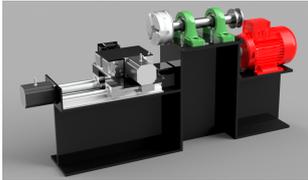
Fonte: Elaborado pelos Autores

A matriz de posicionamento leva em consideração o posicionamento de cada um dos tornos quanto ao uso (didático ou comercial) e quanto a tecnologia empregada no torno (torno mecânico e torno CNC). De tal forma o projeto se encaixa no quadrante de torno CNC de uso didático.

A Tabela 2 apresenta as principais características do torno mecânico desenvolvido

nesse projeto. Comparando com os demais modelos apresentados apesar da velocidade máxima ser inferior aos demais a potência é superior ao modelo da Toptech e FortGPRO.

Tabela 2 – Mini Torno CNC: Principais Características

Máquina	Peso [Kg]	Potência [KW]	Vel. Máx. [rpm]	CNC	Dim. de usinagem [mm x mm]	Preço [R\$]
<p>Mini Torno CNC UnB</p>  <p>(Elaborado pelos Autores)</p>	68,5	1,1	1800	SIM	100 x 160	6.271,32

Em relação as dimensões de usinagem o projeto do Mini Torno CNC apresenta maior possibilidade que o concorrente direto DT-MN004 e levando em consideração também o preço o presente projeto se destaca.

Comparando com os demais modelos, o projeto se destaca em relação ao FortG-PRO e o Torno Bumafer por ter o comando numérico.

E em relação ao Torno TopTech o projeto se destaca pelo preço, que mesmo não sendo para uso comercial consegue atender algumas demandas profissionais e com isso se tornando mais viável que o TopTech.

4 Projeto Conceitual

Nesse capítulo é apresentado o desenvolvimento de todo o projeto conceitual do mini torno CNC, abordando todos os quesitos de dimensionamentos dos motores, eixo árvore, correia, chaveta, polias, a implementação do sistema CNC, a lista dos componentes comerciais que serão utilizados na montagem do torno e por fim o orçamento que trás o valor aproximado do custo final do projeto.

4.1 Concepção e Requisitos

Projetado para atender uma demanda educacional e com capacidade de usinagem de pequenas peças de materiais como polímeros termoplásticos, policarbonato e alumínio. Alguns requisitos funcionais foram definidos para atender os objetivos almejados, os mesmos estão listados na Tabela 3 .

Tabela 3 – Requisitos Funcionais do Projeto

Requisito	Descrição	Prioridade
RF01	Estrutura com dimensões de usinagem menor que: 500mm x 2000mm.	Mandatório
RF02	Sistema CNC.	Mandatório
RF03	Ser resistente a impactos mecânicos.	Desejável
RF04	Manutenção simplificada.	Desejável
RF05	Ter proteções e sistema de segurança.	Desejável
RF06	Ser capaz de usinar peças de até 100mm de diâmetro.	Mandatório
RF07	Ter baixo custo e fácil fabricação.	Desejável

Em sucessão aos requisitos mencionados anteriormente, o dimensionamento dos principais elementos mecânicos, como motores, polias, correias, chavetas e eixos são descritos ao longo deste capítulo, bem como a lista de componentes utilizados e o orçamento.

4.2 Dimensionamento

Como foi elucidado na justificativa do projeto, o equipamento será utilizado para fins educativos, onde será demonstrado as tecnologias que envolvem o processo de usinagem CNC, sendo assim, os materiais a serem utilizados devem reduzir os riscos de possíveis acidentes com o operador inexperiente, sendo ideal possuírem uma baixa dureza, alta maleabilidade e/ou alta deformabilidade. Os materiais que se encaixam nesses aspectos são polímeros termoplásticos como por exemplo o nylon e o policarbonato e o alumínio, pois ambos são ideais para essa finalidade.

Para definirmos os parâmetros que serão utilizados nos dimensionamentos a seguir, devemos trabalhar com o caso mais extremo, que para esse projeto será a usinagem de

tarugos de alumínio 6061 de 90mm de diâmetro, para isso devemos obter quais são os parâmetros ideais a serem utilizados na obtenção da força de corte, sendo eles a velocidade de corte, o avanço, a profundidade de corte e a velocidade de rotação. Dessa forma, utilizaremos as seguintes formulações:

$$P_c = \frac{F_c \cdot V_c}{60.736} \quad (4.1)$$

Onde:

P_c = Potência Requerida [CV]

F_c = Força de Corte [N]

V_c = Velocidade de Corte [m/min]

$$F_c = k_c \times a_p \times f \quad (4.2)$$

Onde:

k_c = Força de corte específica [N/mm²]

a_p = Profundidade de Corte [mm]

f = Avanço [mm/rev]

$$k_c = \frac{k_{c1.1}}{h^{m_c}} \quad (4.3)$$

Onde:

$k_{c1.1}$ = Força de corte específica para um cavaco de área 1mm² [N/mm²]

h = Espessura do cavaco [mm]

m_c = Constante do material

$$h = f \times \sin(\chi) \quad (4.4)$$

Onde:

χ = Ângulo de posição [°]

$$n = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} \quad (4.5)$$

Onde:

n = Rotação de Trabalho Teórica [rpm]

D = Diâmetro da peça a ser usinada [mm]

Para obtermos os parâmetros que necessitamos, primeiramente devemos calcular o valor da força de corte específica, utilizando uma ferramenta com ângulo de posição de 75° , sabendo que a constante m_c do alumínio é de 0,23 e o $k_{c1.1}$ experimental de ligas de alumínio é de 830 N/mm^2 e o avanço a ser utilizado de 0,3mm, a força de corte específica nesse caso será de $1103,58 \text{ N/mm}^2$.

O próximo passo do cálculo será a obtenção da nossa força de corte, se baseando nas informações obtidas e utilizando uma profundidade de corte de 2,5mm, teremos que essa força será de 827,68N.

Com isso tem-se a possibilidade de se obter a potência requerida para esse caso em questão, se utilizando uma velocidade de corte de 50 m/min, temos que a potencia requerida para esse caso de carga máxima na utilização do equipamento será de 0,94 CV.

Por fim, para obtermos a rotação de trabalho teórica para esse caso, utilizaremos uma peça de 10mm de diâmetro que consiste na dimensão mínima que será suportada pela placa do torno resultando nas maiores rotações, com isso obtemos o valor de 1591,55 RPM.

Com todos esses parâmetros calculados, temos condições necessárias para se realizar o dimensionamento dos componentes do equipamento.

4.2.1 Motores

Para o dimensionamento dos motores temos que dividir em dois tipos que será o motor que vai rotacionar o eixo árvore e que temos os valores calculados anteriormente e outros dois motores que vão movimentar os eixos X e Y para posicionar a ferramenta.

No caso do motor principal deve-se atentar a dois parâmetros que serão as diretrizes para a escolha desse componente, que serão a potência e a rotação. Para a potência, vamos necessitar de um motor que supere os 0,94CV requeridos, levando em conta que o ideal é manter uma potência reserva para que o motor não trabalhe em sua carga máxima e para a rotação, ele tem que ser capaz de superar os 1591,55 RPM necessários.

No caso do projeto foi cedido um motor WEG-14639572 que possui 1,5 CV e que atinge 1800 RPM, superando com folga os parâmetros necessários para a utilização do equipamento que está sendo desenvolvido.

Para os motores do Eixo X e Y, existem três opções, a primeira delas é um motor de passo pois eles são amplamente utilizados em máquinas CNC, devido ao seu baixo custo e a facilidade de implementação. Outra opção é a utilização de um servomotor com um servo-drive, as maiores vantagens são a sua velocidade e precisão, pois ele tem um controle maior devido ao feedback e o ajuste de posição de acordo com os sinais do controlador CNC. A última opção e a menos viável é a utilização de motores DC e AC,

pois necessitam um conversor de frequência e diversos requisitos de controle.

No projeto devido a proposta de baixo custo, a opção que será implementada será a primeira e o motor de passo a ser utilizado no eixo longitudinal será o NEMA 23 com o torque de 30 Kgf.cm e para o eixo transversal será utilizado o NEMA 17 com o torque de 4 Kgf.cm, sendo ambos suficientes para atender os requisitos do projeto.

4.2.2 Eixo Árvore

Para o dimensionamento do eixo árvore do torno, um possível problema será a deflexão desse eixo, onde esta é afetada diretamente pela rigidez dele, mas deve se considerar que devido a utilização de aço carbono em todo o projeto, a rigidez dele não pode ser controlada através de decisões de escolha de material tendo em vista que o módulo de elasticidade é constante para todos os aços, ficando limitado a escolhas geométricas. (ALMEIDA; LIMA; BARBIERI, 2022)

Já a resistência mecânica desse eixo vai está diretamente atrelada à escolha dos materiais e aos seus respectivos tratamentos térmicos, onde podemos ter uma melhoria nas propriedades mecânicas até atingir os limites de endurance e sensibilidades a entalhes que um material de alta resistência tende a apresentar.

Conforme informado anteriormente, a proposta desse projeto, será a usinagem em materiais de baixa resistência, minorando dessa maneira os esforços máximos que deverão ser suportados na utilização do equipamento, dito isso, parte-se da ideia de utilizar materiais de baixo custo e de fácil aquisição.

Para o projeto, utilizaremos um eixo tubular de 1 1/4" de diâmetro externo e 6mm de parede, existe a necessidade de ele ser vazado pois dependendo do comprimento do componente a ser usinado é necessário que ele se posicione por dentro do eixo árvore.

4.2.3 Correia

A seleção de uma correia para a transmissão de potência envolve a consideração de vários parâmetros importantes. Alguns dos principais parâmetros são os seguintes:

Tipo de correia: Existem diferentes tipos de correias disponíveis, como correias V, correias sincronizadoras (dentadas), correias planas, entre outras. Para a aplicação no projeto, optou-se por utilizar uma correia em V, pois o sincronismo entre as polias não é um fator determinante e além de ter um custo mais reduzido, atende os parâmetros de torque requerido.

Capacidade de carga: A correia deve ser capaz de suportar a potência necessária para a aplicação específica. Isso envolve avaliar a potência do motor e a rotação de trabalho para determinar a carga máxima que a correia precisará transmitir.

Segundo (SHIGLEY; MISCHKE; BUDYNAS, 2005), correias de transmissão podem variar entre cinco tipos de seção de correia, sendo estas A, B, C, D e E. Onde cada uma possui suas dimensões próprias, diâmetro mínimo de roldana e o intervalo de potência que surporta a ser transmitido, conforme a Tabela 4.

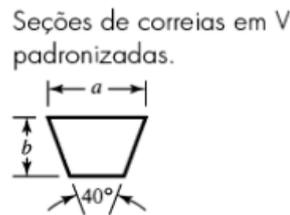


Figura 7 – Seções de correias em V padronizadas.

Fonte:(SHIGLEY; MISCHKE; BUDYNAS, 2005).

Tabela 4 – Parâmetros das Correias de Transmissão

Seção de Correia	Largura a, mm	Espessura b, mm	Diâmetro mínimo de roldana, mm	Intervalo de kW, uma ou mais correias
A	12	8,5	75	0,2 - 7,5
B	16	11	135	0,7 - 18,5
C	22	13	230	11 - 75
D	30	19	325	37 - 186
E	38	25	540	75 e acima

Tamanho da correia: O comprimento e a largura da correia devem ser selecionados de acordo com a distância entre as polias e a capacidade de carga. Para o projeto em questão foi selecionado uma correia V A-16, pois ela atende o comprimento necessário pra ser instalado com duas polias de 85mm e de relação de 1:1.

4.2.4 Chaveta

As chavetas são componentes fundamentais em muitos sistemas mecânicos, pois ajudam a transmitir torque e a impedir o movimento axial de eixos. Seu correto dimensionamento é crucial para garantir a eficiência e a segurança do sistema. No caso específico, a chaveta será de cabeça chata e terá 8mm de largura, 6mm de altura e 2mm de profundidade da ranhura. (SHIGLEY; MISCHKE; BUDYNAS, 2005)

Além das dimensões, é importante levar em consideração outros fatores, como a carga aplicada e as especificações do eixo, ao dimensionar uma chaveta. Caso contrário, pode haver falhas prematuras e comprometer a segurança do sistema. No projeto em questão esses fatores estão sendo considerados e atendidos com uma certa margem.

4.2.5 Polias

A polia é um componente mecânico que é utilizado para transmitir potência de um eixo para outro. Ela é composta por um disco com um sulco em torno de sua borda, no qual a correia se encaixa. A polia pode ser feita de diversos materiais, como ferro fundido, aço, alumínio ou plástico.

O tamanho da polia é determinado pelo diâmetro do seu eixo e pelo número de canais. O número de canais é o número de sulcos que a polia possui. O tipo de correia é determinado pelo seu tamanho e pela sua largura.

A potência que uma polia pode suportar é determinada pelo seu diâmetro, pelo número de canais e pelo material do qual ela é feita.

Para o projeto em questão foi selecionado duas polias de 85mm, possuindo 1 canal para correia do tipo A, sendo fabricada em ferro fundido, pois ela suporta a potência requerida com folga e se adequa ao projeto das correias e das dimensões de chaveta e eixos utilizados no motor e no eixo árvore.

4.3 Implementação do CNC

Para operação do CNC será utilizada a plataforma Mach3, que oferece recursos avançados para controlar os movimentos das máquinas permitindo que sejam executadas operações de usinagem precisas e complexas. Além de possuir uma interface intuitiva e de fácil usabilidade.

O software Mach3 é compatível com o sistema operacional Windows e é capaz de importar arquivos de Código G podendo controlar máquinas em até 4 eixos em função das configurações da mesma. Ele também permite a seleção de vários parâmetros como: velocidade, aceleração, limites de movimento, entre outros e possui a possibilidade de visualização dos movimentos da máquina e trajetórias das ferramentas antes da usinagem.

Para a utilização do Mach3 existem alguns requisitos mínimos que devem ser atendidos para garantir o funcionamento com segurança e qualidade ([MACH3, 2008](#)):

1. Computador com sistema operacional Windows (Windows XP, Windows 7, Windows 8 ou Windows 10), 1GB RAM, 500MB de disco livre, Placa de Vídeo DirectX 9.0 ou superior;
2. Porta Paralela (Figura 8)

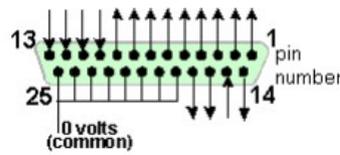


Figura 8 – Conector Fêmea da Porta Paralela (Vista da parte traseira do PC)

Fonte:(MACH3, 2008).

3. Placa de Interface CNC (Placas de Controle Isoladas);
4. Interruptores de Limite e de Home;

Os interruptores de limites também são conhecidos como chaves de fim de curso, que serve para comutar um circuito quando acionado. Eles devem ser posicionados antes do final do eixo a fim de limitar, como o próprio nome diz, o curso nos eixos X e Y. Para o projeto desenvolvido serão necessários 3 interruptores de limites, sendo 1 para o eixo X e dois para o eixo Y., de forma que:

- Eixo X: 1 chave de fim de curso na extremidade final do eixo, limitando o a maior distância entre a placa e o porta ferramenta.
- Eixo Y: 1 chave de fim de curso na extremidade direita do eixo e 1 chave de fim de curso na extremidade esquerda, limitando o deslocamento lateral do porta ferramenta.

O modelo selecionado para esse projeto será o Metaltex FM1701 por se adaptar ao tamanho, pelo custo e pela facilidade de aquisição, porém diversos outros modelos atendem os requisitos.

O diagrama de ligação dos componentes principais do sistema CNC é mostrado na Figura 9.

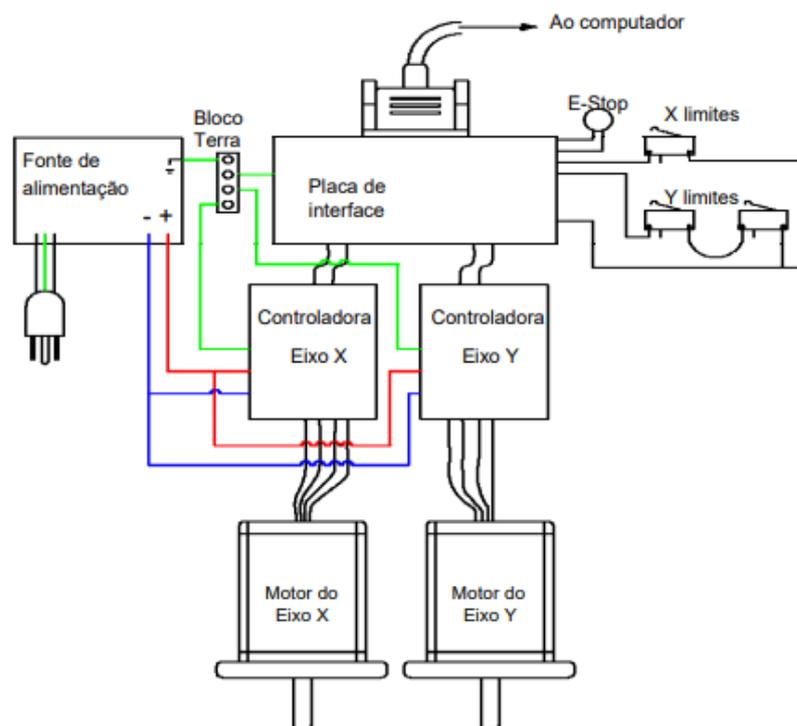


Figura 9 – Diagrama de Montagem do Sistema CNC

Adaptado de:(MACH3, 2008).

A justificativa para a utilização do Mach3 vai além dos benefícios citados até o momento, como o LDTEA já possui uma máquina dedicada ao uso do Mach3 3 em uma Router CNC, a ampliação do mesmo para o Mini Torno CNC se torna facilitada, de tal forma que os custos com o computador e a placa de interface podem ser removidos do projeto.

4.4 Lista de Componentes

Os demais componentes mecânicos selecionados para o projeto foram escolhidos como modelos comerciais que se adequam dimensionalmente às necessidades do projeto, sem a necessidade de um dimensionamento específico. A escolha desses componentes levou em consideração as dimensões físicas disponíveis no projeto, bem como as características e especificações técnicas dos modelos comerciais disponíveis no mercado. Dessa forma, optou-se por componentes que atendem aos requisitos do projeto sem a necessidade de um dimensionamento personalizado, simplificando assim o processo de seleção e aquisição dos mesmos. Essa abordagem garante uma integração eficiente dos componentes ao projeto, minimizando a necessidade de ajustes ou modificações adicionais. Os demais componentes são:

Tabela 5 – Lista de Componentes

Quantidade	Descrição
8 und	Pillow Block 16 mm
1 metro	Eixo Linear 16 mm com Suporte em T
90 cm	Viga Perfil I de 8"
20 cm	Tarugo Quadrado de Nylon 50x50 mm
25 cm	Tubo 1 1/4" com parede de 3mm
1 und	Fuso de Esfera com Castanha Simples 8mm
1 und	Fuso de Esfera com Castanha Simples 20mm
1 und	Mancal BKBF10
1 und	Mancal BKBF20
1 und	Chapa 4mm de espessura 500x300mm
1 und	Chapa 10mm de espessura 210x180mm
1 und	Placa de Torno 100mm
1 und	Acoplamento Flexível GS9
1 und	Acoplamento Flexível GS19
1 und	Botão Liga/Desliga WEG CSW-BD-WH
1 und	Botão de Emergência WEG CSW-BESGS-WH
1 und	Driver para Motor de Passo 5,6 Amp
1 und	Fonte Chaveada 500W - 48V - 10,4 Amp
1 und	Placa Controladora CNC para Mach3 - RNR Eco Motion - 4 Eixos (USB)
1 und	Placa de Torno 100mm
3 und	Chave Fim de Curso Metaltex FM1701

No projeto, foram adotados diferentes tipos de fixadores, de acordo com a necessidade de cada componente. Para fixar o conjunto dos eixos lineares e pillow blocks, optou-se por parafusos Allen Cabeça chata classe 8.8, combinados com o uso de trava rosca de resistência média que permite desmontagem, garantindo alta resistência mecânica e estabilidade. Todos os parafusos que não possuíam rosca interna foram adequadamente dimensionados utilizando arruelas de pressão e porcas autotravantes de nylon, assegurando uma montagem segura e estável. Já para outras fixações, os parafusos de máquina escolhidos foram os sextavados, de tamanho correspondente à aplicação específica, e também foram selecionados na classe 8.8 para proporcionar uma fixação confiável e resistente. Novamente, foram utilizadas arruelas de pressão e porcas autotravantes, garantindo que todas as conexões permaneçam firmes durante a operação do sistema. Essa escolha cuidadosa dos fixadores contribui para a integridade estrutural e a funcionalidade do projeto como um todo. Segue abaixo a tabela 6, que discretiza os tipos e a quantidades de cada um dos elementos de fixação:

Tabela 6 – Lista de Fixadores

Quantidade	Descrição
40 und	Parafuso Allen Chato UNC 1/4"X 1.1/2"
16 und	Parafuso Allen Chato UNC 1/4"X 5/8"
4 und	Parafuso Allen Chato MA 4 X 20mm
12 und	Parafuso Allen Chato MA 6 X 35mm
7 und	Parafuso Sextavado MA 6 X 50mm
4 und	Parafuso Sextavado MA 10 X 50mm
4 und	Parafuso Sextavado MA 16 X 50mm
24 und	Arruela de Pressão 1/4"
4 und	Arruela de Pressão 4
21 und	Arruela de Pressão 6
4 und	Arruela de Pressão 10
4 und	Arruela de Pressão 16
16 und	Porca Nylon Baixa UNC 1/4- 20
4 und	Porca Nylon Baixa MA 4 - 0.70
21 und	Porca Nylon Baixa MA 6 - 1.00
4 und	Porca Nylon Baixa MA 10 - 1.50
4 und	Porca Nylon Baixa MA 16 - 2.00
1 und	Trava Parafuso 115 Tekbond

4.4.1 Orçamento de componentes

Após o dimensionamento adequado e a seleção dos materiais necessários para o projeto, foi realizada uma extensa pesquisa em sites especializados a fim de obter informações sobre o preço dos componentes. Um dos principais critérios considerados durante essa pesquisa foi o valor dos componentes novos, levando em conta a qualidade e a confiabilidade dos mesmos. Além disso, outro fator importante que foi levado em consideração foi o custo do frete para a cidade de Brasília, no Distrito Federal. Para garantir a obtenção dos melhores preços, foram comparadas várias opções de fornecedores, levando em conta as condições de entrega, a reputação dos vendedores e a qualidade do atendimento. Essa pesquisa permitiu obter um orçamento estimado dos materiais necessários para o projeto, verificando a viabilidade financeira e a disponibilidade dos componentes necessários. Dessa maneira foi possível se chegar na Tabela 7

Tabela 7 – Orçamento dos Custos dos Componentes

Quantidade	Descrição	Valor unitário	Frete	Valor Total
8 und	Pillow Block 16 mm	R\$ 37,00	R\$ 13,43	R\$ 309,43
1000 mm	Eixo Linear 16 mm com Suporte em T	R\$ 0,16 por mm	R\$ 13,43	R\$ 173,43
1 und	Viga Perfil I de 8"	R\$ 168,00	Grátis	R\$ 168,00
15 cm	Tarugo Quadrado de Nylon 50x50 mm	R\$ 131,50 por 50 cm	R\$ 25,09	R\$ 64,59
25 cm	Tubo 1 1/4" com parede de 3mm	R\$ 90,17 por 6m	Grátis	R\$ 3,75
1 und	Fuso de Esfera com Castanha Simples 8mm	R\$ 54,80	R\$ 21,70	R\$ 76,50
300 mm	Fuso de Esfera com Castanha Simples 20mm	R\$ 0,18 por mm + R\$ 147	R\$ 13,43	R\$ 214,43
1 und	Par de Mancais BKBF10	R\$ 145,00	R\$ 13,43	R\$ 158,43
1 und	Par de Mancais BKBF20	R\$ 327,00	R\$ 13,43	R\$ 340,43
1 und	Acoplamento Flexível GS9	R\$ 62,00	R\$ 13,43	R\$ 75,43
1 und	Acoplamento Flexível GS19	R\$ 105,00	R\$ 13,43	R\$ 118,43
1 und	Botão Liga/Desliga WEG CSW-BD-WH	R\$ 17,80	R\$ 13,43	R\$ 31,23
1 und	Botão de Emergência WEG CSW-BESGW-WH	R\$ 50,00	R\$ 13,43	R\$ 63,43
1 und	Driver para Motor de Passo 5,6 Amp	R\$ 289,00	R\$ 13,43	R\$ 302,43
1 und	Fonte Chaveada 500W - 48V - 10,4 Amp	R\$ 289,00	R\$ 13,43	R\$ 302,43
1 und	Motor de Passo NEMA 17 - 4 kgf.cm	R\$ 70,00	R\$ 13,43	R\$ 83,43
1 und	Motor de Passo NEMA 23 - 30 kgf.cm	R\$ 229,00	R\$ 13,43	R\$ 242,43
1 und	Placa Controladora CNC para Mach 3	R\$ 179,00	R\$ 13,43	R\$ 192,43
3 und	Chave Fim de Curso Metaltex FM1701	R\$ 20,00	R\$ 30,47	R\$ 90,47
2 und	Chapa 4mm de espessura 400 x 400 mm	R\$ 60,32	Grátis	R\$ 120,64
1 und	Chapa 10mm de espessura 250 x 250 mm	R\$ 57,23	Grátis	R\$ 57,23
1 und	Motor WEG-14639572 1,5 CV 1800 RPM	R\$ 1379,90	R\$ 45,54	R\$ 1425,44
1 und	Inversor de Frequência CFW300 1,5 CV 6A	R\$ 745,92	R\$ 20,18	R\$ 766,10
1 und	Correia Perfil V A-16	R\$ 7,60	R\$ 17,88	R\$ 25,48
2 und	Polia de Ferro Correia A 85mm	R\$ 30,19	R\$ 23,60	R\$ 83,98
1 und	Placa de Torno 100mm	R\$ 499,00	Grátis	R\$ 499,00
1 und	Fixadores (Parafusos, Arruelas e Porcas)	R\$ 155,42	R\$ 24,90	R\$ 180,32
2 und	Mancal UCP 206	R\$ 34,77	R\$ 57,40	R\$ 126,93

Com base no levantamento de custo dos componentes e frete associado, conclui-se que o valor final estimado para a aquisição total dos componentes necessários para o projeto é de R\$ 6.271,32 reais. No entanto, é importante ressaltar que alguns dos componentes relatados serão cedidos ao projeto posteriormente, o que implicará em uma redução significativa no valor total.

5 Considerações Finais

Nesse capítulo são apresentadas as considerações finais que abrangem os resultados obtidos durante o desenvolvimento do projeto, os resultados esperados para o futuro caso haja a continuação do projeto, e algumas propostas de melhorias que podem ser implementadas para proporcionar maior versatilidade e segurança.

5.1 Resultados Obtidos

Após o desenvolvimento de todo projeto conceitual foi utilizada a licença estudantil do software Fusion 360 da Autodesk para a criação do CAD (*Computer-Aided Design*) em 3D. As Figuras 10, 11 e 12 apresentam as vistas isométrica, lateral e superior do mini torno CNC.

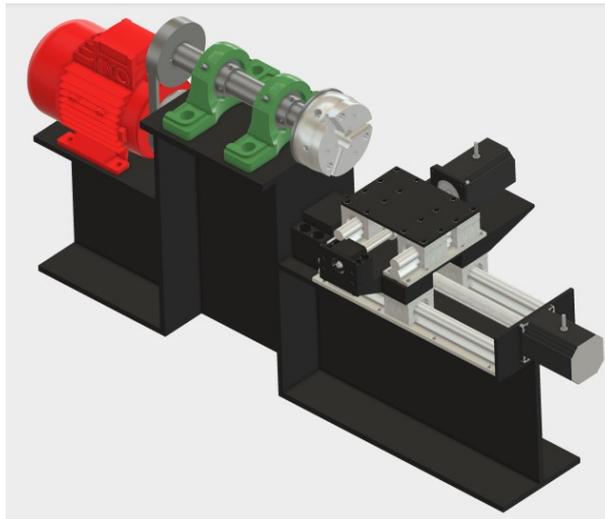


Figura 10 – Vista Isométrica do Mini-Torno CNC

Fonte: Elaborado pelos Autores

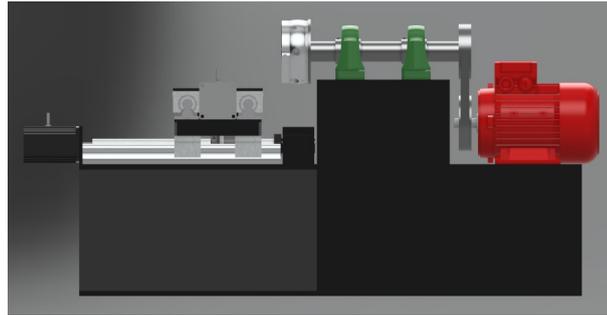


Figura 11 – Vista Lateral do Mini-Torno CNC

Fonte: Elaborado pelos Autores

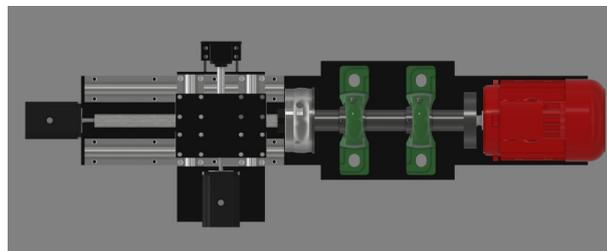


Figura 12 – Vista Frontal do Mini-Torno CNC

Fonte: Elaborado pelos Autores

No apêndice se encontram todos os desenhos técnicos das peças e partes que precisam ser fabricadas para realização do projeto.

5.2 Resultados Esperados

Com a finalização do projeto conceitual e do modelo CAD as próximas etapas do serão a fabricação e a validação do Mini-Torno CNC, que não foram realizadas pois não houve tempo hábil durante a execução do projeto para a arrecadação da verba necessária. As etapas de fabricação e validação são brevemente descritas a seguir.

5.2.1 Fabricação

O intuito é que a maior parte da fabricação possa ser desenvolvida utilizando as ferramentas e equipamentos disponíveis no LTDEA. E para a futura fabricação do projeto do mini torno CNC, o processo será dividido em etapas bem definidas. O primeiro passo será a aquisição dos materiais previamente levantados, garantindo a disponibilidade de todos os componentes necessários. Em seguida, dar-se-á início à fabricação do barramento do torno, onde serão alocados todos os elementos do projeto. Para isso, será utilizada a

viga I previamente selecionada, que fornecerá a estrutura sólida e resistente necessária para o funcionamento adequado da máquina.

Na etapa seguinte, serão realizados o corte a laser e a soldagem das demais chapas que serão utilizadas no projeto. A técnica de solda TIG será empregada para garantir uma união precisa e durável. Com as chapas cortadas e soldadas, será possível dar continuidade à montagem do torno.

O próximo passo será o posicionamento dos eixos lineares, garantindo um alinhamento adequado para o correto movimento das peças. Em seguida, serão instalados os pillow blocks, que desempenharão o movimento longitudinal do torno. Sobre eles, serão posicionados os espaçadores usinados em nylon e, posteriormente, a base do porta-ferramentas, composta por um par de eixos lineares e dois pares de pillow blocks.

Prosseguindo, serão posicionados os mancais, os motores de passo, os eixos de esferas, suas respectivas castanhas e, por fim, os acoplamentos. Dessa forma, a parte de movimentação estará finalizada, proporcionando o deslocamento preciso das peças a serem usinadas.

Em seguida, será realizada a montagem do eixo-árvore. Inicialmente, serão posicionados os pares de mancais, levando em consideração o alinhamento do conjunto. Em seguida, será instalado o eixo-árvore, já com a placa de suporte da cabeça do torno soldada. A cabeça do torno será posicionada, sendo responsável por prender as peças a serem usinadas. Na outra extremidade, será encaixada a polia do eixo-árvore, juntamente com sua respectiva chaveta.

Após a montagem do eixo-árvore, o motor será posicionado com sua polia e chaveta correspondentes, levando em conta o alinhamento para posterior instalação da correia. Em seguida, será realizada a montagem do sistema elétrico e CNC, conforme elucidado anteriormente no tópico específico.

A montagem do sistema elétrico será realizada de forma meticulosa no interior do barramento do torno, visando otimizar o espaço disponível e garantir uma organização eficiente dos componentes. Será dada especial atenção à disposição do cabeamento, de modo a torná-lo claro e de fácil compreensão para os futuros estudantes que farão uso do equipamento. Todos os cabos e fios serão identificados com etiquetas claras e precisas, indicando suas respectivas funções e conexões.

Dessa forma, a concepção e a montagem do sistema elétrico não apenas assegurarão o correto funcionamento do mini torno CNC, mas também contribuirão para o enriquecimento do conhecimento técnico dos estudantes, incentivando o interesse pela tecnologia e fomentando o aprendizado prático em engenharia.

Ao final da montagem de todos os componentes, serão realizados testes para comprovar o funcionamento adequado da máquina. Essa etapa é crucial para garantir que

todas as partes estejam integradas corretamente e que o mini torno CNC esteja operando conforme o esperado. A partir dos resultados dos testes, eventuais ajustes e calibrações poderão ser realizados para garantir um desempenho ótimo e satisfatório da máquina.

5.2.2 Validação

A validação do torno após a fabricação do mesmo é de extrema importância para garantir que a máquina está funcionando corretamente. Para que ocorra a validação do Mini Torno CNC são indicados a realização de alguns testes que devem ser concluídos com sucesso.

Antes de realizar os testes é necessário realizar a verificação da estrutura mecânica checando as guias lineares, os mancais, a correia de forma a atestar que todos estão posicionados corretamente, que estão alinhados e que operam suavemente. Outra verificação a ser feita é a do sistema elétrico/eletrônico, esse deve ter todas as suas conexões realizadas corretamente e funcionando adequadamente. Com a verificação feita e os ajustes necessários realizados os testes de validação podem começar.

O primeiro teste a ser realizado é o de precisão dos movimentos, que tem por objetivo garantir que os movimentos nos eixos X e Y são executados de forma precisa e consistente. Para realização desse teste é recomendado a utilização de comandos simples e em baixa velocidade, o código deve contemplar o movimento de avanço, movimento de recuo, movimento de aproximação e profundidade de corte. Nesse momento não deve ser realizada a usinagem de nenhuma peça, apenas a validação dos movimentos e para aumentar a segurança durante a realização do mesmo a ferramenta de corte pode estar ausente. Durante esse teste é importante garantir que o caminho da ferramenta atinja as chaves de fim de curso para conferir a funcionalidade das mesmas. Caso o teste não seja bem-sucedido se faz necessário a realização da calibração do sistema de coordenadas do CNC.

O segundo teste a ser realizado é o de segurança, nesse teste pode ser utilizado o mesmo código do teste anterior e durante sua execução o botão de emergência deve ser acionado. Uma boa prática é testar o botão de emergência em uma simulação onde o torno esteja funcionando em velocidade máxima, para garantir que em situações extremas o mesmo irá funcionar adequadamente. Durante esse teste a ferramenta de corte também pode estar ausente para garantir maior segurança. Caso esse teste não seja bem-sucedido o sistema de segurança deve ser reavaliado e testado até que funcione corretamente. Não seguir para o último teste até que o teste de segurança esteja validado.

Por fim deve ser realizado um teste de usinagem simples. Para isso é necessário reposicionar a ferramenta de corte caso a mesma tenha sido retirada para os testes anteriores. É recomendado que nesse momento seja utilizado uma peça de teste e/ou sobressalente,

defina no código as especificações de usinagem desejada e, após o fim do processo, confira as medidas da peça usinada com um instrumento de medição adequado (paquímetro, micrômetro, entre outros) e compare com as especificações definidas anteriormente. Avalie também o acabamento superficial da peça usinada. Se algum dos parâmetros estiver em desconformidade será necessária uma calibração extra do sistema de coordenadas do CNC.

Com a realização bem-sucedida desses três testes o torno pode ser validado para uso.

5.3 Propostas de Melhorias Futuras

5.3.1 Sistema de Proteção

A segurança durante o uso de um torno CNC é de extrema importância para garantir a proteção dos operadores e prevenir acidentes potenciais.

Devido à natureza complexa e automatizada dos tornos CNC se faz essencial a implementação de medidas adequadas de segurança para minimizar os riscos. Isso envolve o uso de dispositivos de segurança, além de garantir o treinamento adequado dos operados e alunos que irão utilizar o torno projetado.

A adequação do equipamento a NR-12 é uma forma de assegurar a integridade física e a saúde dos operários, ela estabelece os requisitos mínimos de segurança para máquinas e equipamentos definidos pelo Ministério do Trabalho e Emprego do Brasil com o objetivo de prevenir acidentes, lesões e doenças ocupacionais. Para isso é necessária uma análise de risco, implementação de dispositivos de segurança, a proteção contra partes móveis perigosas, a garantia de sistemas de parada de emergência, entre outros requisitos que estão englobados na norma.

Como a implementação da NR-12 é um processo complexo e extremamente detalhado, fugindo do escopo do projeto, para que o torno desenvolvido atenda a um dos principais requisitos do projeto que é ser uma opção mais segura para demonstrações didáticas do processo de usinagem os seguintes tópicos foram levantados como opções viáveis:

- 1. Implementação de Proteção das Partes Móveis:** importante para proteger o operador do contato direto com a parte superior da placa e do carro porta ferramenta, além de promover uma proteção contra a projeção da ferramenta de corte e dos cavacos. Existem modelos comerciais como os apresentados nas Figuras 13 e 14, porém para o Mini-Torno seria necessário o desenvolvimento de um projeto específico com as dimensões adequadas.



Figura 13 – Proteção paara Placa de Torno Até 600mm - NR12.

Fonte: Loja TechnoSafe, 2023



Figura 14 – Proteção articulável para o carro porta ferramentas - NR12.

Fonte: Loja TechnoSafe, 2023

2. Implementação de um Quadro Elétrico de Segurança: um quadro elétrico de segurança deve ter a capacidade de desacelerar, parar e imobilizar o torno durante sua ativação. O mesmo pode contemplar vários itens, sendo os mais importantes: botão de parada de emergência (botão cogumelo vermelho com fundo amarelo) , um botão de reset e um sinalizador para indicar quando o sistema está operando normalmente ou em falha. Outra função que pode ser adicionada em um quadro elétrico de segurança é o sistema de controle das partes móveis, que permite o uso do equipamento apenas quando as mesmas estão posicionadas corretamente.

Ao adotar uma abordagem abrangente de segurança é possível garantir um ambiente de trabalho seguro e maximizar a eficiência do processo de usinagem. Para isso além

das propostas apresentadas anteriormente se faz indispensável a criação de um manual de uso e de um manual técnico que apresente um plano mínimo de manutenção preventiva.

5.3.2 Sistema de Troca de Ferramentas

Outra melhoria sugerida é o projeto e implementação de um sistema de troca de ferramentas.

Esse tipo de sistema oferece diversas vantagens para melhorar a eficiência e a produtividade da operação, permitindo um número maior de possibilidades de usinagens oferecidos pelo Mini Torno CNC.

Para manter o nível de fabricação do projeto mais simples e menos oneroso possível a recomendação seria fazer um porta ferramentas com capacidade para duas ou três ferramentas diferentes, dessa forma o trabalho para realização da troca de ferramentas seria inteiramente realizado pelo CNC implementado sem a necessidade de um sistema mecânico/elétrico adicional.

Algumas das vantagens que a implementação desse sistema pode trazer são a redução do tempo de Setup, pois não será necessário parar o funcionamento do torno para realizar a troca da ferramenta; maior flexibilidade de criação de forma que outras ferramentas proporcionam outros modos de usinagem e diferentes acabamentos superficiais além de proporcionar maior segurança, pois a troca sem a interferência do operador reduz a exposição das mãos as partes móveis e áreas de risco do torno. A principal desvantagem da implementação desse sistema seria a redução do espaço útil de usinagem.

6 Conclusão

Através deste Trabalho de Conclusão de Curso, foi possível desenvolver um projeto mecânico de um mini torno CNC altamente relevante para a área de Tecnologias de Fabricação 2 na Universidade de Brasília, Campus Gama. O processo de pesquisa e desenvolvimento abrangeu diversos aspectos essenciais para a construção e utilização bem-sucedida do equipamento nas aulas práticas, culminando em uma solução inovadora e de alto desempenho.

Inicialmente, realizou-se um minucioso estudo de mercado, analisando as principais características e demandas dos tornos CNC disponíveis comercialmente. Essa etapa permitiu identificar lacunas e oportunidades de aprimoramento, bem como traçar um panorama competitivo para o produto final.

A partir do levantamento de requisitos e especificações, o dimensionamento adequado dos componentes foi cuidadosamente executado, garantindo a funcionalidade, segurança e durabilidade do mini torno CNC. A modelagem completa em ambiente 3D proporcionou uma visualização detalhada do projeto, permitindo ajustes e otimizações para obter um design ergonômico e de fácil utilização.

Em seguida, o levantamento de custos foi realizado de maneira criteriosa, considerando a viabilidade financeira do projeto e fornecendo uma estimativa do investimento necessário para sua implementação. Isso foi fundamental para o planejamento financeiro e para justificar a proposta de desenvolvimento do mini torno CNC.

Por fim, o planejamento da futura montagem completa e validação do projeto estabeleceu diretrizes para os testes, ajustes e aprimoramentos necessários antes da efetiva utilização do mini torno CNC nas aulas práticas. Essa etapa é essencial para garantir a segurança dos usuários, a qualidade das peças usinadas e o funcionamento adequado do equipamento.

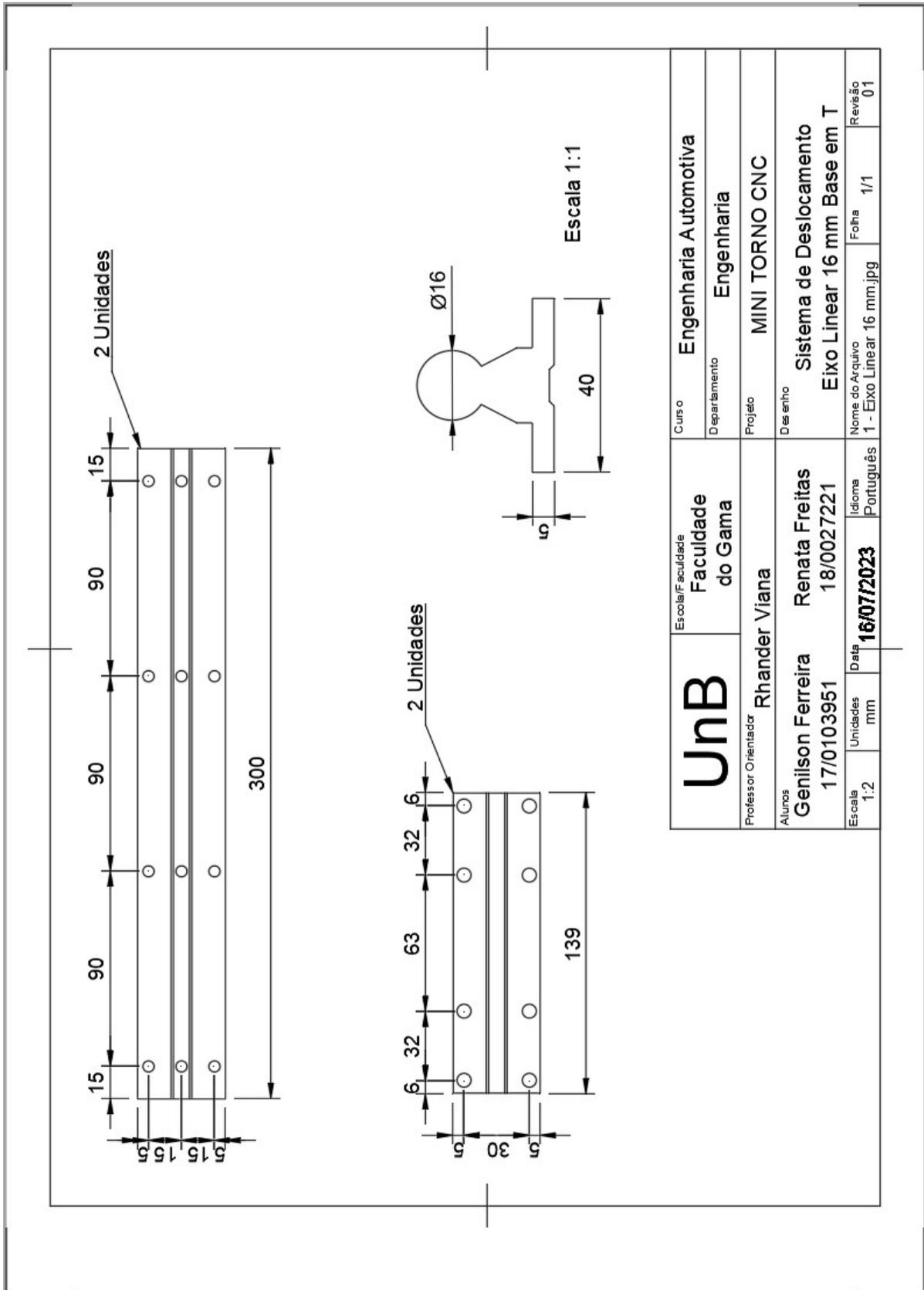
Portanto, o projeto mecânico do mini torno CNC representa um importante avanço na formação dos estudantes, oferecendo a eles a oportunidade de vivenciarem na prática os conceitos aprendidos em sala de aula, além de prepará-los para os desafios da indústria de fabricação mecânica. A Universidade de Brasília Campus Gama, ao promover essa iniciativa, reforça seu compromisso com o ensino de excelência e a formação de profissionais capacitados e atualizados com as mais modernas tecnologias do mercado.

Referências

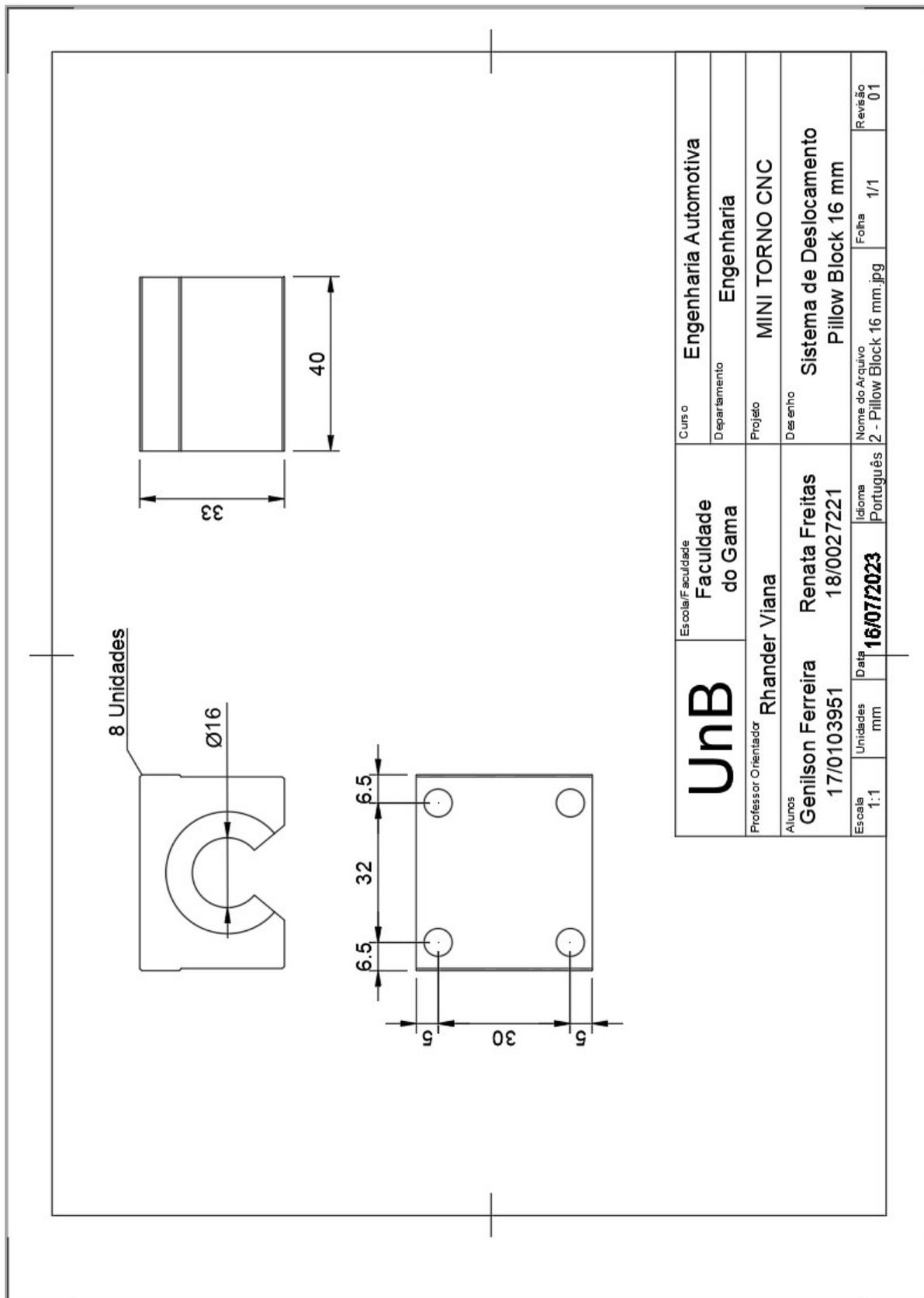
- ABNT-23125. *ABNT NBR ISO 23125: Máquinas-Ferramenta -Segurança - Tornos*. [S.l.], 2013. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.
- ABNT-6162. *ABNT NBR 6162: Movimentos e Relações Geométricas na Usinagem dos Metais*. [S.l.], 1989. Citado na página 18.
- ALMEIDA, J. C. de; LIMA, K. F. de; BARBIERI, R. *Elementos de Máquinas: Projeto de Sistemas Mecânicos*. 2. ed. [S.l.]: Blucher, 2022. ISBN 978-65-5506-493-3. Citado na página 31.
- FERRARESI, D. *Fundamentos da Usinagem dos Metais*. [S.l.]: Blucher, 1970. ISBN 978-85-212-1419-9. Citado na página 16.
- ISO:1302. *ISO 1302: Geometrical Product Specifications (GPS): Indication on Surface Texture in Technical product documentation*. [S.l.], 2002. Citado na página 18.
- KIMINAMI, C. S.; CASTRO, W. B. de; OLIVEIRA, M. F. *Introdução aos Processos de Fabricação de Produtos Metálicos*. 5. ed. [S.l.]: Blucher, 2013. ISBN 978-85-212-0683-5. Citado 3 vezes nas páginas 16, 17 e 18.
- MACH3. *Mach3 Controle de CNC: A instalação do Software e Configuração*. [S.l.], 2008. Citado 3 vezes nas páginas 33, 34 e 35.
- MACHADO Álisson R. et al. *Teoria da Usinagem dos Materiais*. 1. ed. [S.l.]: Blucher, 2009. ISBN 978-85-212-0452-7. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 21.
- SHIGLEY, J. E.; MISCHKE, C. R.; BUDYNAS, R. G. *Projeto de Engenharia Mecânica*. 7. ed. [S.l.]: Bookman, 2005. ISBN 978-85-363-0562-2. Citado na página 32.
- SILVA, A.; SANTOS, B.; RODRIGUES, C. Influence of cutting parameters on surface roughness and material removal rate in turning process. *Journal of Manufacturing Engineering*, 2020. Citado na página 21.

Apêndices

APÊNDICE A – Desenhos Técnicos

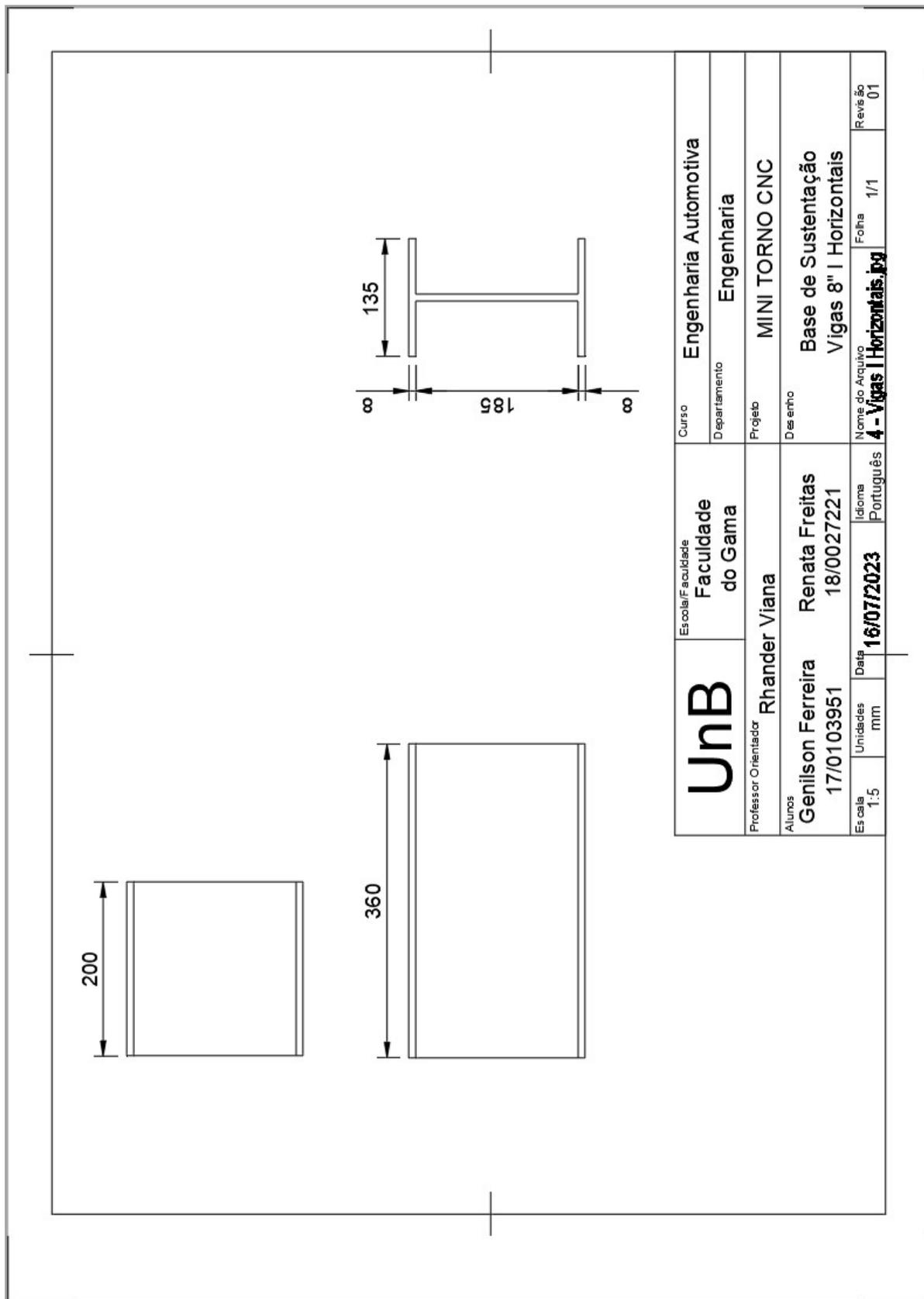


UnB	Escola/Faculdade	Faculdade do Gama	Curso	Engenharia Automotiva
	Professor Orientador	Rhander Viana	Departamento	Engenharia
Alunos	Genilson Ferreira	Renata Freitas	Projeto	MINI TORNO CNC
	17/0103951	18/0027221	Desenho	Sistema de Deslocamento
Escala	Unidades	Data	Eixo Linear 16 mm Base em T	
1:2	mm	16/07/2023	Nome do Arquivo	1 - Eixo Linear 16 mm.jpg
			Folha	1/1
			Revisão	01

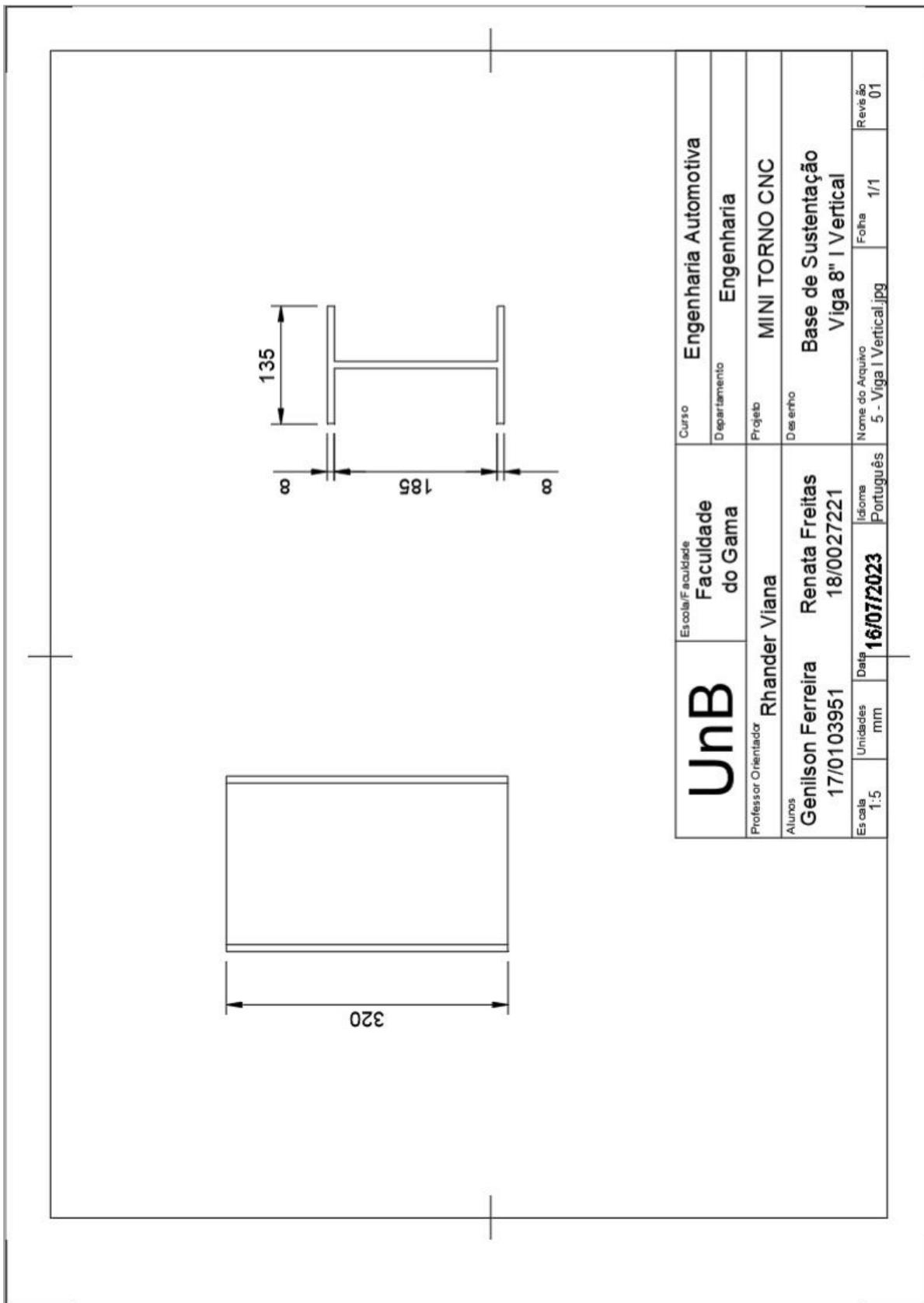


The drawing shows a technical drawing of a rectangular part. The top view is a rectangle with a width of 21 mm and a length of 30 mm. The side view shows a height of 6 mm. There are four circular features, two on each side, with a diameter of 5 mm. The distance between the centers of the two circles on each side is 32 mm. A callout line points to the top view with the text "4 Unidades".

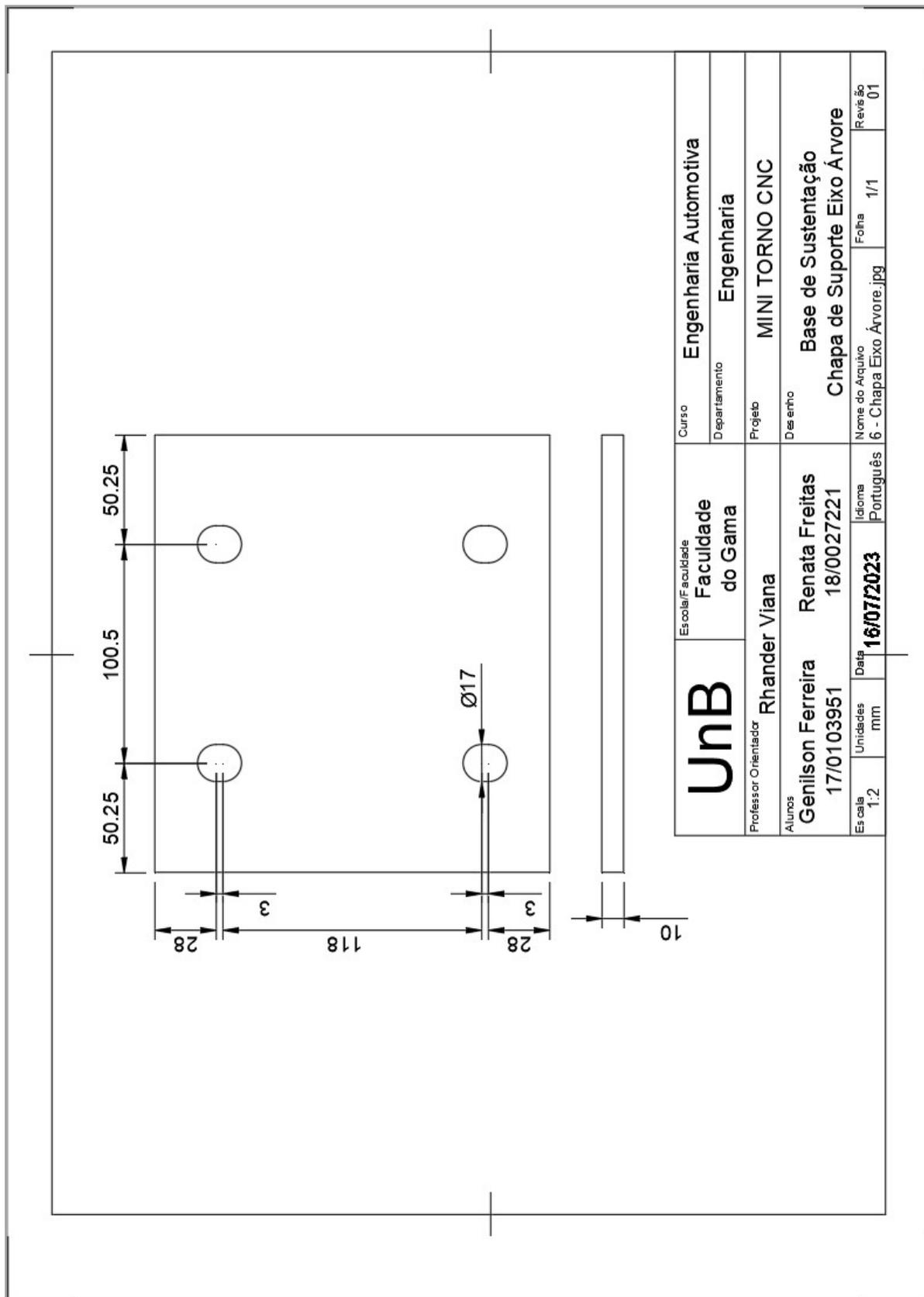
UnB	Escola/Faculdade	Faculdade do Gama	
	Professor Orientador	Rhander Viana	
Alunos	Genilson Ferreira	Renata Freitas	
	17/0103951	18/0027221	
Escala	1:1	Unidades	mm
		Data	16/07/2023
		Idioma	Português
Curso	Engenharia Automotiva		
Departamento	Engenharia		
Projeto	MINI TORNO CNC		
Desenho	Sistema de Deslocamento		
	Espaçador Pillow Block Eixo Y		
Nome do Arquivo	3 - Espaçador.jpg	Folha	1/1
Revisão			01

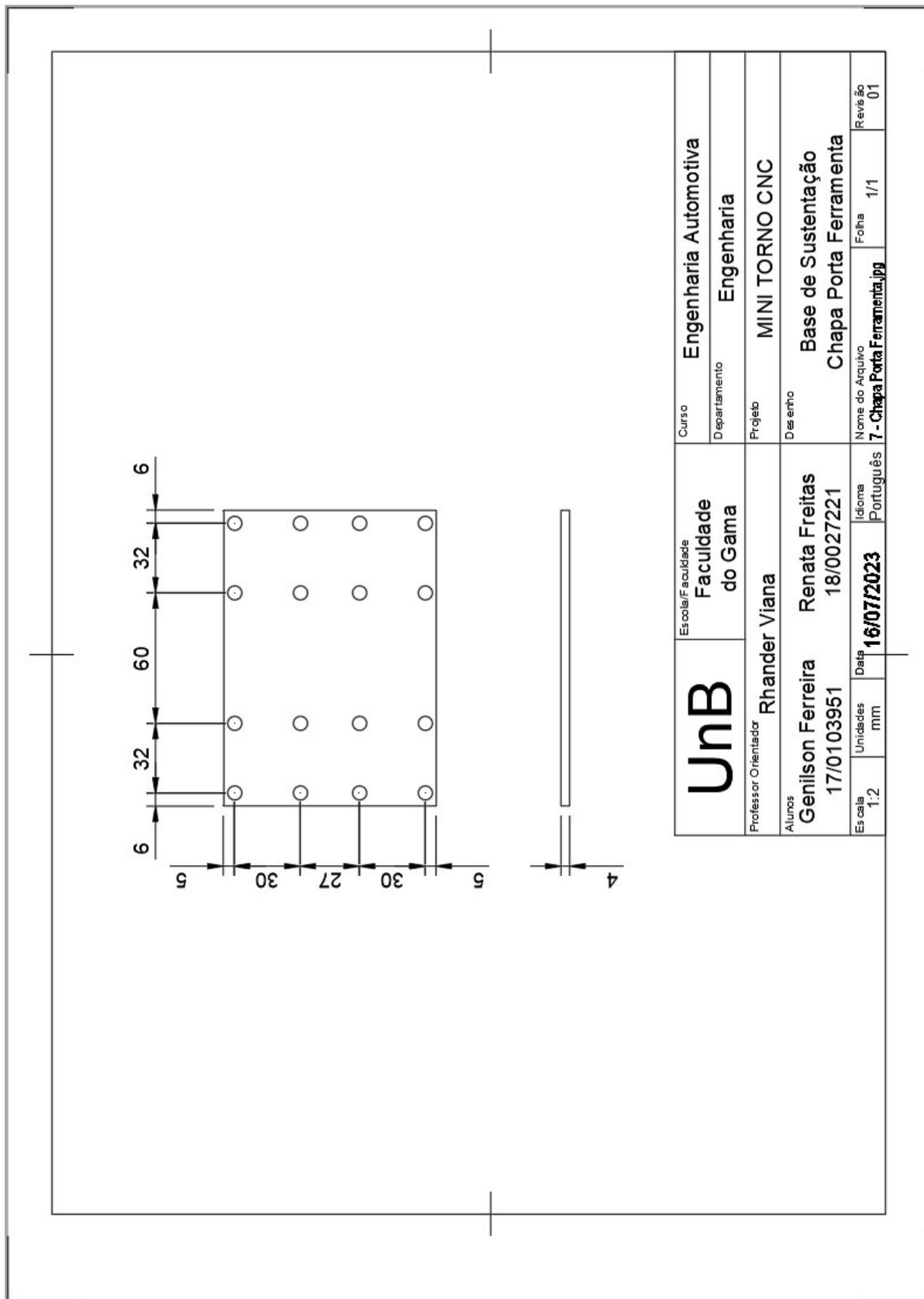


UnB	Escola/Faculdade	Faculdade do Gama	
	Professor Orientador	Rhander Viana	
Alunos	Genilson Ferreira	Renata Freitas	18/0027221
17/0103951			
Esala	1.5	Unidades	mm
Data	16/07/2023	Idioma	Português
Curso	Engenharia Automotiva		
Departamento	Engenharia		
Projeto	MINI TORNO CNC		
Desenho	Base de Sustentação Vigas 8" I Horizontais		
Nome do Arquivo	4 - Vigas I Horizontais.jpg		Folha 1/1
Revisão	01		

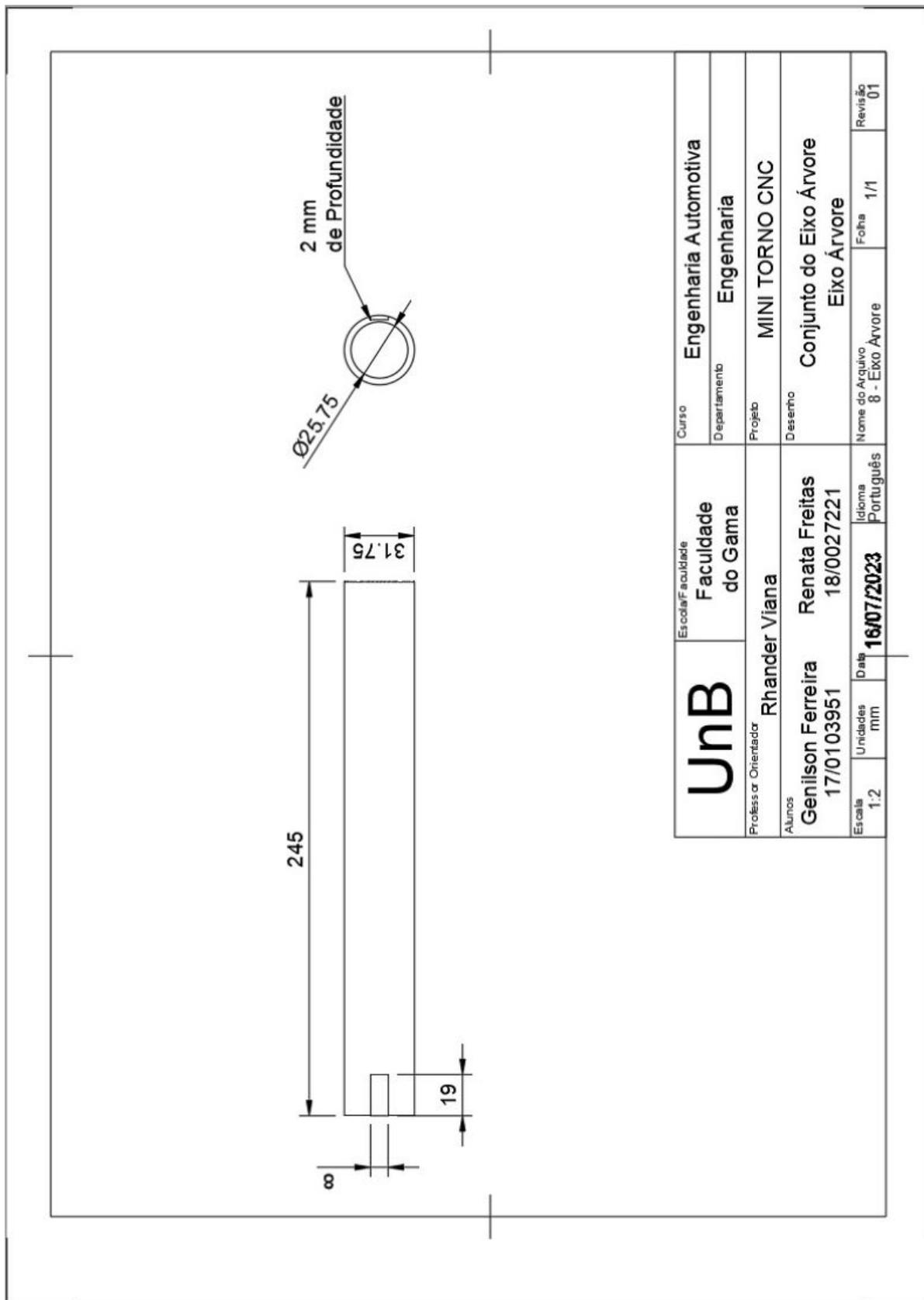


UnB	Escola/Faculdade		Curso		
	Faculdade do Gama		Engenharia Automotiva		
Professor Orientador		Departamento			
Rhander Viana		Engenharia			
Alunos		Projeto			
Genilson Ferreira		MINI TORNO CNC			
17/0103951		Desenho			
Renata Freitas		Base de Sustentação			
18/0027221		Viga 8" Vertical			
Esala	Unidades	Data	Nome do Arquivo	Folha	Revisão
1:5	mm	16/07/2023	5 - Viga Vertical.jpg	1/1	01
		Idioma			
		Português			

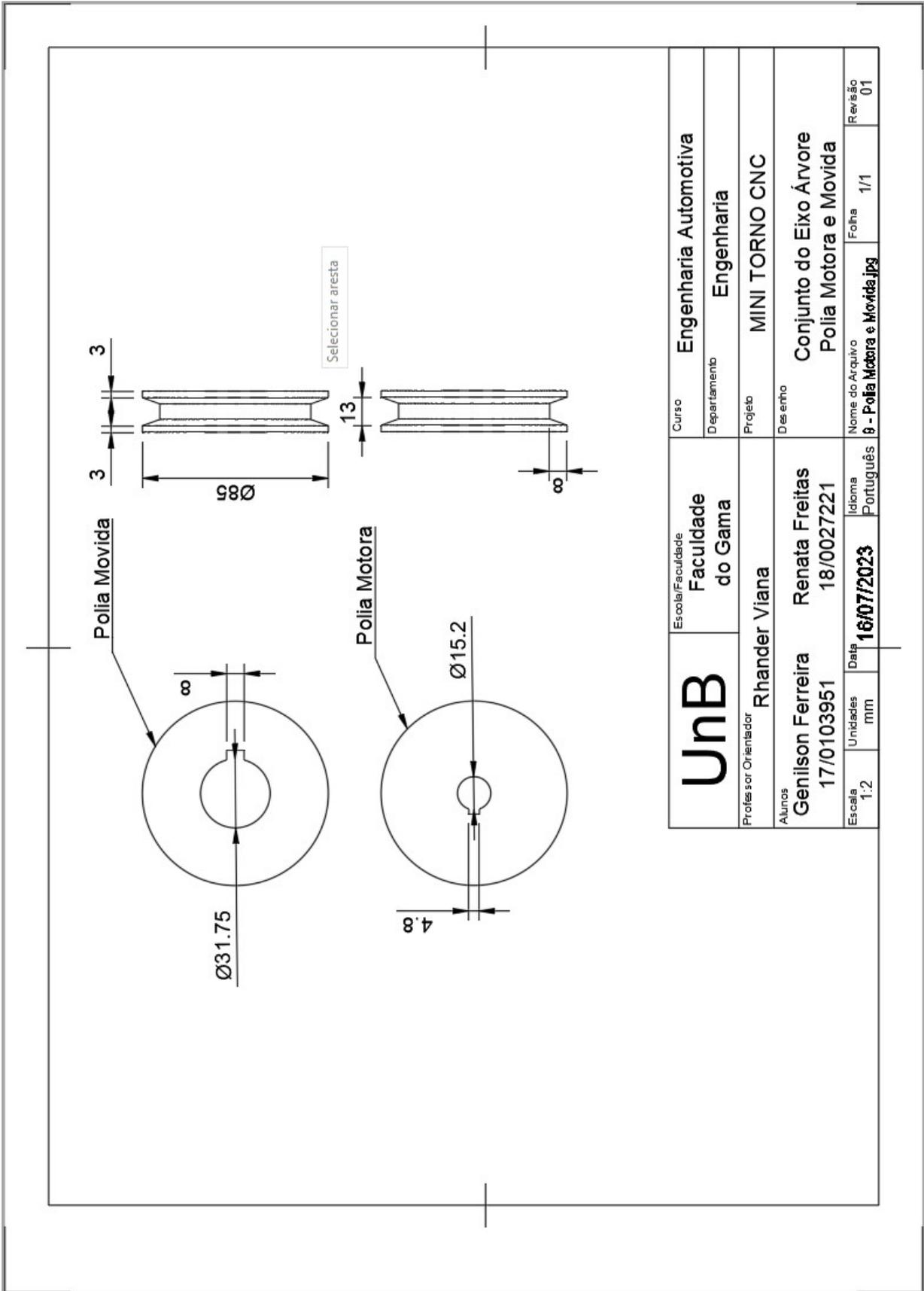




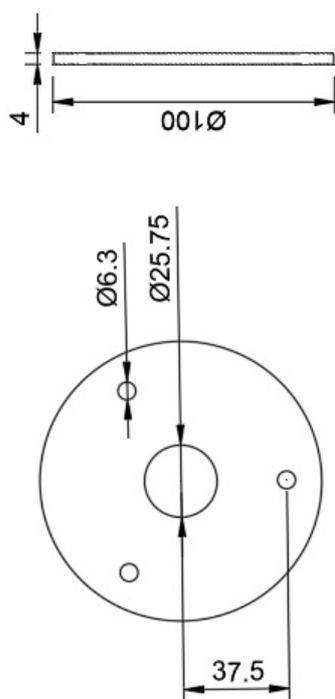
UnB	Escola/Faculdade	Faculdade do Gama	Curso	Engenharia Automotiva
	Professor Orientador	Rhander Viana	Departamento	Engenharia
Alunos	Genilson Ferreira	Renata Freitas	Projeto	MINI TORNO CNC
17/0103951	18/0027221		Desenho	Base de Sustentação
Esala 1:2	Unidades mm	Data 16/07/2023	Nome do Arquivo	Chapa Porta Ferramenta
		Idioma Português	Folha 1/1	Revisão 01
			7 - Chapa Porta Ferramenta.jpg	



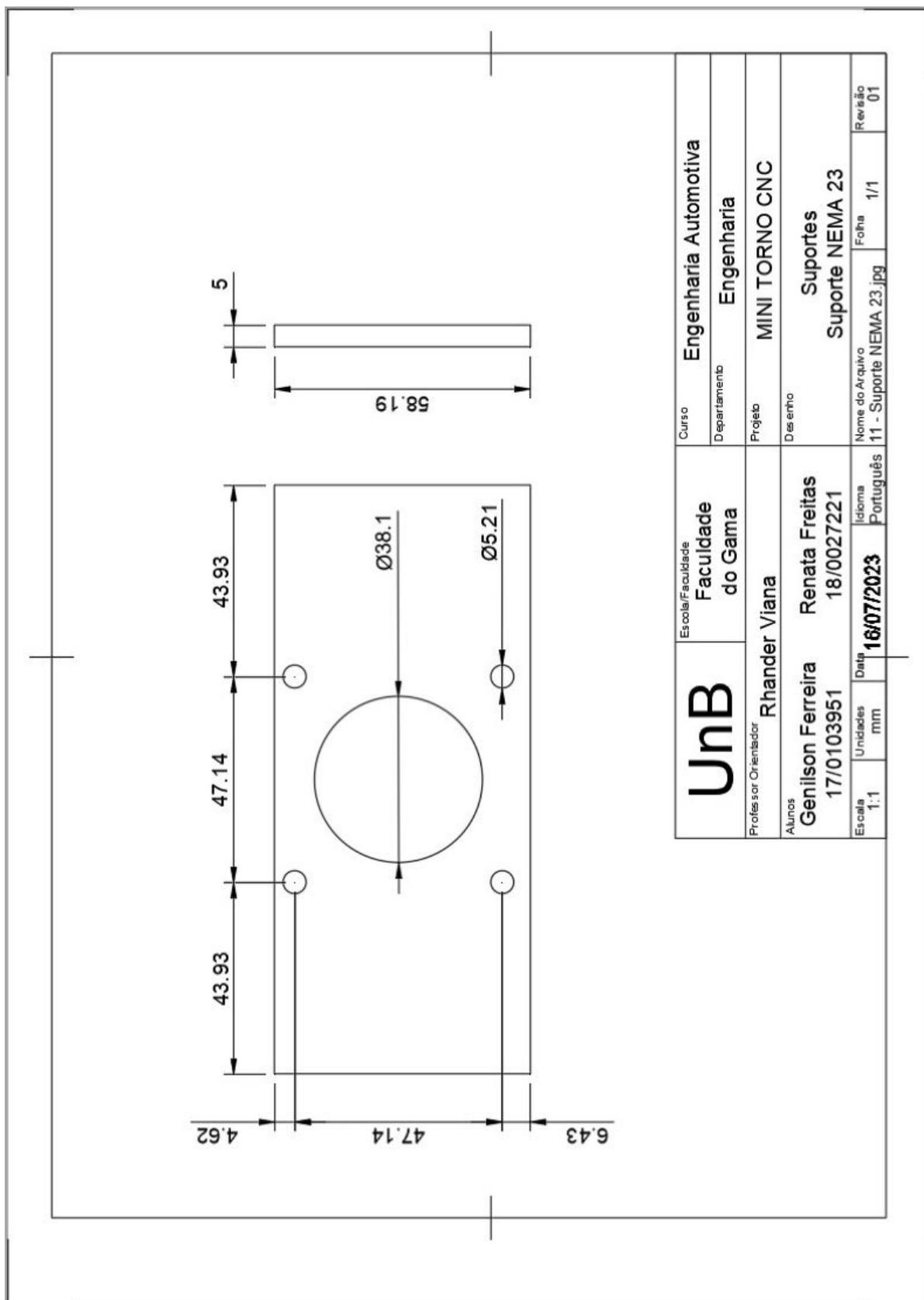
UnB	Escola/Faculdade	Faculdade do Gama	Curso	Engenharia Automotiva
	Profess or Orientador	Rhander Viana	Departamento	Engenharia
Alunos	Genilson Ferreira	Renata Freitas	Projeto	MINI TORNO CNC
17/0103951	18/0027221	18/0027221	Desenho	Conjunto do Eixo Árvore
1.2	mm	16/07/2023	Nome do Arquivo	Eixo Árvore
		Português	Folha	1/1
			Revisão	01



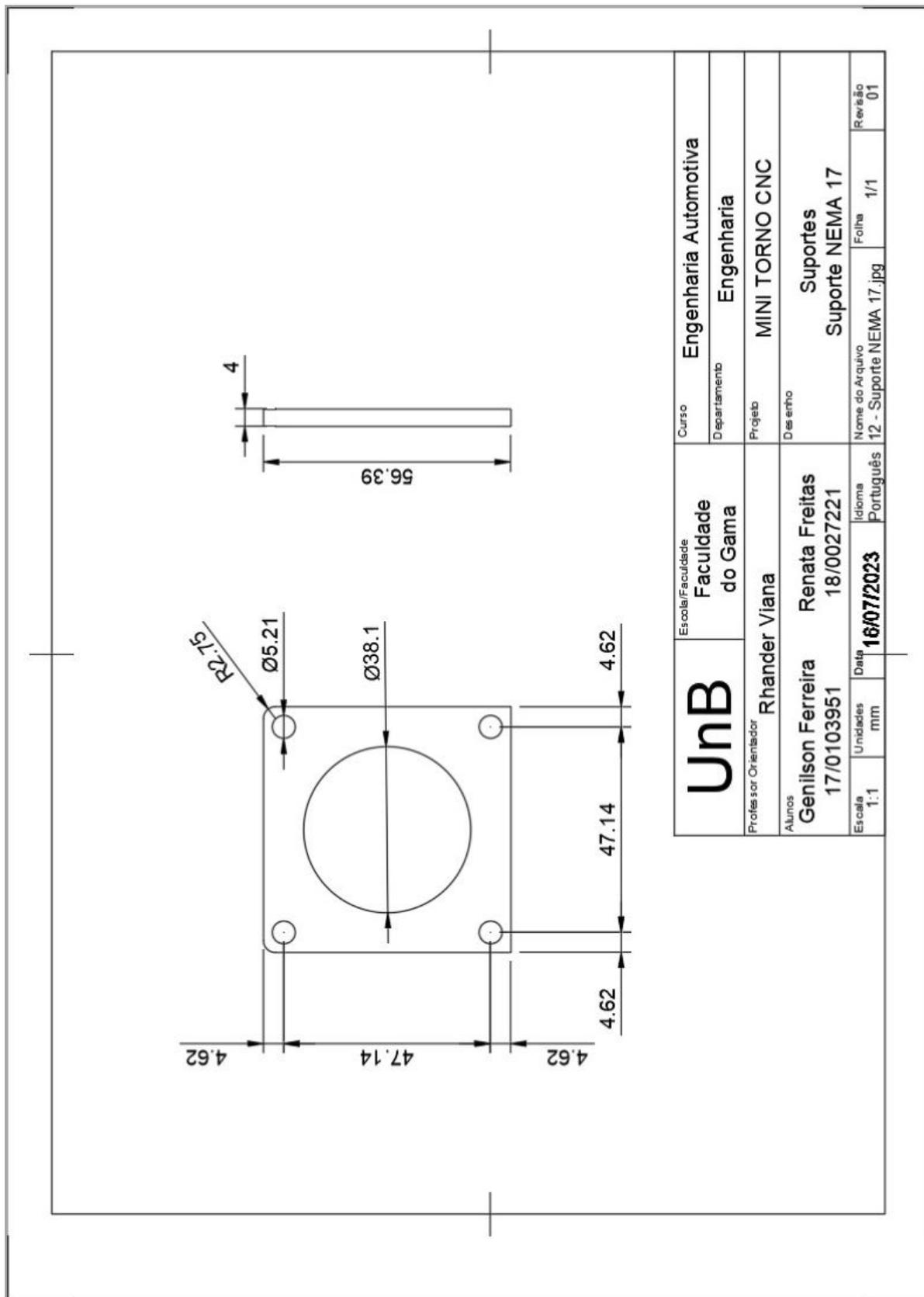
UnB	Escola/Faculdade		Engenharia Automotiva	
	Faculdade do Gama		Engenharia	
Professor Orientador		Projeto		
Rhander Viana		MINI TORNO CNC		
Alunos		Desenho		
Genilson Ferreira		Conjunto do Eixo Árvore		
17/0103951		Polia Motora e Movida		
Escala	Unidades	Data	Nome do Arquivo	Revisão
1:2	mm	16/07/2023	9 - Polia Motora e Movida.jpg	01
			Folha	1/1



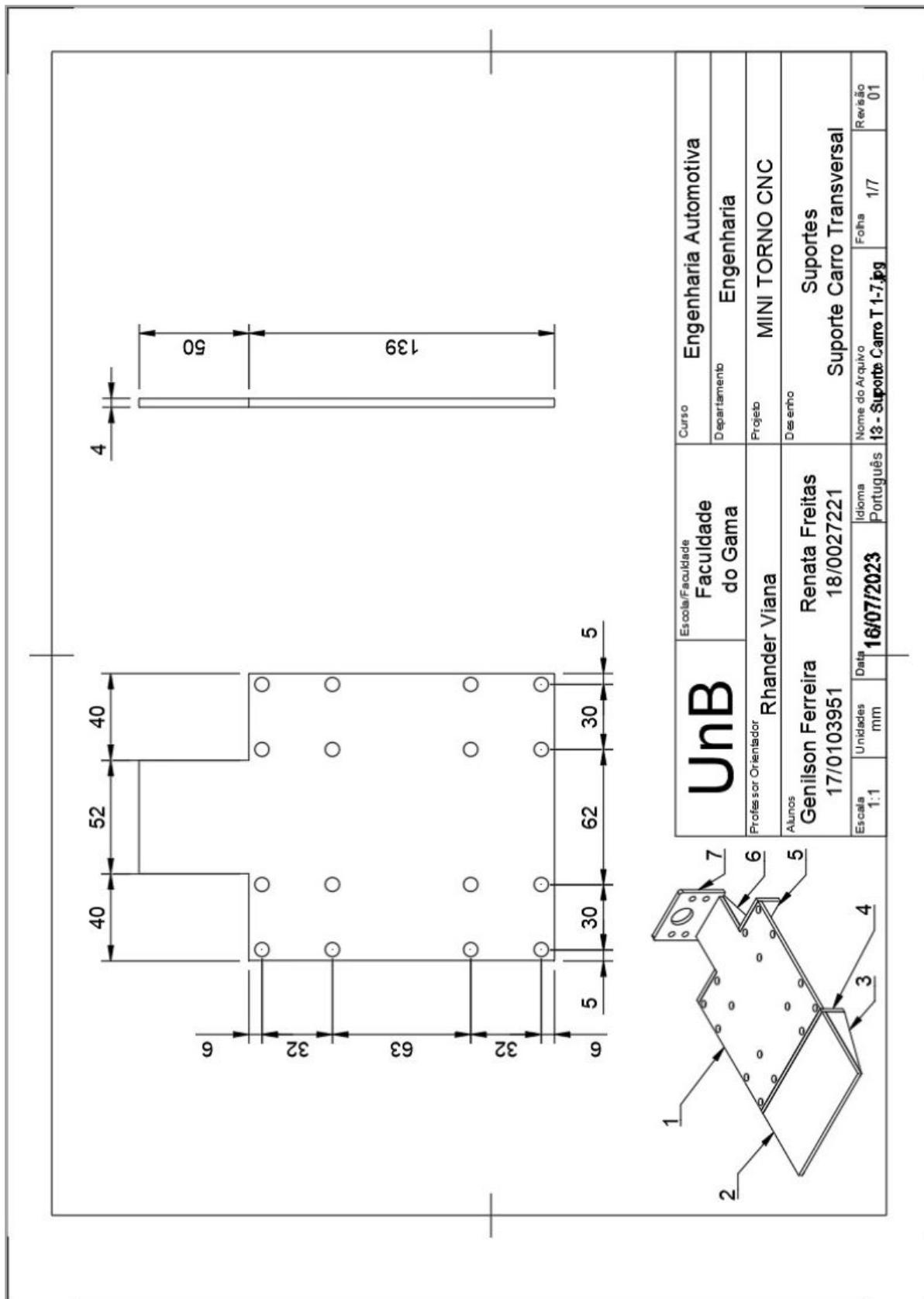
UnB	Escola/Faculdade		Faculdade do Gama		Curso		Engenharia Automotiva		
	Professor Orientador		Rhander Viana		Departamento		Engenharia		
Alunos		Genilson Ferreira		Renata Freitas		Projeto		MINI TORNO CNC	
Escala		1:2		Data		Desenho		Conjunto Eixo Árvore	
Unidades		mm		Idioma		Nome do Arquivo		Placa da Cabeça do Torno	
mm		16/07/2023		Português		10 - Placa Cabeça Torno.jpg		Folha	
								1/1	
								Revisão	
								01	

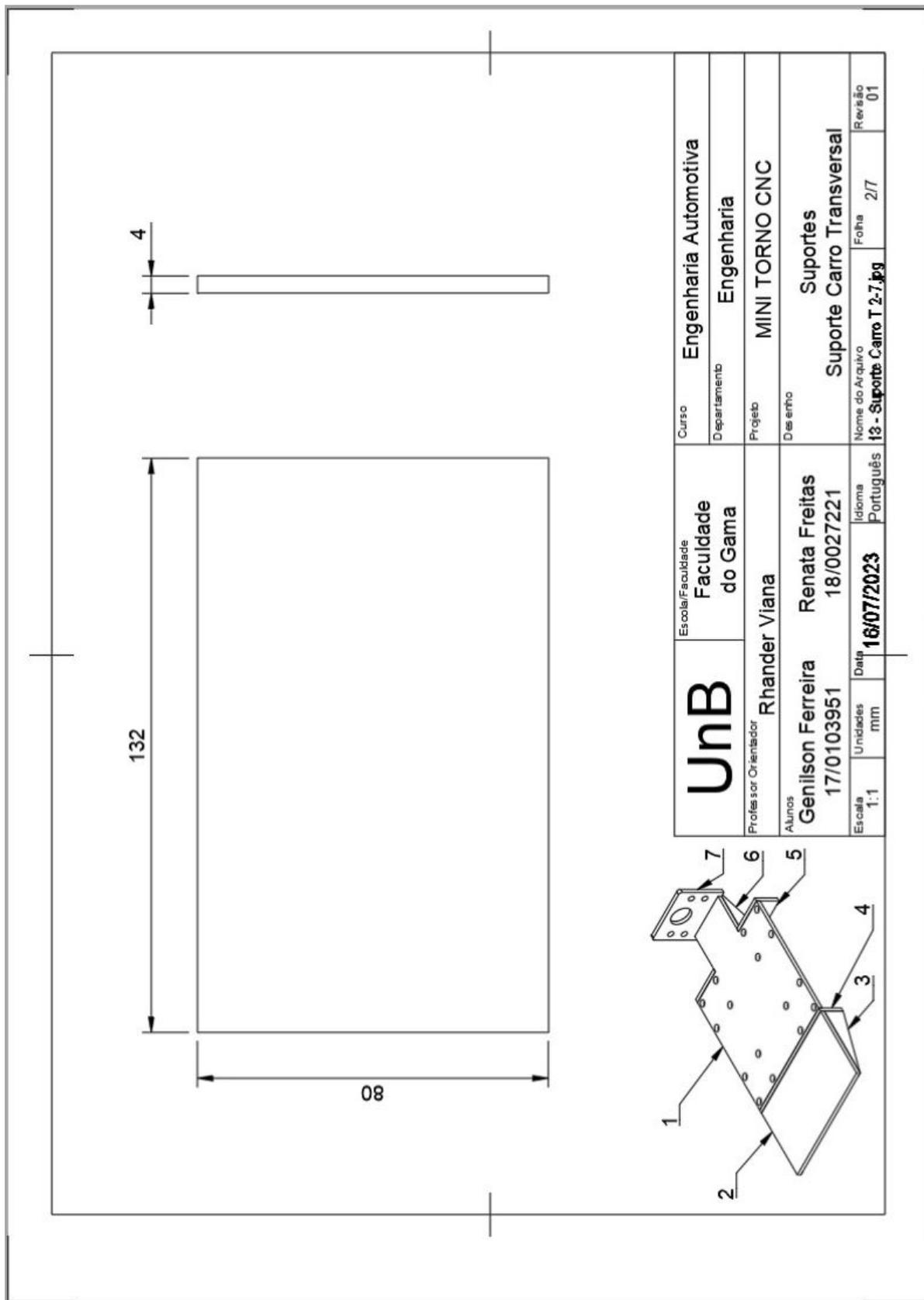


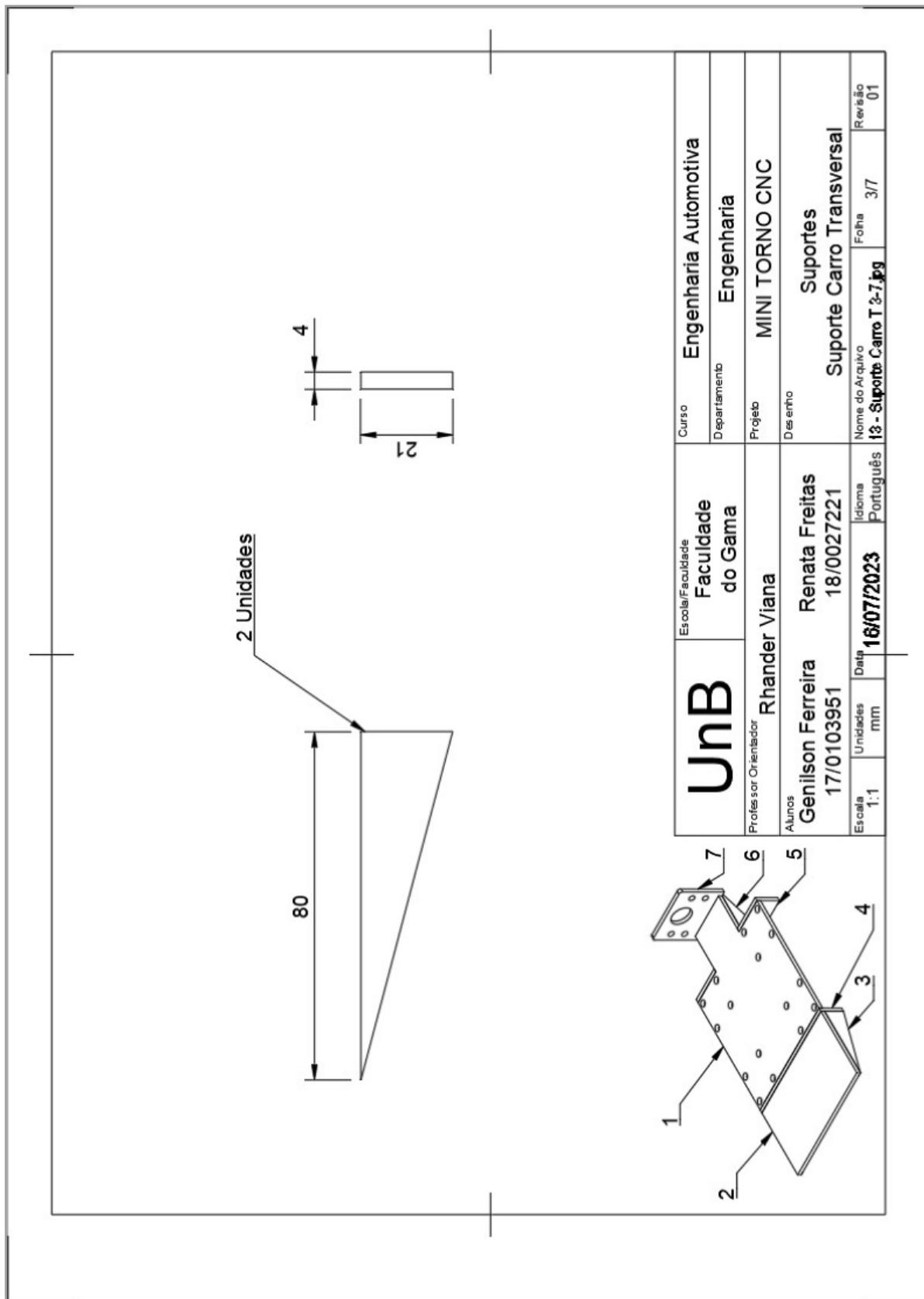
UnB	Escola/Faculdade	Faculdade do Gama	Curso		Engenharia Automotiva
	Professor Orientador	Rhander Viana	Departamento		Engenharia
Alunos	Genilson Ferreira	Renata Freitas	Projeto		MINI TORNO CNC
17/0103951	18/0027221		Desenho		Supportes
Escala	Unidades	Data	Nome do Arquivo		Supporte NEMA 23
1:1	mm	16/07/2023	11 - Supporte NEMA 23.jpg		Folha 1/1
			Idioma		Revisão
			Português		01

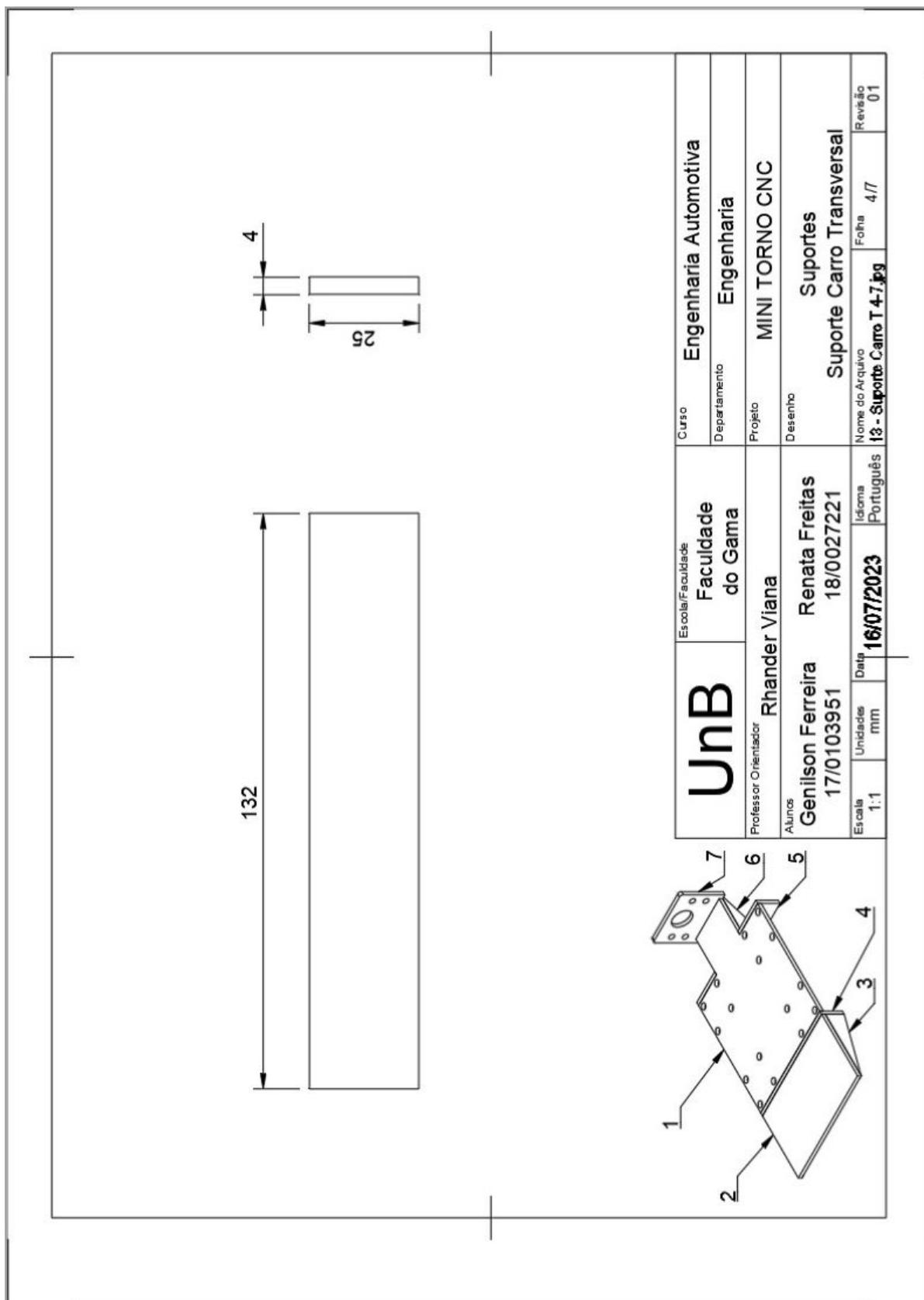


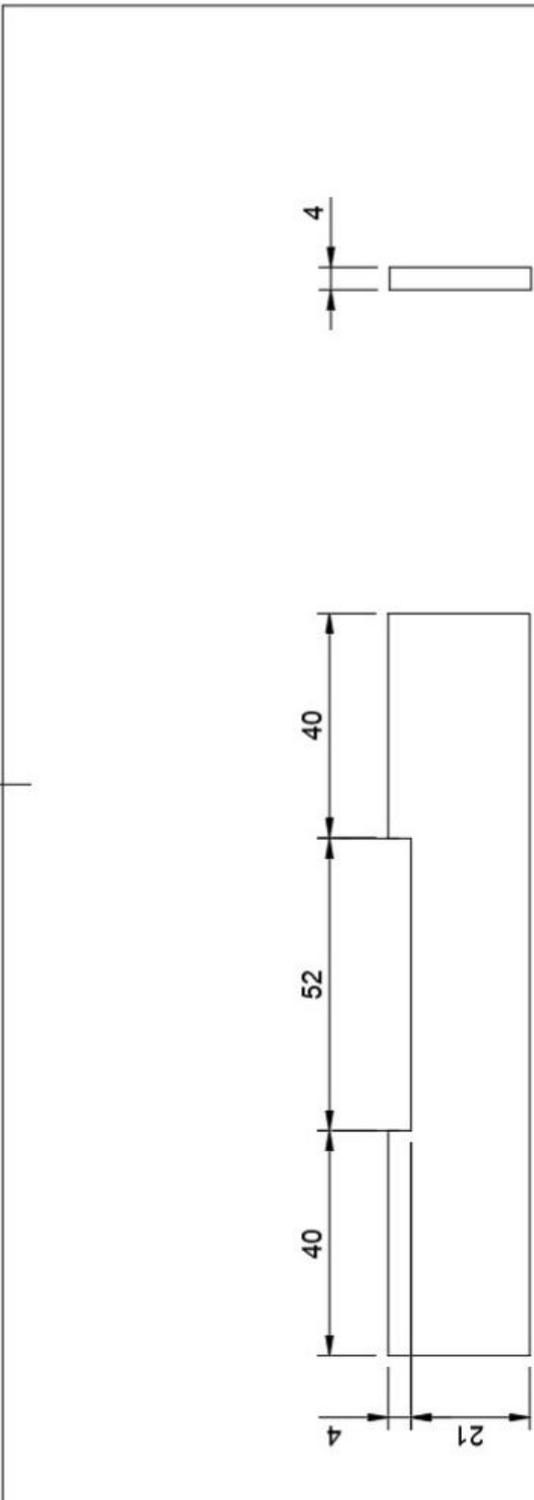
UnB	Escola/Faculdade		Faculdade do Gama		Curso		Engenharia Automotiva		
	Profesor Orientador		Rhander Viana		Departamento		Engenharia		
Alunos		Genilson Ferreira		Renata Freitas		Projeto		MINI TORNO CNC	
Escala		17/0103951		18/0027221		Desenho		Suportes	
Escala		1:1		16/07/2023		Nome do Arquivo		Suporte NEMA 17	
Unidades		mm		Idioma		Folha		1/1	
Data		16/07/2023		Português		Revisão		01	
Nome do Arquivo		12 - Suporte NEMA 17.jpg		Folha		Revisão		01	





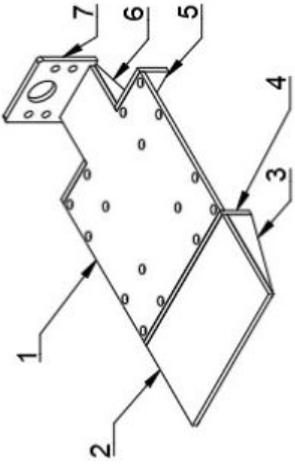




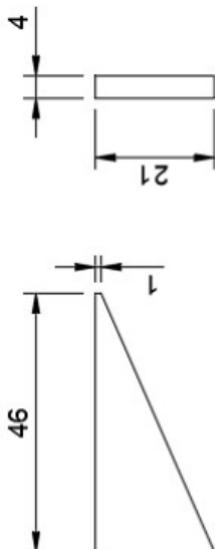


The technical drawing shows a perspective view of a support part with dimensions: 40, 52, 40, 4, 21, and 4. A detail view shows a section with a diameter of 4.

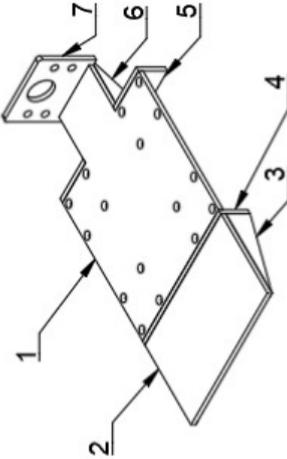
UnB	Escola/Faculdade	Faculdade do Gama	Curso	Engenharia Automotiva
	Profesor Orientador	Rhander Viana	Departamento	Engenharia
Alunos	Genilson Ferreira	Renata Freitas	Projeto	MINI TORNO CNC
Escala	17/0103951	18/0027221	Desenho	Suportes
Unidades	mm	Português	Nome do Arquivo	Suporte Carro Transversal
1:1	16/07/2023	Idioma	Folha	5/7
			Revisão	01



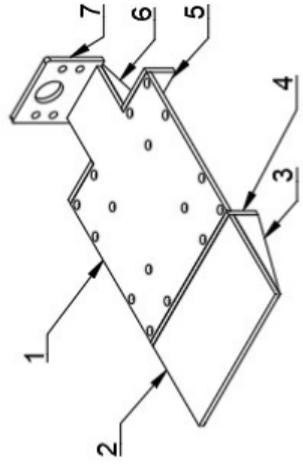
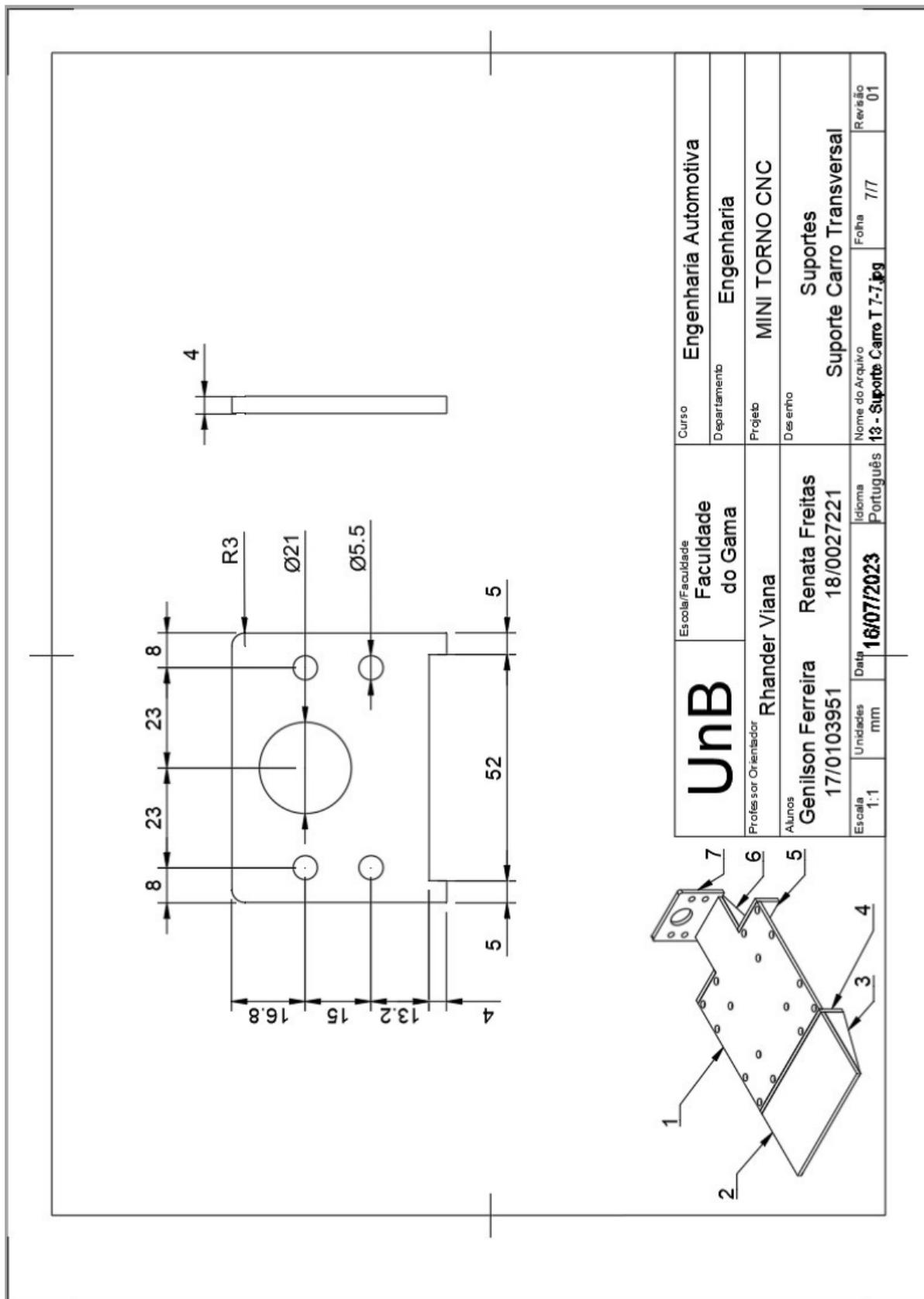
Perspective view of the support part with numbered callouts 1 through 7.



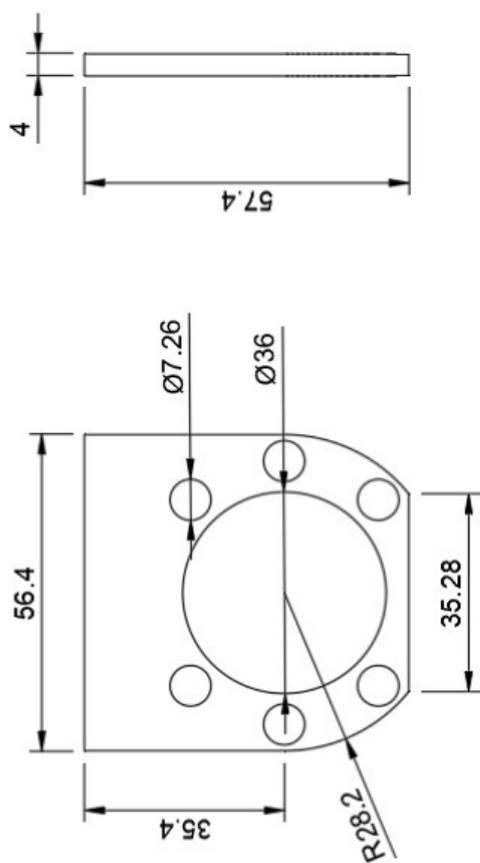
2 Unidades



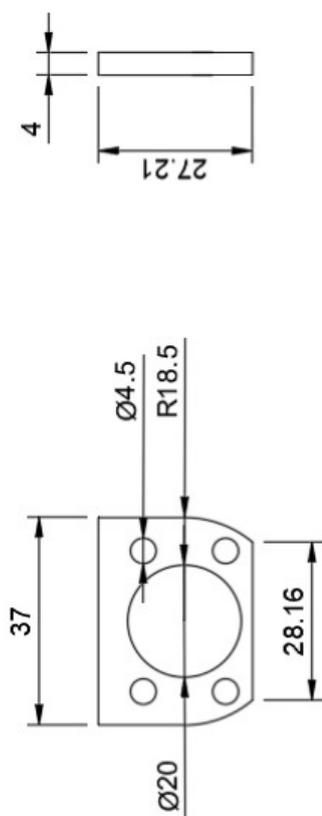
UnB	Escola/Faculdade Faculdade do Gama	Curso Engenharia Automotiva
Profesor Orientador Rhander Viana	Alunos Genilson Ferreira 17/0103951	Departamento Engenharia
Data 16/07/2023	Idioma Português	Projeto MINI TORNO CNC
Unidades mm	Suporte Carro Transversal	Desenho
Escala 1:1	Nome do Arquivo 13 - Suporte Carro T 8-7.jpg	Folha 6/7
	Revisão 01	



UnB	Escola/Faculdade	Faculdade do Gama	Curso	Engenharia Automotiva
	Profesor Orientador	Rhander Viana	Departamento	Engenharia
Alunos	Genilson Ferreira	Renata Freitas	Projeto	MINI TORNO CNC
	17/0103951	18/0027221	Desenho	Suportes
Escola	1:1	16/07/2023	Nome do Arquivo	Suporte Carro Transversal
Unidades	mm	Idioma	13 - Suporte Carro T 7-7.jpg	Folha
		Português		7/7
				Revisão
				01



UnB	Escola/Faculdade	Faculdade do Gama	Curso	Engenharia Automotiva
	Professor Orientador	Rhander Viana	Departamento	Engenharia
Alunos	Genilson Ferreira	Renata Freitas	Projeto	MINI TORNO CNC
17/0103951	18/0027221		Desenho	Suportes
1:1	16/07/2023	16/07/2023	Suporte Castanha do Fuso de 20mm	
mm	Português	Português	Nome do Arquivo	14 - Suporte Castanha 20 mm.jpg
			Folha	1/1
			Revisão	01



UnB	Escola/Faculdade	Faculdade do Gama	Curso	Engenharia Automotiva
	Professor Orientador	Rhander Viana	Departamento	Engenharia
Alunos	Genilson Ferreira	Renata Freitas	Projeto	MINI TORNO CNC
17/0103951	18/0027221		Desenho	Suportes
1:1	mm	16/07/2023	Suporte Castanha do Fuso de 8 mm	
mm	Português	Idioma	Nome do Arquivo	Folha 1/1
			16 - Suporte Castanha 8 mm .jpg	
				Revisão 01