

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ANDRÉ FELIPE GONÇALVES
ERIKA ALMEIDA NOGUEIRA
GIOVANI FERNANDES DA COSTA
ISRAEL MARTINS RAMALHO**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA FRESADORA CNC *ROUTER* DE
PEQUENO PORTE PARA FINS ACADÊMICOS**

**VOLTA REDONDA
2019**

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA FRESADORA CNC *ROUTER* DE
PEQUENO PORTE PARA FINS ACADÊMICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Mecânica do UniFOA como requisito à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica.

Alunos:

André Felipe Gonçalves

Erika Almeida Nogueira

Giovani Fernandes da Costa

Israel Martins Ramalho

Orientador:

Prof. Dr. Alexandre Alvarenga Palmeira

VOLTA REDONDA

2019

FOLHA DE APROVAÇÃO

Alunos:

André Felipe Gonçalves

Erika Almeida Nogueira

Giovani Fernandes da Costa

Israel Martins Ramalho

DESENVOLVIMENTO DE UMA FRESADORA CNC *ROUTER* DE PEQUENO PORTE PARA FINS ACADÊMICOS

Orientador:

Prof. Dr. Alexandre Alvarenga Palmeira

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Alexandre Fernandes Habibe

Prof. Dr. Alexandre Alvarenga Palmeira

Prof. Esp. Antônio de Pádua Sobreira Leal

Dedicamos este trabalho à Deus, por ter nos dado força e não nos deixar desistir no meio do caminho.

Aos nosso familiares que sempre estiveram ao nosso lado com amor e apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

Primeiro a Deus, pois sem ele nada seria possível.

Aos familiares e amigos, mestres e professores, companheiros de viagem, a todos que tornaram possível nosso percurso acadêmico, que nos ajudaram e apoiaram.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

Charles Chaplin

RESUMO

Desde a Revolução Industrial, a tecnologia e as máquinas sempre estão em constante avanço, com o objetivo de aumentar a produtividade, reduzir riscos de segurança e proporcionar maior precisão, qualidade e redução nos custos de manufatura. As fresadoras CNCs *Routers* são opções muito interessantes, principalmente para operações com madeiras, borracha, plásticos e metais não ferrosos. Essas máquinas são compostas por estruturas mecânicas simples e com alta tecnologia.

Este trabalho consiste no projeto e fabricação de uma fresadora CNC *Router* para fins acadêmicos, com a utilização de componentes e materiais padronizados no mercado, com criteriosa análise econômica e com o objetivo final de baixo investimento, entretanto tendo como resultado final um equipamento com qualidade.

Com a finalidade de maior precisão de uma maneira geral para o desenvolvimento do equipamento, elaborar todo o projeto da estrutura da máquina e desenvolver os programas de usinagem, foram utilizados os *softwares INVENTOR®* e *ARTCAM®* do fabricante *Autodesk®*, disponibilizado pela instituição de ensino nos laboratórios de informática.

Para validar o funcionamento e eficiência da fresadora CNC *Router* serão usinados quatro materiais: acrílico, madeira cerejeira, *MDF* e alumínio. A estrutura mecânica da máquina é constituída em chapa de aço carbono SAE 1020, chapas e perfis em alumínio em virtude da boa resistência mecânica, baixo peso e pela capacidade de absorção das vibrações.

As ações do equipamento são controladas via *software MACH3®*, executado através de um microcomputador com placa de *interface USB*.

Palavras-chave: Fresadora; Usinagem; CNC *Router*; *INVENTOR®*; *ARTCAM®*.

ABSTRACT

Since the Industrial Revolution, the technology and the machines are always in constant progress, with the objective of increasing the productivity, reduce security risks and provide greater accuracy, quality and reduction in manufacturing costs. The CNCs milling machines are Routers very interesting options, especially for operations with wood, rubber, plastic and non-ferrous metals. These machines are composed of simple and mechanical structures with high technology.

This work consists in the design and manufacture of a milling machine CNC Router for academic purposes, with the use of standardized components and materials in the market, with judicious economic analysis and with the ultimate goal of low investment, however having as a result with quality equipment.

For the purpose of greater precision in a general way to the development of the equipment, prepare the entire machine structure design and develop the machining programs, INVENTOR® and ARTCAM® software were used.

To validate the functioning and efficiency of the milling machine CNC Router will be machined four materials: acrylic, cherry wood, MDF and aluminum. The mechanical structure of the machine is made in steel plate SAE 1020, aluminum plates and profiles by virtue of good mechanical strength, low weight and vibration absorption capacity.

The actions of the equipment are controlled by software MACH3®, run through a computer with USB interface card.

Keywords: Milling; Machining; CNC Router; INVENTOR®; ARTCAM®.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Variáveis do processo de Usinagem.....	24
Figura 2.2 - Representação esquemática dos movimentos e direções para o fresamento tangencial.....	25
Figura 2.3 - Exemplo de fresadora <i>CNC Router</i> de pequeno porte.	29
Figura 2.4 - Estrutura do MEF.....	30
Figura 2.5 - Ferramenta de análise de <i>stress</i>	32
Figura 2.6 - Ferramentas de construção.....	34
Figura 2.7 - Ferramentas de modelagem	34
Figura 2.8 - Extrusão a partir de uma determinada geometria	35
Figura 2.9 - Ferramenta <i>Revolve</i>	35
Figura 2.10 - Ferramenta <i>Hole</i>	36
Figura 2.11 - Ferramenta <i>Fillet</i>	36
Figura 2.12- Ferramenta <i>Chanfer</i>	37
Figura 2.13 - Ferramenta <i>Thread</i>	37
Figura 2.14 - Estrutura da fresadora.....	38
Figura 2.15 - Tela inicial do <i>ARTCAM®</i>	42
Figura 2.16 - Tela do modelo exibida.....	42
Figura 2.17 - Árvores do projeto	43
Figura 2.18 - Tela principal com as barras de ferramentas	43
Figura 2.19 - Simulação de Percurso	45
Figura 2.20 - Driver de acionamento.....	46
Figura 2.21 - Placa microcontroladora com <i>interface</i> paralela	47
Figura 2.22 - Placa micro controladora (<i>interface USB</i>).....	48
Figura 2.23 - Motor de passo NEMA 23	49
Figura 2.24 - Diagrama de um motor de passo de relutância variável.....	50
Figura 2.25 - Construção básica de um motor PM de disco fino.....	51
Figura 2.26 - Diagrama do motor de passo de ímã permanente.....	52
Figura 2.27 - Construção do motor híbrido.....	53
Figura 2.28 - Vista em corte de um motor híbrido	53
Figura 2.29 - Diagrama de conexão de fios.....	54
Figura 2.30 - Fuso Trapezoidal.....	56
Figura 2.31 - Detalhe do formato da rosca triangular	57

Figura 2.32 - Detalhe de contato em um fuso de esfera e em um fuso convencional	58
Figura 2.33 - Processo de laminação de fusos de esferas.....	58
Figura 2.34 - Processo de retifica de fusos de esferas	59
Figura 2.35 - Tipos de guias de deslizamento	60
Figura 2.36 - Exemplo de guia linear	61
Figura 2.37 - Exemplo de guia cilíndrica.....	62
Figura 2.38 - Guia linear de patins.....	63
Figura 2.39 - Acoplamentos	64
Figura 2.40 - Acoplamento rígido.....	65
Figura 2.41- Acoplamentos flexíveis.....	65
Figura 2.42 - Exemplo de chapas de MDF revestidas.....	70
Figura 2.43 - Especificações do MDF.....	71
Figura 3.1 - Fluxograma das etapas do projeto.....	74
Figura 4.1 - Parafuso cabeça cilíndrica com sextavado interno.....	80
Figura 4.2 - Perfil estrutura em alumínio 30 x 60.....	81
Figura 3.4.3 - Equações para cálculo de deformação da estrutura.....	83
Figura 4.4 - Análise de esforço realizada no <i>software INVENTOR®</i> da estrutura de base do eixo “Y” - deslocamento	84
Figura 4.5 - Análise de esforço realizada no <i>software INVENTOR®</i> da estrutura de base do eixo “Y” – tensão	84
Figura 4.6 - Análise de esforço realizada no <i>software INVENTOR®</i> da estrutura de base do eixo “X” – tensão	85
Figura 4.7 - Análise de esforço realizada no <i>software INVENTOR®</i> da estrutura de base do eixo “X” - deslocamento	85
Figura 4.8 - Guia linear cilíndrica suportada.....	87
Figura 4.9 - Motor de passo Nema23	88
Figura 4.10 - Esquema de ligação	90
Figura 4.11 - Gráfico de desempenho	90
Figura 4.12 - Desenho técnico 2D do motor de passo AK23/15F6FN1.8 – AKIYAMA	91
Figura 4.13 - Acoplamento flexível em alumínio e poliuretano.....	92
Figura 4.14 - Desenho e dimensões do acoplamento flexível.....	92
Figura 4.15 - Desenho de usinagem para padrões BK12, BF12, FK12 e FF12.	93

Figura 4.16 - Desenho da castanha SFU01605-4	94
Figura 4.17 - Mancais BK12 e BF12	95
Figura 4.18 - Placa de <i>interface</i> RNR R08	99
Figura 4.19 - Ligação entre placa de <i>interface</i> , <i>drivers</i> e fonte de alimentação.....	100
Figura 4.20 - Ligações entre placa de <i>interface</i> , sensores fim de curso, botão de emergência e <i>probe</i>	100
Figura 4.21 - <i>Driver</i> TB6600 4ª	101
Figura 4.22 - Painel de comando (parte interna)	103
Figura 4.23 - Fonte de alimentação 24V	104
Figura 4.24 - Painel de comando (parte externa)	105
Figura 4.25 - Caixa de comando (conexões).....	105
Figura 4.26 - Tela de seleção do dispositivo de controle	107
Figura 4.27 - Tela de <i>interface</i> principal do MACH3®.....	107
Figura 4.28 - Tela de ajuste de portas e seleção de eixos	108
Figura 4.29- Tela de configuração sinais de entrada e saída	108
Figura 4.30 -Tela de ajuste de origem e limites lógicos	109
Figura 4.31 - Tela de configuração de ajuste de motores	110
Figura 4.32 - Tela de <i>settings Alt6</i> para ajuste de precisão dos eixos	110
Figura 4.33 - Tela de <i>settings</i> com opção de seleção de eixo	111
Figura 4.34 - Tela de <i>settings</i> com opção de preenchimento de valor de deslocamento	111
Figura 4.35 - Estabelecendo o ponto zero.....	112
Figura 4.36 - Bloco de calibre em posição.....	112
Figura 4.37 - Tela principal do <i>software ARTCAM®</i> 2018.....	113
Figura 4.38 - Estrutura da fresadora CNC	114
Figura 4.39 - Vista frontal da estrutura	114
Figura 4.40 - Vista lateral da estrutura.....	115
Figura 4.41 - Vista superior da estrutura – <i>INVENTOR®</i>	115
Figura 4.42 - Montagem da estrutura de movimento em Y da fresadora.....	116
Figura 4.43 - Montagem da base da fresadora sobre a bancada sólida.....	117
Figura 4.44 - Montagem da estrutura de movimento Z sobre as guias e fusos da estrutura do eixo Y	118
Figura 4.45 - Montagem da tupa e motores de passo em seus respectivos eixos .	119
Figura 4.46 - Fresadora CNC <i>Router</i> montada e ajustada.....	119

Figura 4.47 - Painel elétrico da fresadora.....	120
Figura 5.1 - Esquema do modelo de usinagem dos corpos de prova elaborado no <i>ARTCAM®</i>	121
Figura 5.2 - Desenho corpo de prova	121
Figura 5.3 - Corpo de prova em acrílico.	122
Figura 5.4 - Usinagem do acrílico.	123
Figura 5.5 - Acrílico usinado.	124
Figura 5.6 - Corpo de prova em madeira cerejeira.....	125
Figura 5.7 - Usinagem da madeira cerejeira.....	126
Figura 5.8 - Madeira cerejeira usinada	126
Figura 5.9 - Corpo de prova em MDF	127
Figura 5.10 - Usinagem do MDF.....	128
Figura 5.11 - MDF usinado	128
Figura 5.12 - Corpo de prova em alumínio.	129
Figura 5.13 - Usinagem do alumínio.....	130
Figura 5.14 - Alumínio usinado	130

LISTA DE SIGLAS

CNC – Controle numérico de computadorizado.

CN – Controle numérico.

AUTOCAD®, *INVENTOR®* - Desenho auxiliado por computador.

CAE - Engenharia Assistida por Computador.

CAM - Fabricação Assistida por Computador.

UC – Unidade de controle.

CIM - Manufatura Integrada por Computador.

MEF - Método de elementos finitos.

DWG - Extensão de arquivos de desenho em 2D e 3D nativa do *software AUTOCAD®*.

Laser – Dispositivo capaz de produzir radiação eletromagnética monocromática.

Bitmaps – Imagens com descrição de *pixels*.

ARTCAM – Programa capaz de criar relevos em 3D.

LDM - linguagem de máquina.

USB – Porta de entrada universal para conexões de outro dispositivo sem o desligamento do aparelho.

SSP – Porta paralela padrão.

EPP – Porta paralela aprimorada.

ECP - Porta de capacidades estendidas.

BIOS - Sistema Básico de Entrada e Saída.

LTP1 - Linha Terminal de Impressão número 1.

LTP2 - Linha Terminal de Impressão número 2.

PM – Motor de passo.

ISO - Organização Internacional de Normalização.

DIN – Padrões técnicos para controle de qualidade.

UNIM – Norma para fabricação de fusos trapezoidais.

PPMA - Material polimetilmetacrilato.

Driver – componentes de *software* os quais interagem com o sistema operacional da máquina.

SAE - *Society of Automotive Engineers* – *EUA*.

G-code – Códigos de programação gerados através do programa *ARTCAM*.

Passo-Pulse – Pulso ou frequência de passos.

Status – Indicação do estado ou forma do componente.

Probe – Explorar.

V_c – Velocidade de corte.

V_e – Velocidade efetiva.

L_c – Passo de corte.

L_f – Passo de avanço.

L_e – Passo efetivo.

Tap – Derivação angular.

N_b – Número de bobinas.

N_d – Número de bobinas.

N_R – Número de polos contidos no rotor.

N_E – Número de polos contidos no estator.

RE = Resolução do eixo em milímetros.

PF = Passo do fuso é dado em milímetros.

RT = Relação da transmissão de potência.

QPM = Número de passos do motor para uma rotação exata do motor.

α_s – Deslocamento angular.

ρ – Número de dentes.

σ_1 – Esforço de flexão (N/mm^2).

f – Flexão (mm).

W – Módulo de resistência (mm^3).

F – Força (N).

T – Torque (N.m).

N – Eficiência do fuso (%).

P – Passo do fuso (mm).

I - Momento de inércia (mm^4).

K - Máximo esforço de flexão em (N/mm^2).

E - Módulo de elasticidade (N/mm^2).

L – Comprimento.

V – Tensão.

Ω – Corrente.

A – Amperagem

$K\Omega$ – Resistência.

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Propriedades do acrílico	67
Tabela 2.2 - Tamanhos e pesos de chapas acrílicas fundidas ou "cast"	68
Tabela 2.3 - Tamanhos e pesos de chapas acrílicas extrudadas	68
Tabela 2.4 - Propriedades físicas do alumínio.....	73
Tabela 4.1 - Propriedades mecânicas do aço carbono SAE 1020.....	78
Tabela 4.2 - Propriedades mecânicas do alumínio 7075-T651	79
Tabela 4.3 - Propriedades mecânicas conforme ISO 898-1.....	80
Tabela 4.4 - Especificações de guia linear cilíndrica suportada com base de alumínio e <i>pillow block</i>	87
Tabela 4.5 - Especificações do motor de passo AK23/15F6FN1.8 AKIYAMA.....	89
Tabela 4.6 - Especificações do motor de passo AK23/15F6FN1.8 AKIYAMA.....	89
Tabela 4.7 - Dimensões do mancal BF12.....	95
Tabela 4.8 - Dimensões do mancal BK12	96
Tabela 4.9 - Dimensões do mancal FF12.....	96
Tabela 4.10 - Dimensões do mancal FK12.....	97
Tabela 5.1 - Divergências entre as medidas nominais e usinadas do acrílico.....	123
Tabela 5.2 - Divergências entre as medidas nominais e usinadas da madeira	125
Tabela 5.3 - Divergências entre as medidas nominais e usinadas do MDF	127

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 - Desenho da chapa frontal	139
ANEXO 2 - Desenho da chapa traseira / chapa de movimento	139
ANEXO 3 - Chapa da coluna esquerda	141
ANEXO 4 - Chapa da coluna direita	142
ANEXO 5 - Chapa superior, motor, oposta e fresa.	143
ANEXO 6 - Estrutura de movimento do eixo X	144
ANEXO 7 - Estrutura de movimento dos eixos "X" e "Z"	145
ANEXO 8 - Montagem dos componentes elétricos da fresadora.	146
ANEXO 9 - Custos dos materiais e componentes utilizados na fresadora	147

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	19
1.1.	Justificativa	22
1.2.	Objetivo Geral	23
1.3.	Objetivos Específicos	23
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1.	Usinagem e Parâmetros de Corte	24
2.1.1.	Processo de fresamento	26
2.2.	Tecnologia CNC	28
2.3.	Sistema de Coordenadas Cartesianas.....	28
2.4.	CNC <i>Router</i>	29
2.5.	Sistema <i>CAD/CAM</i>	29
2.5.1.	Elementos finitos.....	30
2.5.2.	<i>Software INVENTOR®</i>	33
2.5.3.	<i>Software ARTCAM®</i>	41
2.6.	Linguagem de programação.....	46
2.7.	Drivers e suas ligações.....	46
2.8.	Placa de <i>Interface</i>	47
2.9.	Motor de passo	48
2.9.1.	Motor de relutância variável.....	50
2.9.2.	Motor de imã permanente.....	51
2.9.3.	Motor híbrido	52
2.9.4.	Acionamento dos motores	54
2.10.	Componentes Mecânicos.....	55
2.10.1.	Fusos.....	55
2.10.1.1.	Fuso de rosca trapezoidal.....	56

2.10.1.2. Fuso de roscas triangulares	57
2.10.1.3. Fuso de esfera	57
2.10.1.4. Fusos de esferas laminados	58
2.10.1.5. Fuso de esferas retificados	59
2.10.2. Guias	60
2.10.2.1. Guias lineares.....	61
2.10.2.2. Guias lineares cilíndricas	62
2.10.2.3. Guias lineares de patins.....	62
2.10.3. Acoplamentos	63
2.10.3.1. Acoplamento rígido	64
2.10.3.2. Acoplamento flexível	65
2.10.4. Elementos de fixação.....	66
2.11. Materiais a Serem Usinados	66
2.11.1. Acrílico	67
2.11.2. Madeira cerejeira	69
2.11.3. MDF.....	70
2.11.4. Alumínio	72
3. DEFINIÇÃO DAS ETAPAS DO PROJETO	74
4. METODOLOGIA	75
4.1. Projeto e Modelamento da Estrutura Mecânica	75
4.1.1. Chapas de aço, chapa de alumínio, parafusos de fixação e perfis de alumínio da estrutura	76
4.1.2. Chapa de aço carbono SAE 1020 de espessura 12,7mm (1/2")..	77
4.1.3. Chapa de alumínio de espessura 9,52mm(3/8")	78
4.1.4. Parafusos de fixação	79
4.1.5. Perfil estrutural em alumínio	81
4.1.6. Guias lineares cilíndricas com <i>pillow block</i>	86

4.2. Transmissão de Movimento e Potência Mecânica.....	88
4.2.1. Motor de passo NEMA.....	88
4.2.2. Acoplamento flexível.....	91
4.2.3. Fuso de esfera recirculante e castanha.....	93
4.2.4. Mancais de rolamento aplicados em fuso de esfera.....	94
4.3. Eletrônica (Placa de <i>Interface</i> e Driver de Acionamento).....	98
3.3.1. Placa de <i>interface</i>	98
3.3.2 <i>Driver</i> de acionamento.....	101
4.4. Projeto Elétrico (Painel de Comando e Fonte de Alimentação).....	102
4.4.1. Painel de comando.....	102
4.4.2. Fonte 24V – motores.....	103
4.4.1.2. Chave geral, chave acionadora, luz indicadora e conexões...	104
4.5. Informática (<i>Software</i> de Controle e <i>Software</i> de <i>CAD/CAM</i>).....	106
3.5.1 <i>Software</i> de controle <i>MACH3®</i> versão 3.043.066.....	106
3.5.2 <i>Software</i> de <i>CAD/CAM</i>	112
4.6. Dimensionamento e Montagem da Fresadora.....	113
5. RESULTADOS (COMISSIONAMENTO).....	121
5.1. Usinagem do Acrílico.....	122
5.2. Usinagem da Madeira Cerejeira.....	124
5.3. Usinagem do MDF.....	126
5.4. Usinagem do Alumínio.....	128
5.5. Resultados Gerais da Usinagem dos Materiais.....	131
6. CONCLUSÃO.....	132
7. PROPOSTAS DE MELHORIAS FUTURAS.....	132
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	134
9. ANEXOS.....	139

1. INTRODUÇÃO

Ao iniciar o século XIX ocorria na Inglaterra a primeira revolução industrial onde o homem viu a necessidade de converter matéria-prima em produtos vendíveis, utilizando mão de obra humana, máquinas e energia. As primeiras máquinas NC surgidas nos anos do século XX eram rudimentares e funcionavam por meios de cartões vazados, porém mesmo diante tamanha complexidade como o código G (língua das máquinas), este sistema enraizou somente após a introdução dessas máquinas por parte do exército americano, o qual adquiriu 120 modelos e as introduziu dentro das indústrias americanas através de alugueis para que as mesmas se acostumassem com a nova tecnologia.

Mesmo com o avanço operacionais das máquinas ferramentas, o homem precisava de máquinas cada vez mais capacitadas a realizar operações cada vez mais precisas e de difícil fabricação. Mas durante a década de 60 devido ao avanço e padronizações de métodos operacionais e tecnologias, surgiu o primeiro *software CAD* o qual substituiu drasticamente os projetos e desenhos elaborados em papel.

Diante tamanha eficiência apresentada pelo *software CAD*, o avanço deste sistema era inevitável, surgindo assim os computadores cada vez mais eficiente e evoluindo-os para mini, micro e computadores mais avançados ficando dispostos a aplicação nas pequenas, média e grandes empresas. Por volta da década de 70, era impreterível a mudança das máquinas ferramentas manuais por máquinas que adotavam a nova tecnologia CNC.

Por volta de 1952, foi criada uma das primeiras máquinas de corte manipulada por computadores as quais se *designavam* à usinagem de peças geometricamente complexas que seriam aplicadas em aviões e helicópteros. Esta fresadora na verdade, uma modificação e aperfeiçoamento de uma fresadora já concebida pela empresa americana conhecida como *Cincinnati* que tivera seus componentes mecânicos alterados através da implementação de um controlador eletrônico com capacidade de realizar movimentos direcionais em x e y.

Os computadores dessa fresadora eletrônica tinham na maioria das vezes a dimensão do próprio equipamento ou máquina, gerando um consumo de energia elétrica muito alto e falhavam constantemente, inclusive possuíam uma capacidade de cálculo restrita, se associada à tecnologia atual disponível no mercado, sem falar no peso e custo para a aquisição destes equipamentos. Diante tamanho imprevistos

e custos, apenas as indústrias, aeronáutica e a automobilística, possuíam ensejos financeiros para aquisição deste tipo de equipamento, contudo, devido a diminuição crescente dos custos e a elevação da memória de cálculo dos circuitos eletrônicos, a tecnologia CNC criou fama entre as indústrias de pequeno e médio porte se tornando impossível a existência de uma indústria do ramo mecânico e metalúrgico, sem a utilização de máquinas ferramenta CNC.

A utilização destes tipos de equipamento CNC trouxe uma gama de possibilidades ao setor fabril, possibilitando a obtenção e desenvolvimento de inúmeros projetos antes de difícil fabricação e demora, que trouxeram ao setor as seguintes melhoria (ou vantagens):

- Fabricação de peças que possuem complicadas geometrias, tolerâncias dimensionais limitadas e acabamento superficial de melhor qualidade;
- Maior repetição de comandos inerentes ao produto: apresentando a fabricação de peças idênticas umas das outras, sem dependência da ação humana;
- Diminuição do cansaço dos operadores, que passaram a ser responsáveis somente pelas tarefas de elaboração, programação e gerenciamento da produção das máquinas;
- Maleabilidade da produção, possibilitando a fabricação de pequenas encomendas de uma grande diversidade de peças, sem a necessidade de ajustes demorados no equipamento.

Porém, tanto benefício também trouxe um ônus às indústrias que tiveram de desembolsar um valor elevado para compra e implantação destes equipamentos, sem falar na capacitação e treinamento dos seus operadores para que os mesmos usufríssem de todo o acervo tecnológico dos equipamentos, inclusive na manutenção constante e periódica destes *software* e componentes mecânicos da máquina.

O funcionamento destas fresadoras se dá pela ação do comando numérico que lê, compreende e cumpre cada um dos códigos que constituem a programação pré-estabelecida para usinagem da peça. Para que haja um sincronismo entre os componentes, o CNC direciona um sinal elétrico até o motor que por sua vez está interligado ao eixo longitudinal da máquina. Após o sinal sair do controle numérico, o mesmo ativa o motor, porém, devido a este sinal elétrico ser muito fraco é necessário ampliá-lo. Esta ampliação é feita através de *drivers* que recebem um sinal do CNC e os direcionam ao motor. Feito isto o motor gira com velocidade e angulações

requeridas, tornando os comandos através de alavancas ou manoplas obsoletos e desnecessários ao equipamento.

Comparando as fresadoras tradicionais e todos as suas peças eletrônicas, as fresadoras CNC atuais apresentam melhoras mecânicas como os fusos, que eram trapezoidais, evoluíram para um perfil semicircular e se dispõem com esferas para redução do atrito e aumento da precisão da máquina.

Os barramentos foram alterados para guias lineares de rolamentos e a estrutura da máquina também foi reforçada, permitindo maiores escalas de retiradas de cavacos, fazendo com que as fresadoras CNC se adequassem a produção de um número elevado de peças de pequeno e médio porte as quais possuem o mesmo dimensional sem falar nos conjuntos seriados de fabricação e, às vezes, um conjunto único.

Com o avanço da tecnologia computacional, equipamentos obsoletos como tornos, fresas dentre outras máquinas ferramentas, sentiram a necessidade de se modernizar surgindo assim a era CNC, se tornando máquinas ferramentas lógicas e previamente programáveis.

Diante tamanha inovação, grandes instituições educacionais em mecânica e automação, implementaram em seus cursos administrados, a prática ou primeira vivência operacional desses programas aos alunos, os quais se dirigiam ao mercado somente com a bagagem teórica, tornando-os profissionais ou futuros profissionais mais bem preparados, podendo competir a vagas cada vez melhores expostas no mercado. É muito importante lembrar que com os avanços tecnológicos das ferramentas *AUTO-CAD*, *INVENTOR®*, *CAE & CAM*, é primordial a apresentação destes programas a base da formação destes profissionais, mostrando os mesmos como ferramentas base para programação e execução operacional destes equipamentos, dando assim maior chance de sobrevivência a estes novos profissionais às novas possibilidades do mercado de trabalho.

Tais programas, permitem uma melhor percepção da construção das peças as quais serão fabricadas e destinadas a construção mecânica da máquina uma vez que as mesmas possuem dimensões variadas, possibilitando e facilitando os cálculos de esforços de tensões, torções e contrações submetidas a cada componente da fresadora durante sua operação.

Tendo em vista a grande dificuldade das instituições em adquirir uma máquina deste porte, se torna claro a necessidade de investir na criação de uma máquina

ferramenta CNC de baixo custo que porventura viesse atender às necessidades ou lacunas criadas por tais cursos administrado pelas mesmas. Mas não para por aí, este tipo de equipamento, promoveu sua utilização em inúmeras áreas, fora do contexto educacional, gerando emprego e uma vasta aplicação nos setores de microempresas, as quais podem utilizar estes equipamentos de pequeno porte para a fabricação de pequenas encomendas sendo peças a serem aplicadas em locais nos quais necessitam de pouca precisão, placas decorativas dentre outras.

Empresas de grande e médio porte têm buscado, cada vez mais, a terceirização dos serviços os quais são necessários à fabricação de uma demanda grande de peças de baixa precisão, as quais demandam tempo e perda de produção, forçando o micro / pequeno empreendedor buscar meios alternativos como a implantação de máquinas ferramentas de baixo custo: as máquinas CNC de médio e pequeno porte.

1.1. Justificativa

Hoje em dia, o desenvolvimento e a obtenção de máquinas e ferramentas que são capazes de produzir uma peça ou várias com precisão e com boa produtividade, são muito buscadas no mercado externo por indústrias de pequeno e médio porte, essencialmente nas indústrias moveleiras e por profissionais autônomos que desejam obter uma renda extra ou até mesmo como *hobby*.

As fresadoras CNCs *Routers* são opções muito interessantes, principalmente para operações com madeiras, borracha, plásticos e metais não ferrosos. Essas máquinas são compostas por uma estrutura mecânica simples, munidas de alta tecnologia voltadas para o controle dos eixos de movimentação, com movimentos automatizados, sendo necessário a utilização de *softwares* específicos, que podem ser facilmente adquiridos, os quais são responsáveis pelo desenho da peça e pela programação de fabricação da mesma. Estes criam um arquivo que é interpretado para retirar os comandos para conduzir o equipamento por meio de um controlador.

Este trabalho, refere-se à construção de uma fresadora CNC *Router* de baixo custo para fins acadêmicos, com base nas informações de *hardware* e inúmeros projetos já construídos e dispostos na internet, com materiais que foram obtidos com um baixo custo, de forma que após sua construção, poderão realizar operações de

fresamento e impressão gráfica de peças em materiais de baixa resistência mecânica com bastante precisão e eficiência.

1.2. Objetivo Geral

Desenvolver e prototipar uma fresadora CNC de baixo custo para a usinagem de peças com materiais de baixa resistência mecânica e de pequeno porte.

1.3. Objetivos Específicos

Para este trabalho temos como objetivos específicos:

- Desenvolver um equipamento que utilize componentes e materiais que seguem os padrões do mercado, de modo a garantir o baixo custo do protótipo sem afetar a qualidade.
- Abordar a metodologia de cálculo para representar os esforços suportados pelos componentes da máquina durante o funcionamento utilizando o *software INVENTOR®*.
- Demonstrar através de testes práticos de usinagem a eficiência do equipamento.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentados todos os temas base para o desenvolvimento do projeto. A pesquisa foi realizada tendo como embasamento livros, trabalhos, dissertações, teses e artigos relacionados com o assunto deste trabalho.

2.1. Usinagem e Parâmetros de Corte

Todo o processo de fabricação que resulta em remoção de material para se obter a forma desejada corresponde a usinagem. Os principais processos de usinagem são torneamento, fresamento e furação. Diferentes formatos de peças são fabricados a partir destes processos. De acordo com o modelo de produto realizado, a aplicação varia e em alguns casos, a usinagem é o principal método de fabricação. As operações de usinagem podem ser caracterizadas também como processo auxiliar para processos de estampagem, extrusão, fundição, entre outros. (Souza; Ulbrich, 2013). A figura 2.1 mostra todas as variantes de processo de usinagem que influenciam no resultado final da operação (Souza, 2016).

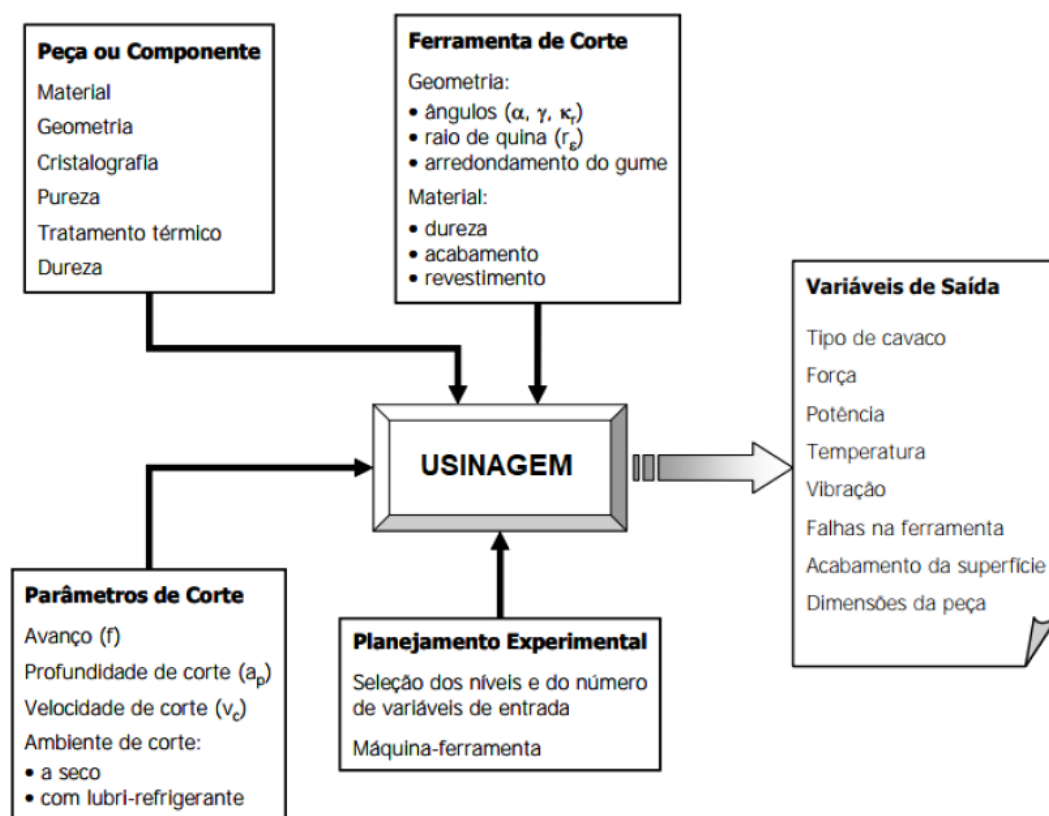


Figura 2.1 - Variáveis do processo de Usinagem
Fonte: Souza (2016)

Os cálculos dos parâmetros de corte são importantes para o projeto, pois serão fundamentais para o dimensionamento da estrutura da fresadora e consistência do projeto.

A remoção do cavaco entre a superfície usinada e a ferramenta é definida como:

- Movimento de corte: é o deslocamento entre a peça e a ferramenta, o qual devido à ausência do movimento de avanço sobre a superfície a ser usinada, caracteriza a retirada de cavaco em apenas um sentido, ou seja, a peça é quem se move sob a ferramenta de corte.

- Movimento de Avanço: é o deslocamento entre peça e ferramenta o qual juntamente com o movimento de corte caracteriza a remoção contínua do cavaco.

- Movimento Efetivo: é a soma ou resultado dos deslocamentos de corte e de avanço ao mesmo tempo.

A remoção do cavaco é também consequência das direções associadas a estes movimentos como:

- Direção de Corte: direção imediata do movimento de corte.
- Direção de Avanço: direção imediata do movimento de avanço.
- Direção Efetiva: direção imediata do movimento efetivo de corte.

A figura 2.2 mostra claramente os movimentos e direções em uma operação de fresamento tangencial discordante.

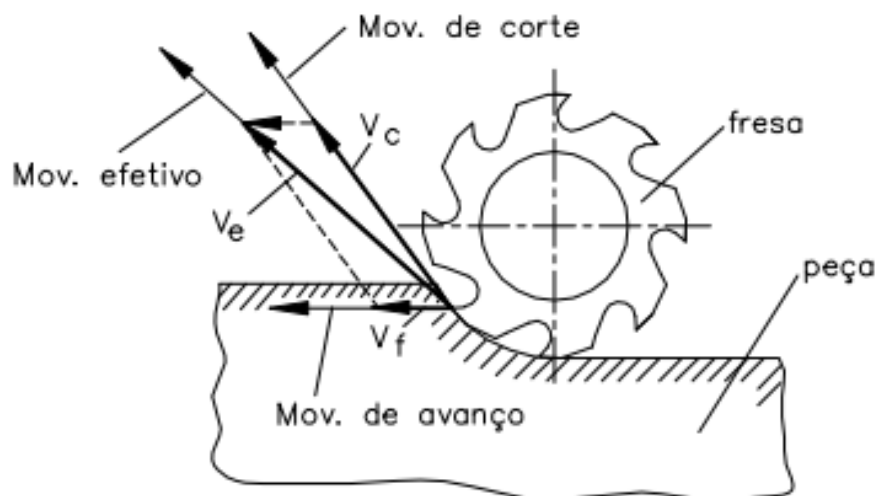


Figura 2.2 - Representação esquemática dos movimentos e direções para o fresamento tangencial

Fonte: Machado et al., 2009.

Segundo Diniz et al., (2003) os movimentos de usinagem, deslocamento da ferramenta sobre a peça, é definido como:

- Percurso de Corte L_c : dimensão o qual a aresta de corte percorre sobre a superfície a ser usinada segundo a direção de corte.
- Percurso de Avanço L_f : dimensão percorrido pela ferramenta de corte (fresa) sobre a superfície a ser usinada segundo a direção de avanço.
- Percurso Efetivo L_e : dimensão percorrido pela aresta cortante sobre a superfície a ser usinada segundo a direção efetiva de corte.

2.1.1. Processo de fresamento

O processo de fresamento pode ser definido como a usinagem mecânica que utiliza uma ferramenta composta por um elemento cortante montado simetricamente em volta de um eixo giratório que ao entrar em contato com a área a ser usinada, remove material (cavaco) devido ao movimento relativo do eixo girante (fresa) com a movimentação de avanço da peça desejada. A usinagem por fresamento possui características de corte interrupto devido ao fato dos elementos de corte se encontrarem posicionados simetricamente em torno de um eixo, e durante a sua revolução, cada elemento cortante possui um tempo ativo e outro inativo de corte sobre a superfície de remoção do material.

Ferraresi (1973), afirma que as fresadoras, (máquinas operatrizes que realizam o fresamento) se correspondem em máquinas horizontais, máquinas verticais ou simplesmente máquinas universais.

Stoeterau (2004), classifica as operações de fresamento em três tipos básicos conforme o movimento da ferramenta: fresamento em três dimensões, fresamento de topo e fresamento frontal. Nesse processo, a peça fica presa na mesa e a ferramenta gira. A peça é responsável pelos avanços longitudinais e transversais. Em algumas situações enquanto a ferramenta de corte realiza os movimentos em sua totalidade, a peça pode ficar estática. (Machado et al., 2015).

Segundo Ferraresi, (1973), o trabalho de fresamento é identificado por várias formas, porém é mais comum, classificarmos o mesmo tendo como referência a posição do eixo principal de acionamento da máquina. Diante disso, a operação de fresamento pode ser definida como:

- Fresamento horizontal, realizado em máquinas-operatrizes (fresadora horizontal) que apresentam o eixo-árvore posicionado na horizontal.

- Fresamento vertical, neste caso o eixo-árvore localiza-se verticalmente posicionado à mesa da fresadora, conhecido como fresadora vertical.

O fresamento também é classificado conforme o posicionamento dos dentes ativos da fresa (ferramenta de corte) e são conhecidos como:

- Fresamento tangencial ou periférico, na superfície da ferramenta, em relação da superfície a qual está sendo usinada, o eixo da fresa é coincidente ou mais conhecido como paralelo. As fresas são denominadas de cilíndricas ou tangenciais.

- Fresamento frontal: na superfície frontal da ferramenta estão localizados os dentes ativos da fresa, em relação à superfície usinada, o eixo da fresa é perpendicular. As fresas são chamadas de topo ou frontais.

Como a posição da fresa está perpendicular à superfície a ser usinada, em relação ao fresamento tangencial, o frontal apresenta as seguintes vantagens (Metals Handbook, 1989):

- Maior solidez do sistema máquina/ferramenta, já que no eixo de rotação da ferramenta não existe possibilidade de flexão;

- Possibilita usinar áreas grandes com menor esforço no eixo de rotação;

- Tempo menor de troca da ferramenta;

- Se a fresa for sólida o custo de retificação das arestas de corte é menor e no caso de insertos o custo é zero;

- Melhor acabamento da superfície;

- Quando há remoção de grandes quantidades de material há melhor desempenho;

- Alcança tolerâncias mais apertadas.

Quanto às limitações em relação ao fresamento tangencial tem-se:

- A largura do corte aumenta em relação ao diâmetro da fresa;

- Exige a utilização de máquinas mais robustas e de maior rigidez do sistema máquina/ferramenta/peça.

Há ainda o fresamento de topo que em geral é diferenciado do fresamento tangencial ou frontal mais pelo tipo da aplicação do que pela definição. Ele normalmente é preferido quando no perfilamento, abertura de canais, cavidades ou

reentrâncias. São bastante empregados na produção de moldes para matrizes (Trent, 1991).

Dentre os processos de usinagem mencionados, adotaremos para este trabalho o operações de fresamento para faceamento e usinagem de canais.

2.2. Tecnologia CNC

O acionamento de equipamentos feito por coordenadas numéricas é representado pelo comando numérico (CN). O mesmo acionamento é representado pelo Controle Numérico Computadorizado (CNC) que é comandado por um computador. (Souza; Ulbrich, 2013).

O equipamento eletrônico (CNC) é quem recebe informações no padrão em que a máquina irá realizar a operação, por meio de linguagem própria, denominado programa CNC, interpreta essas informações e as envia ao sistema de controle através de pulsos elétricos. (PEREIRA, 2003).

Para realizar os comandos é necessário o *hardware* para ler e interpretar as orientações e converte-las em ações mecânicas da máquina. É composto por duas unidades, uma que é responsável por receber o programa CNC, interpretar e enviar informações para acionar os motores, a unidade de processamento de dados (UPD) e a outra que representa o sistema de monitoramento e comunicação da máquina, fornecendo o respostas para o sistema, com informações requisitadas pela máquina, possibilitando que ela possa trabalhar dentro de suas especificações com precisão, que é a unidade de controle (UC). (SOUZA; ULBRICH, 2013).

2.3. Sistema de Coordenadas Cartesianas

Pereira (2003), define as fresadoras como máquinas *designadas* a usinar peças com a ferramenta de corte (fresa), movimentando-a ao longo de pelo menos três eixos cartesianos (X, Y e Z), removendo o excesso de material para no final dar forma a uma peça.

Os movimentos de máquinas fresadoras são realizados com parâmetros em um sistema com coordenadas cartesianas e o posicionamento da ferramenta é calculado em relação a um ponto de referência fixo, denominado ponto zero, esse ponto zero pode ser estipulado na peça ou na máquina. (SMID, 2008).

2.4. CNC Router

CNC *Router* é uma máquina operada através de um computador, que tem como principais aplicações trabalhos com plásticos, madeiras, borrachas, entre outros. (JARAGUÁ CNC, 2019). *Routers* CNC possuem pórticos móveis, que é o deslocamento da ferramenta de corte sobre a mesa de trabalho, ou seja, o conjunto de movimentação dos três eixos é suspenso e desliza ao longo da mesa de trabalho. No caso das fresadoras CNC, enquanto a mesa promove os deslocamentos, a ferramenta de corte se mantém parada. (Souza; Ulbrich, 2013).

O movimento dos eixos de uma CNC *Router*, é realizado pelo sistema de controle que faz a *interface* do operador com a máquina que pode visualizar em que posição a máquina se encontra, se está nos padrões corretos, esta máquina é chamada de *software de interface* ou *software* CNC. (EICH, 2014). Na figura 2.3 podemos observar uma fresadora CNC *Router* de pequeno porte.



Figura 2.3 - Exemplo de fresadora CNC *Router* de pequeno porte.
Fonte: www.lagunatools.com. Acesso em 16/04/19.

2.5. Sistema CAD/CAM

O uso de computador para auxiliar a programação CNC tem sido implementado há vários anos, sistemas CAD/CAM tem um importante papel na programação CNC por adicionar um aspecto visual. O objetivo total deste sistema é muito maior que apenas o desenho e programação, é a parte de tecnologia moderna conhecida como Manufatura Integrada por Computador (CIM). (PEREIRA, 2003).

2.5.1. Elementos finitos

Prazeres em 2005 relata a técnica ou prática de elementos finitos sendo uma maneira numérica de obter-se soluções o mais próximo possível dos valores reais resultantes em torno do componente definido de posse das equações diferenciais, esta ferramenta consiste em dividir toda a área da peça predefinida em pequenas partes se tornando o que conhecemos como elementos finitos (MEF). Este ponto de vista numérico de elementos finitos vagamente conhecida é de suma importância nas definições e análises de diversas estruturas as quais possuem dimensões cada vez mais complexas onde os modelos matemáticos utilizados em dimensões padrões já não são eficazes pois seria necessário o despendimento de muitas horas de cálculos e revisões gerando uma margem erro muito grande.

Cavalcante-Neto em 1998 dá uma outra definição do MEF, onde afirma que o mesmo se trata do grau de aperfeiçoamento da malha da estrutura a ser avaliada, “pois o fato das funções de aproximação dos campos estarem dentro dos elementos relativamente simples, se faz necessário aumentar o grau de sofisticação em regiões que possuem altos gradientes do campo de solução”.

Segundo Alves Filho (2005), a figura 2.4 mostra de forma clara e objetiva os passos a serem seguidos para solucionar os problemas relacionados à análises estruturais de peça ou componente mecânico a ser fabricado, originando a aplicação do método de elementos finitos.

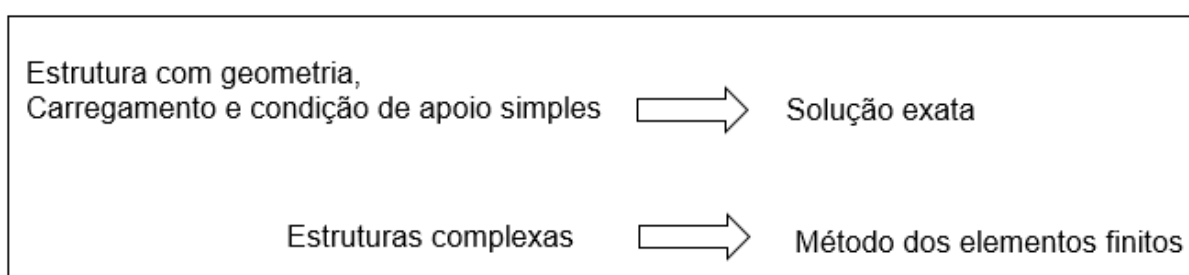


Figura 2.4 - Estrutura do MEF
Fonte: Alves Filho, 2005.

Com a evolução industrial nas últimas décadas, a utilização e modelagem de peças através de elementos finitos se tornou crucial na criação de projetos voltados para área de engenharia. Mas não se engane, o engenheiro deve assegurar-se que a peça estrutural não estará submissa a falhas durante as condições de operação. Esta garantia se dá com base na aplicação de materiais previamente determinados levando

em considerações a resistência dos materiais os quais tem como a referência de estudos da mecânica geral e a estática existente em cada elemento, ou seja, para se progredir com um cálculo estrutural não basta um grande conhecimento de equações matemáticas extremamente confusos, o engenheiro deve ter um grande entendimento das forças físicas atuantes sobre a estrutura quando a mesma estiver atuando.

Reddy (2006), afirma que o MEF é um método geral e muito poderoso em aplicações que envolvem problemas complexos do ponto de vista físico, e que o mesmo possui três características que atribuem a grande força deste método em comparação aos demais métodos, como:

1. Divisão de um domínio de geometria complexa em subdomínios mais simples;
2. Para cada elemento, as equações algébricas que definem os parâmetros de interesse são preparadas a partir das equações que regem o problema;
3. Os elementos, localmente e isoladamente analisados, são alocados em sua posição global dentro do domínio e assim obtêm-se a solução geral do problema.

A observação do comportamento dinâmico é um prosseguimento imprescindível para elaboração de um projeto de engenharia mecânica, diante isto, o molde numérico possui um lugar fundamental, exigindo cada vez mais um aperfeiçoamento contínuo dos recursos de modelagem geométrico e cálculos. Atualmente existem vários programas ou *softwares* como *INVENTOR®* e *CAD* por exemplo que utilizam esta ferramenta de modelagem por elementos finitos, pois os mesmos têm evoluído extraordinariamente possibilitando modelagens cada vez mais exigentes, aumentando a confiabilidade dos resultados obtidos. Ver figura 2.5.

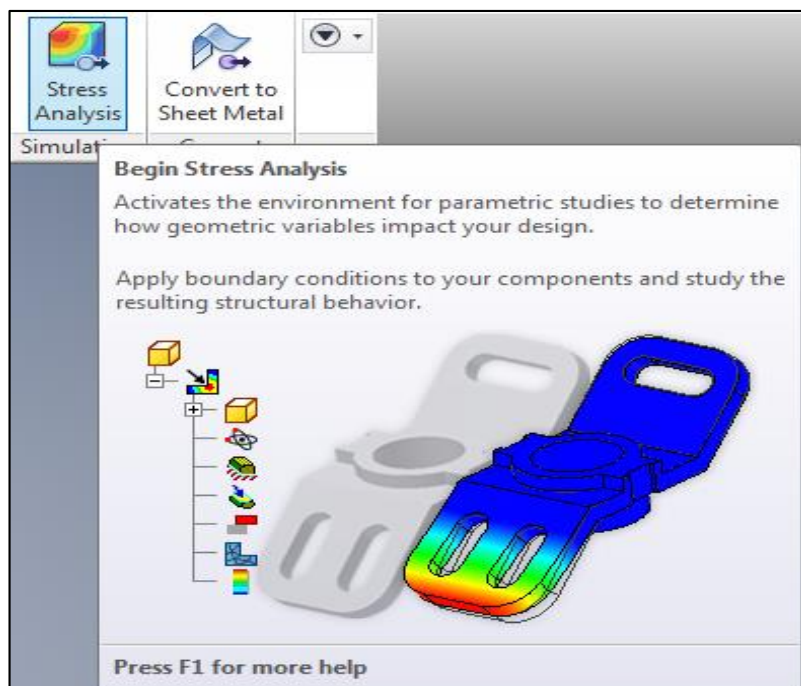


Figura 2.5 - Ferramenta de análise de stress
Fonte: INVENTOR® 2019.

Uma aparência importante está na criação automática de malhas criadas com base nos protótipos anteriormente elaborados no *software* de CAD, inclusive as fases de soluções numéricas através do processamento computacional.

A utilização numérica possibilitou um grande avanço em casos complexos, porém, entretanto, não se pode confiar 100% nos resultados observados de maneira que se possa eliminar totalmente uma verificação prática. A grande maioria de empresas vem submetendo os moldes a esforços dinâmicos expressivos no intuito de desenvolver procedimentos que possibilitam a ministração dos recursos de elementos finitos os quais são retificadas após ensaios em estruturas sólidas reais mesmo com as limitações existente em todo modo prático.

Estes experimentos são conhecidos como (*finite element updating* em inglês que se refere a estar sempre atualizando). Este ensaio depende da utilização de protótipos que necessitam de sensores os quais analisam os resultados gerados após a introdução das forças atuantes na estrutura do molde ou protótipo, que geram não só uma demora nas análises devido à necessidade deste instrumento, mas frustrando sua utilização em diversas ocasiões do projeto. Sendo assim, para este caso, se faz necessário a realização de uma análise a qual possibilite a recomendação de melhorias na estrutura as quais retifiquem o erro de forma a diminuir os gastos gerados pela introdução de tais melhorias.

Meireles (2007) diz que a dinâmica atuante acrescenta à análise a variação de tempo e o seu resultado referente a resposta da estrutura leva em conta o efeito das ações de inércia atuante. Através das análises dinâmicas e simulações pode-se determinar se a estrutura analisada respondera as suas condições operacionais considerando sua resposta quando submetida ao carregamento dinâmico.

Somente após realizado tal teste de esforço é que se pode determinar qual o procedimento ou critério estrutural que mais influenciara a resposta dinâmica atuante na estrutura podendo assim ser modificada e melhorada sem alterar sua funcionalidade do equipamento. No entanto, pode-se incrementar condições não lineares ao projeto e após uma verificação do comportamento estrutural, fazer as devidas melhorias buscando o melhor desempenho e aumento operacional.

Segundo Meireles (2007), quando se pretende optar por modelos dinâmicos confiáveis, se faz necessário melhorar as inúmeras técnicas de modelamento, inclusive as técnicas de identificação das propriedades dinâmicas existente na estrutura, o modo de análise, a caracterização do comportamento das diversas ligações, como os tipos de juntas, e pôr fim a diminuição da intervenção dos mecanismos de medição, etc.

Contudo, conforme dito anteriormente, para que haja uma boa avaliação dos resultados gerados é necessária uma grande experiência e conhecimento profissional por parte do engenheiro, pois lembramos que os recursos computacionais de elementos finitos, não passam apenas de ferramentas os quais nos auxiliam diante a necessidade de tomada de decisões na construção e aplicação real do projeto.

2.5.2. Software *INVENTOR*®

O *software* usado para promover as análises de tensionamento e fadiga no estudo é o *INVENTOR*®, *software* este produzido pela *Autodesk*®. O *INVENTOR*® segundo seu fabricante *Autodesk*®, é um programa computacional utilizado para projetos mecânicos em terceira dimensão, através dele se consegue transformar as informações que estão em segunda dimensão disponíveis para terceira dimensão. Ele fornece ferramentas de elevado grau para se modelar peças em geral, possuindo em sua bagagem ferramentas de apresentação das formas geométricas, sendo capaz ele de promover uma modelagem híbrida de forma a combinar sólidos e superfícies, possíveis através da tecnologia DWG *trueConnect*.

Segundo Cruz (2009), essa tecnologia permite integrar os projetos em segunda dimensão com os de terceira dimensão por intermédio de leitura e escrita compatíveis a DWG, promovendo uma junção ao modelo expresso em terceira dimensão não necessitando de promover conversões. O *INVENTOR*® tem vastas ferramentas de modelamento de alto nível operacional, ferramentas de descrição de formas geométricas diferenciadas, através da tecnologia *Unified Shape*, conforme mostrado nas figuras 2.6 e 2.7.

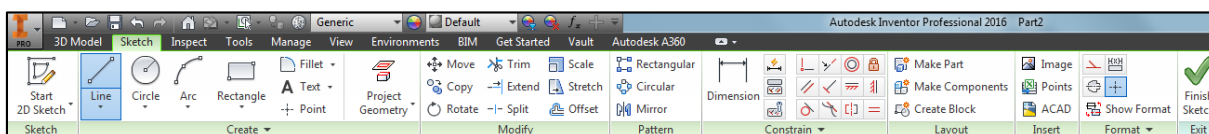


Figura 2.6 - Ferramentas de construção
Fonte: *INVENTOR*® 2019.

Algumas ferramentas básicas do *INVENTOR*® como:

- *Liner*: Permite a construção de linhas;
- *Circule*: Permite a construção de geometrias circulares;
- *Arc*: Construção de arcos a partir de pontos referenciados;
- *Retangle*: Construção de superfícies retangulares;

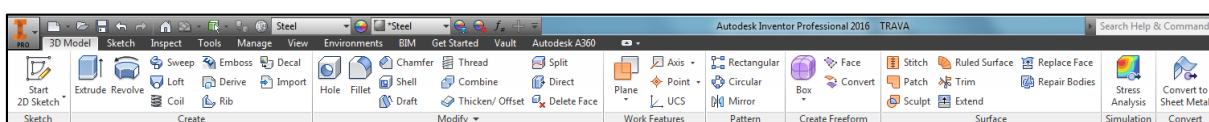


Figura 2.7 - Ferramentas de modelagem
Fonte: *INVENTOR*® 2019.

Para conhecimento, segue algumas ferramentas básicas de delineamento como:

- *Extrude*: permite criar a superfície sólida com base na geometria esboçada.

Na figura 2.8 temos a ilustração da ferramenta.

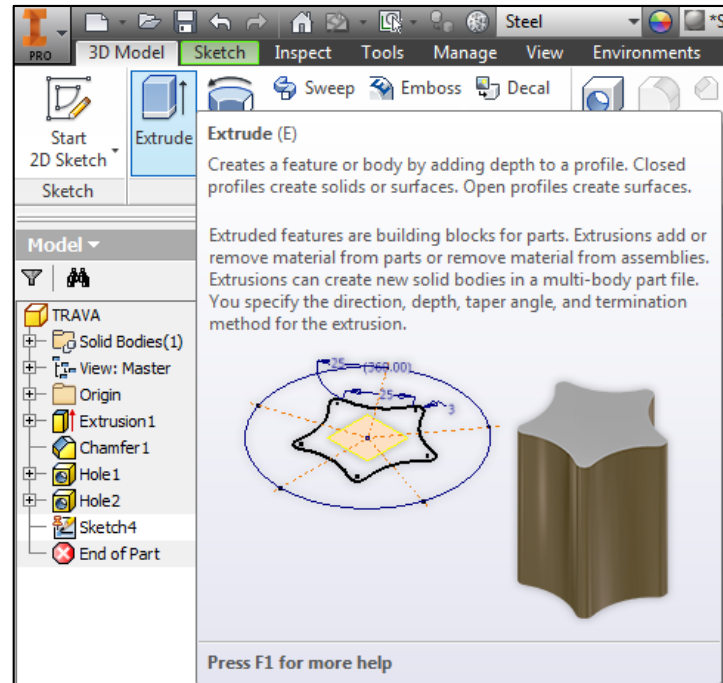


Figura 2.8 - Extrusão a partir de uma determinada geometria
Fonte: INVENTOR® 2019.

- *Revolve*: cria uma revolução completa com base em uma superfície plana anteriormente esboçada tendo como referência o centro da peça criada. A figura 2.9 mostra a tela desta ferramenta.

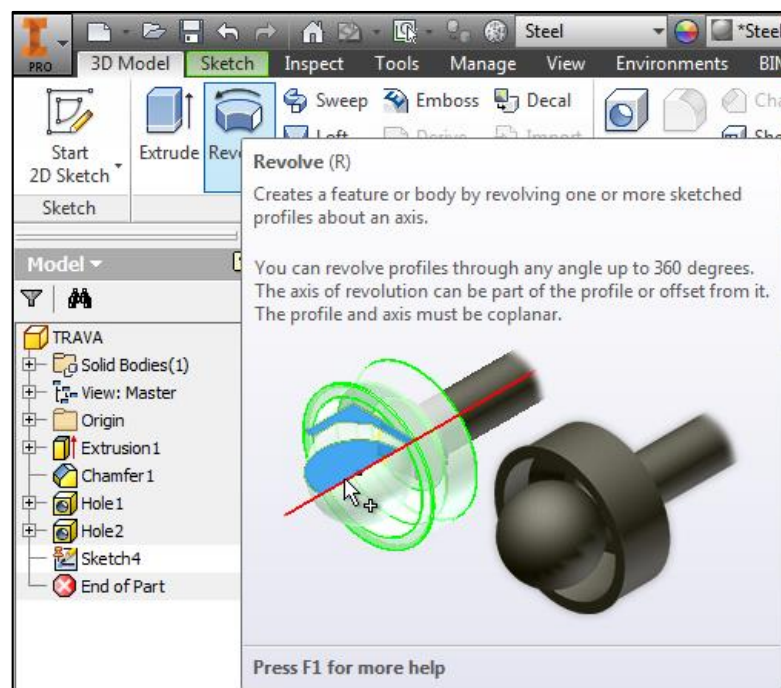


Figura 2.9 - Ferramenta Revolve
Fonte: INVENTOR® 2019.

- Hole: permite a obtenção de furos com dimensões precisas sobre o esboço ou sólido (Ver figura 2.10).

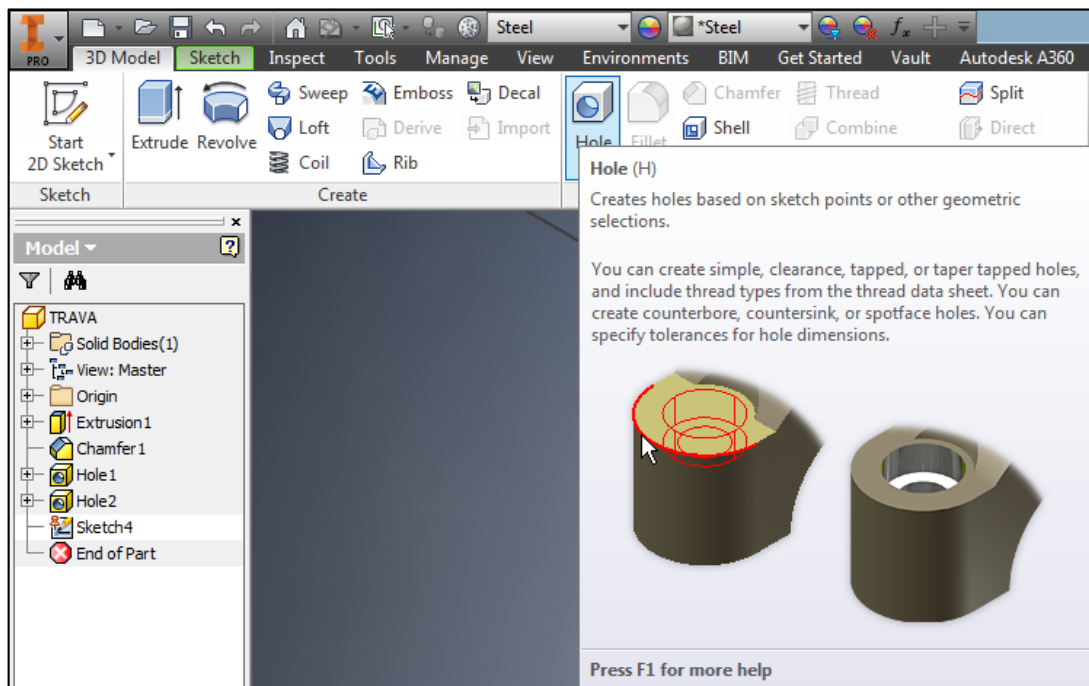


Figura 2.10 - Ferramenta Hole
Fonte: INVENTOR® 2019.

- Fillet: permite criar raios de adoçamento em superfícies sujeitas a tensões de cisalhamento, inclusive eliminar arestas que possam extremidades pontiagudas. (Ver figura 2.11).

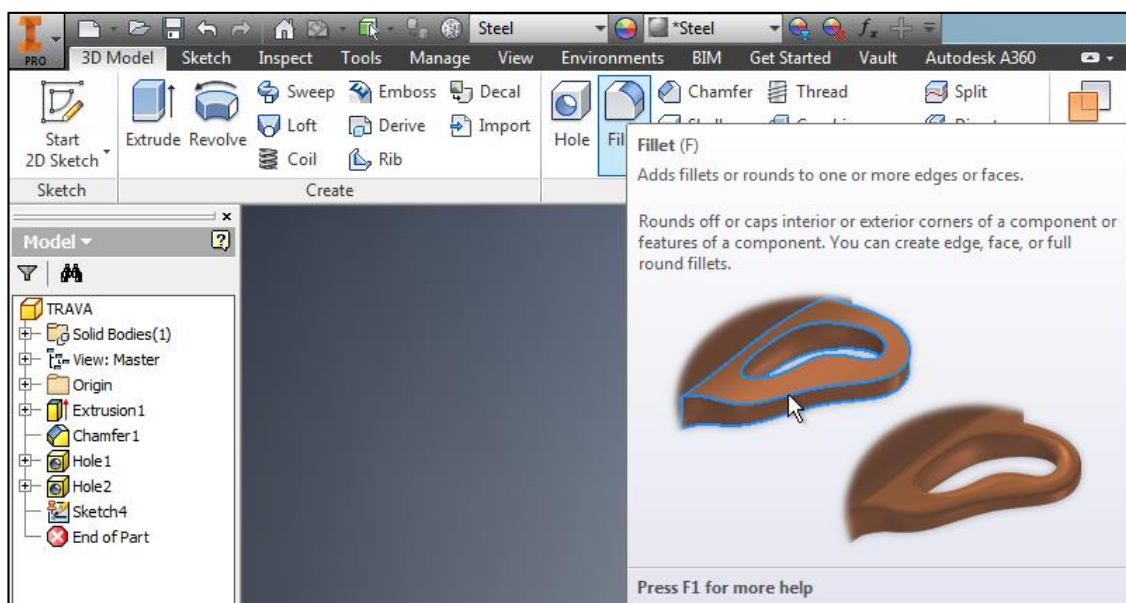


Figura 2.11 - Ferramenta Fillet
Fonte: INVENTOR® 2019.

- *Chanfer*: permite a eliminação de arestas pontiagudas, facilitando a montagem de elementos mecânicos como rolamentos, anéis dentre outros que permitam a montagem interna, mostrado na figura 2.12.

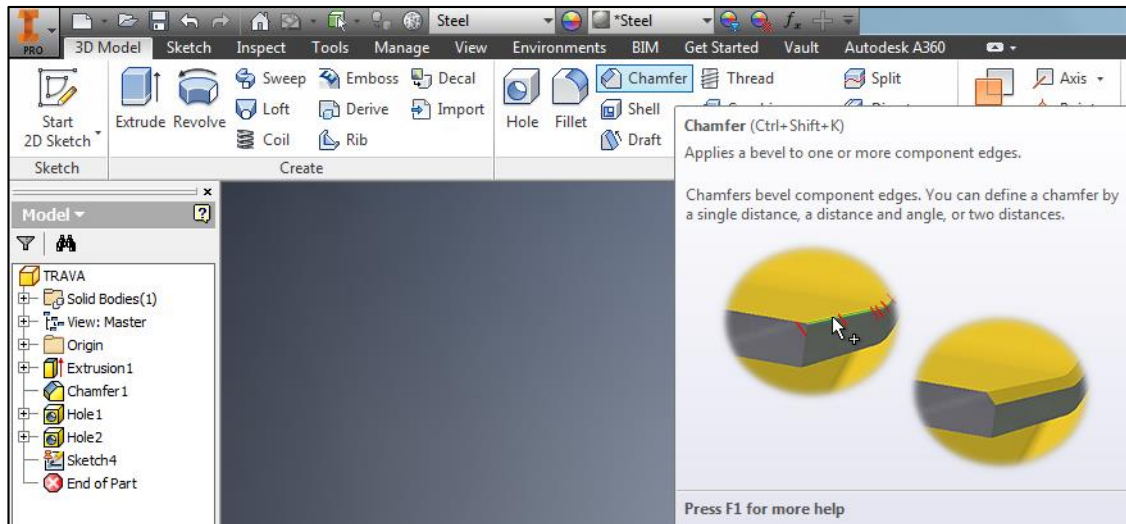


Figura 2.12- Ferramenta *Chanfer*
Fonte: *INVENTOR*® 2019.

- *Thread*: permite a construção de superfícies roscadas com base nas normas existentes. Ver figura 2.13.

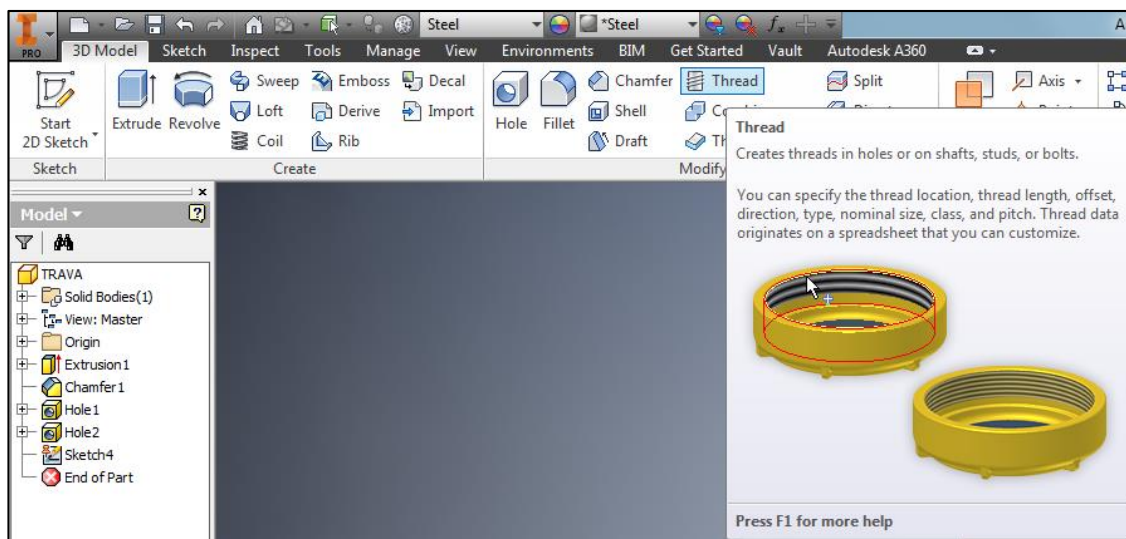


Figura 2.13 - Ferramenta *Thread*
Fonte: *INVENTOR*® 2019.

A figura 2.14 demonstra a montagem de várias peças criadas a partir das ferramentas mencionadas anteriormente, evidenciando a eficiência em transformar sólidos em projetos concretizados e funcionais.

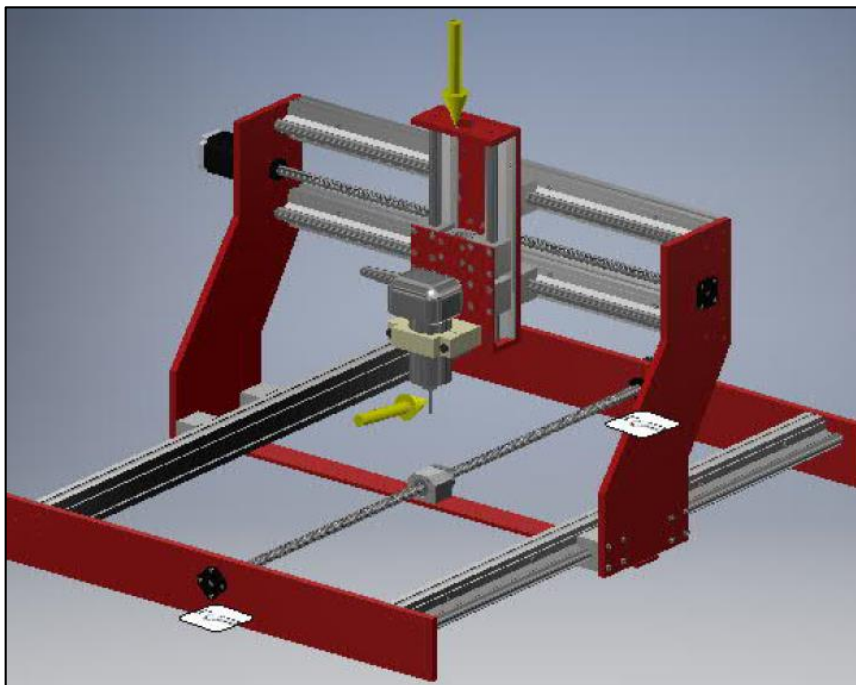


Figura 2.14 - Estrutura da fresadora
Fonte: Elaborados pelos autores.

Estas ferramentas possibilitam a transformação rápida de projetos feitos em sólidos para superfícies e após terminado o projeto superficial, o mesmo pode ser alterado para um sólido e manter assim sua modelagem.

a) Projetos de moldes: segundo a própria *Autodesk®*, através de suas atribuições é possível se gerar e dar validade a projetos de moldes completos de maneira mais rápida, as ferramentas presentes possibilitam uma minimização de erros e melhora o desempenho dos moldes, chegando a isso com apoio do guia de etapas de projetos de moldes que tem a função de auxiliar analistas, projetistas e engenheiros sejam eles experientes ou não.

b) Geração de Vistas Automáticas: formas de expressão gráfica, tais como, vistas frontais, laterais, superiores, isométricas, bem como, detalhes, cortes podem ser feitos de maneira automática, minimizando com isso o gasto de tempo em projeto por desenhos em segunda dimensão.

c) Cálculos mecânicos: o *INVENTOR®* é provido de uma gama de cálculos de engenharia, desenvolvidos através de fundamentações matemáticas, métodos numéricos como elementos finitos os quais também são abordados neste trabalho e teorias provenientes da física. Cálculos como os de engrenagens, rolamentos, vigas, árvores de transmissão, molas ajustes, tolerâncias, dentre outros, são encontrados nesse *software*.

d) Gerador de estruturas: o *INVENTOR®* promove a execução de estruturas metálicas soldadas de maneira automática, tornando muito mais ágil o desenvolvimento do projeto. As ferramentas efetuam o acomodamento dos perfis metálicos definidos ou editados e tornam mais simples a forma das periferias, bem como a preparação das juntas as quais serão soldadas, dão rapidez a elaboração do projeto.

Tratando de chapas, o *INVENTOR®* é dotado de ferramentas especialmente feitas para esse tipo de elemento, tornando mais simples a geração de elementos dobrados, conseguindo uma geometria plana de maneira automática, possuindo esse sistema formas de injetar alívios de dobras tomando em conta a espessura da peça. Peças de chapas metálicas de alto grau de complexidade podem ter sua produtividade aumentada através da prototipagem digital, através da junção de informações de fabricação promovido pelo *software*, parâmetros de punções e de tabela de dobragens customizadas e um modelo em terceira dimensão preciso da dobra da chapa e através de edições para se alcançar a melhor planificação o usuário pode minimizar os gastos de produção. Seguem os recursos usados para projetos em chapas metálicas:

- Estilos de chapas metálicas
- Flanges
- Elementos conformados através de rolos
- Geometrias transicionais
- Biblioteca de estampos
- Fixadores
- Alterações de planos ou esboços elaborados anteriormente
- Desenhos de construção para chapas metálicas

e) Interoperabilidade com softwares compatíveis: o *INVENTOR®* possui a grande vantagem de ser interoperável com *softwares* compatíveis, tais como o *INVENTOR® Fusion* e o *AUTOCAD® DWG trueConnect*, atribuindo formas de manuseio direto, modelagem direta e combina os fluxos de trabalho direto e paramétricos em um único molde digital elaborado no *INVENTOR®*. Através dessa interoperabilidade, é gerado um novo padrão para modelagens em terceira dimensão de simples uso.

Segundo Americo (2007), a interoperabilidade entre *INVENTOR®* e *AUTOCAD® DWG trueConnect*, possibilita a associação de projetos em segunda dimensão e terceira dimensão, os desenhos salvos compatíveis com o formato DWGT garantem visualizações, impressões e medições são cem por cento fieis em relação a sua visualização. A abertura de desenhos em DWG torna mais rápida a visualização de desenhos do *AUTOCAD®* no *INVENTOR®* e as principais características do *software INVENTOR® Fusion*:

- Ele é dotado de *interfaces* gráficas de fácil entendimento.
- É possível se promover ágeis mudanças no projeto de maneira ilimitada, independente da disposição das características, dependências ou do sistema *CAD* original.
- Fácil modelamento.
- Trabalhabilidade direta e parametrizada de modelamento.

f) Bibliotecas: o *software* é dotado de uma biblioteca de elementos mecânicos normatizados e padronizados, ferramentas de pesquisa e filtros de pesquisa. Soma-se mais de 1 milhão de elementos em sua biblioteca dando a possibilidade a quem faz uso desse *software* da inclusão dos elementos desenvolvidos por esse usuário.

g) Projetos de conjuntos combinados: projetos de conjuntos combinados grandes e de alta complexidade podem ser desenvolvidos de maneira mais eficiente com os aceleradores de projetos (*Design Accelerator*) combinados com ferramentas de modelagem, garantindo que as peças e 97 componentes de um conjunto se acoplem adequadamente, validando de maneira precisa as interferências e as propriedades referentes a massa para gerar produtos de elevada confiabilidade, excluindo a o uso de modelos físicos de teste nos projetos agregando redução nos

custos de produção. Os recursos oferecidos na elaboração de conjuntos combinados são:

- Ferramentas de *snap* de conjuntos, análise de interferência e detecção de contato.
- Configuração de conjuntos, bem como, performance de grandes conjuntos
- Gerador de estrutura metálica.
- Mais de um milhão de itens mecânicos os quais seguem as normas e padrões vigentes dispostos em sua biblioteca.

2.5.3. Software **ARTCAM®**

Segundo Fitpatrick. (2013), hoje, na indústria, quase todos os programas de produção são gerados utilizando um programa *CAM*. É uma questão de melhor aproveitamento de seu tempo e também de permanecer junto com a concorrência. A programação *CAM* não só transforma horas de cálculo e escrita em códigos em minutos, como também programa formas de peças que não seriam possíveis de outra maneira.

Segundo a *Autodesk®*, o *ARTCAM®* é uma solução única para o *design* e produção na indústria de trabalhos em madeira. Sua *interface* simples e ferramentas de fácil utilização permitem que entusiastas e *designers* independentes criem trabalhos decorativos em madeira de alta qualidade. É um pacote *CADCAM* multifuncional para o *design* de produtos artísticos, e manufatura através de máquinas ferramenta CNC ou máquinas de gravação a laser.

Você pode criar *designs* 2D importando imagens, ou criando imagens utilizando vetores e *bitmaps*. Você também pode criar *designs* 3D importando relevos, ou criando elevações com base nos vetores e *bitmaps*.

Quando você tiver concluído a criação do *design* 2D ou 3D, pode escolher um percurso de usinagem para manufaturar um produto. Depois que o *ARTCAM®* tiver calculado e criado o percurso, você pode simular o percurso antes de salvar e exportar os dados para a máquina. O *ARTCAM®* também permite criar malhas de triângulo a partir de relevos e exportar esses *designs* para impressão 3D, para manufatura de produtos sem a obrigação de se criar qualquer percurso. Na figura 2.15 temos a tela inicial do programa *ARTCAM®*.

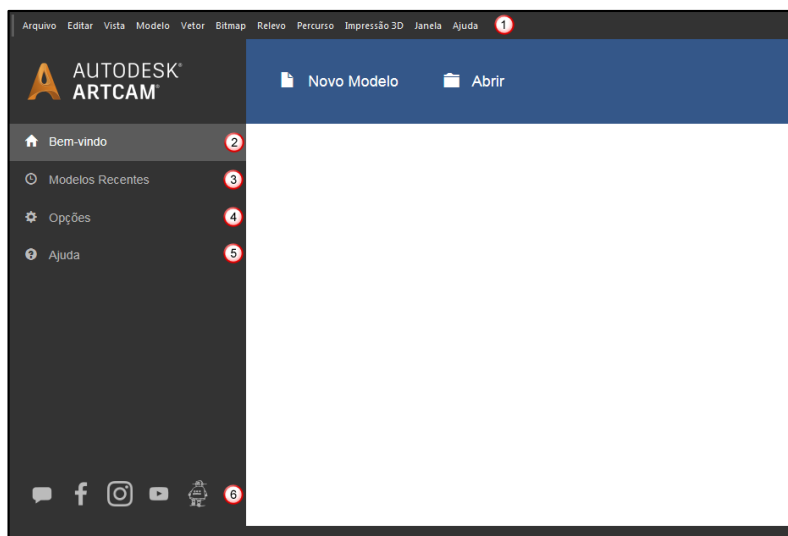


Figura 2.15 - Tela inicial do ARTCAM®
Fonte: Autodesk® (2019).

Para o fabrico de um produto, é necessário criar uma amostra, e todo o trabalho é feito dentro do *software*. De acordo com o fabricante do *software*, a amostra introduz os vetores, *bitmaps*, relevos e percursos que poderão ser utilizados. Ao criar uma amostra é preciso se atentar para algumas condições, como por exemplo: a especificação as dimensões úteis de trabalho do material, onde o *layout* do produto será criado, a resolução a ser usada no trabalho, a origem da amostra e também as unidades desejadas que serão trabalhadas conforme mostra a figura 2.16.

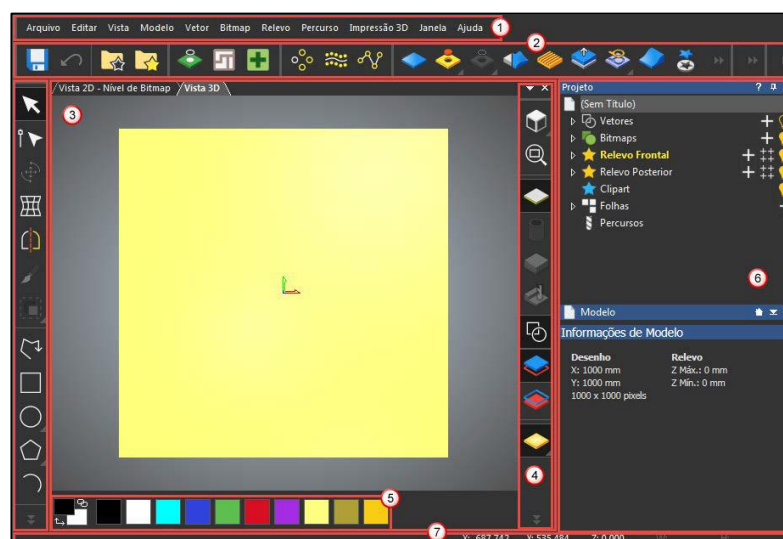


Figura 2.16 - Tela do modelo exibida
Autor: Autodesk® (2019).

Para gerenciar os vetores, *bitmaps*, relevos, percursos e simulações de percurso do modelo, e para controlar a exibição nas vistas 2D e 3D utiliza-se a Árvore de Projeto que está localizada no painel Projeto e está ilustrada na figura 2.17.

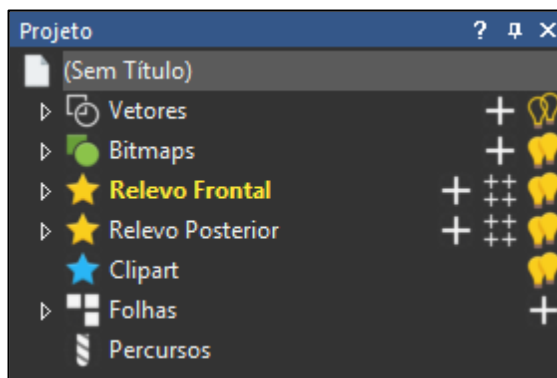


Figura 2.17 - Árvores do projeto
Fonte: Autodesk® (2019).

A tela principal inclui quatro áreas de ancoragem nas quais a barra de menu e quaisquer barras de ferramentas disponíveis podem ser ancoradas. As áreas são indicadas em vermelho na figura 2.18:

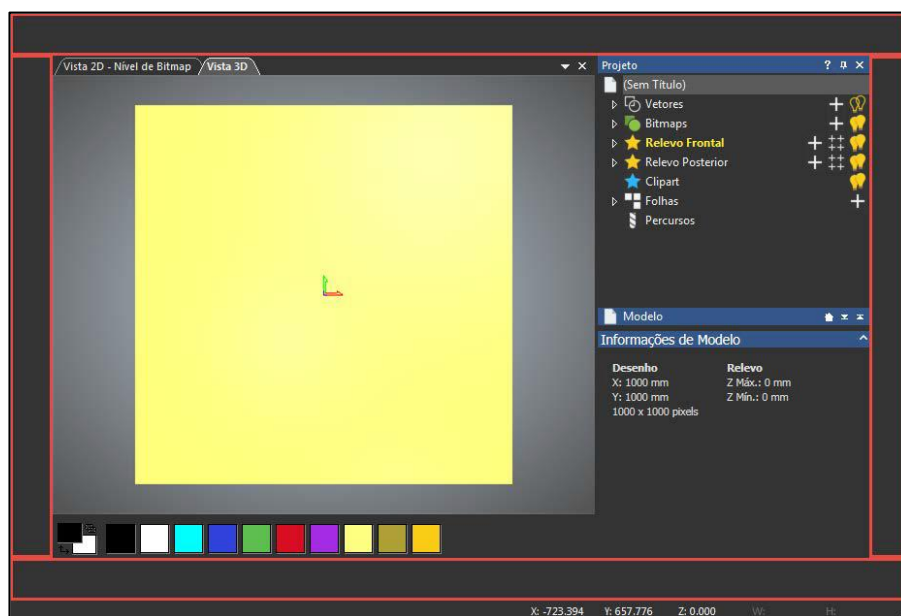


Figura 2.18 - Tela principal com as barras de ferramentas
Fonte: Autodesk® (2019).

Segundo a Autodesk®, os vetores são um tipo de imagem, elas são compostas por linhas que se baseiam em nós e são ligados através de blocos. Para

a criação de formas 2D é imprescindível a utilização de vetores, a partir delas são criados os percursos de usinagem 2D.

As formas geométricas padronizadas estão livres para uso no *software*, para produzir os arcos, os círculos, as elipses, os polígonos, os retângulos, os quadrados e também as estrelas, é possível também produzir vetores de textos. Uma possibilidade interessante é a compatibilidade para a importação de vetores de outras extensões (.ai, .eps, .pdf, .dxf, .dwg, .pic e .dgn).

Segundo a *Autodesk*®, os percursos são direções que em seu comprimento uma determinada ferramenta é movida durante o fabrico de um determinado produto. Diferentes percursos estão disponíveis no *software*, de acordo com a aplicação desejada, levando em consideração o trabalho que será usinado e as suas respectivas condições. Tendo em vista um melhor aproveitamento, o *software* possui percursos pré-definidos para usinagem como por exemplo: de perfil, de canelura, de entalhe e de furação.

Para estabelecer percursos de usinagem 3D, o *software* disponibiliza de relevos que são nada mais que as formas 3D. Há algumas possibilidades para a utilização desses percursos, a primeira delas é o acervo digital ou biblioteca do item *clipart* de relevo que está integrada com o *software*, ou até mesmo estabelecer relevos a partir de vetores e *bitmaps* usando as ferramentas de edição de forma.

É possível contar com muitos percursos de usinagem 2D que inclusive estão disponíveis no *software* para usinar formas 2D a partir de vetores já estabelecidos, ou até mesmo utilizar percursos de usinagem 3D para usinar formas 3D estas a partir de relevos, com a possibilidade também de realizar simulações.

Partindo do princípio que os percursos estão corretos, é altamente recomendável salvá-los e posteriormente exportar os dados para a máquina ferramenta para fabricar o produto.

Ao estabelecer um percurso de usinagem, é preciso especificar alguns itens tais como:

- A espessura da folha definida ou bloco de material que o produto será fabricado;
- O tamanho do percurso;
- As ferramentas desejáveis para usinar o produto, incluindo também as configurações da ferramenta definida, como as distâncias de passo lateral e vertical, as taxas de avanço e de mergulho, as velocidades de rotação e de folga.

É possível ter acesso a inúmeras funções necessárias para trabalhar com percursos usando as ferramentas do painel, denominada “Percursos”.

Os percursos de usinagem 2D são utilizados quando há a necessidade de usinar geometrias 2D, o *software* atribui vários tipos já integrado de percursos 2D para usinagem de desbaste e acabamento. No percurso de desbaste é para a remoção de grandes quantidades de material e também o percurso de acabamento, como o entalhe ou a canelura, com o propósito de suavizar superfícies.

Os percursos de usinagem 3D são utilizados quando há a necessidade de usinar formas 3D, o *software* inclui vários tipos já integrados de percursos 3D. Como os percursos de usinagem de relevo, percursos de usinagem de figura podendo usinar figuras elevadas e em intervalos e também para caminhos de usinagem a laser para retirada de material e resíduo.

Ao criar os percursos para usinar o produto, é possível simular os percursos para visualizar os passos de usinagem e o acabamento de superfície resultante, conforme a figura 2.19 é possível verificar algumas características.

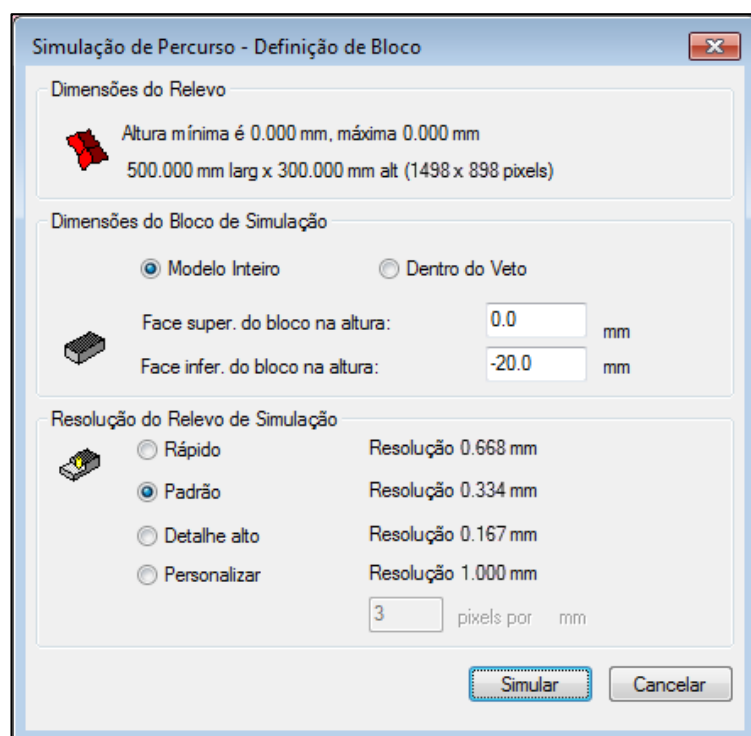


Figura 2.19 - Simulação de Percurso
Fonte: Autodesk® (2019).

2.6. Linguagem de programação

Segundo Fitpatrick (2013), quando o controlador lê os comandos de seu programa, invisivelmente, sem que você saiba, ele traduz cada palavra em conjunto ainda mais básico, chamado de linguagem de máquina (LDM). A LDM atua no nível ligado/desligado para processar e enviar sinais para iniciar o funcionamento da unidade e finalizar funções da máquina. Embora a LDM seja uma linguagem de trabalho universal dentro de todas as máquinas, escrever os programas nela seria muito lento e confuso para o uso diário.

Para acelerar e simplificar a tarefa, linguagens amigáveis foram inventadas. Semelhante às linguagens de programação de computador, cada rotina. A LDM reconhece e quebra cada código em sinais legíveis para a máquina.

2.7. Drivers e suas ligações

O comando enviado aos motores de passo é através *drivers*, fornecidos particularmente aos motores individualmente, tendo a obrigação de processar as funções da placa microcontroladora e exercer os comandos de sentido de giro de rotação do motor, proteção contra sobrecargas e modo de acionamento dos motores. Na figura 2.20 temos um exemplo de *driver* de acionamento.



Figura 2.20 - Driver de acionamento
 Fonte: <http://br.melinterest.com>. Acesso em 29/04/19.

2.8. Placa de Interface

A placa microcontroladora tem a função de realizar a comunicação entre a *interface* gráfica junto aos *drivers* de acionamento e sensores, transformando e repassando informações entre *hardware* e *software*.

A *interface* da placa microcontroladora pode ser paralela ou *USB*, são as opções disponíveis no mercado, onde cada tipo de *interface* possui as suas respectivas características.

A placa com *interface* paralela de acordo com a figura 22 possui três tipos de modo de operação, o SSP (*Standard ParallelPort*), o EPP (*Enhanced Parallel*) e o ECP (*Extended Capabilities Port*). O melhor modo de operação para esse tipo de aplicação é o ECP, apesar da taxa de transferência máxima ser igual ao do modo EPP, o modo ECP tem maior vantagem em não sobrecarregar o processador, através de algumas técnicas, como a compactação de dados automática, onde é possível de reduzir em até 64 vezes a dimensão do dado.

A seleção do modo de operação é realizada na BIOS (*Basic Input and Output System*), que é o programa instalado pelo fabricante da placa.

No sistema operacional do computador ele nomeia cada porta paralela designando como LPT1, LPT2 conforme a quantidade de placas físicas instaladas no computador. Na figura 2.21 temos uma placa microcontroladora com *interface* paralela.

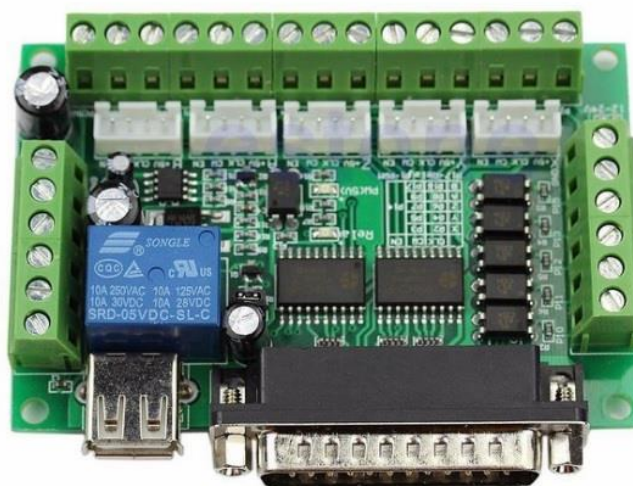


Figura 2.21 - Placa microcontroladora com *interface* paralela
Fonte: www.eletrogate.com. Acesso em 12/05/19.

Já a placa com *interface USB (Universal Serial Bus)*, conforme a figura 2.22, é uma tecnologia mais nova, que torna mais fácil a conexão de aparelhos, dispositivos e periféricos, sem a necessidade de reiniciar o computador.

A tecnologia *USB* possui três versões, a *USB 1.0*, *USB 2.0* e *USB 3.0* que conforme a evolução trouxe melhores taxas de velocidade, com isso há uma melhor performance durante o processo de comunicação.

Em linhas gerais a grande compatibilidade de equipamentos com a *interface USB*, além da praticidade de instalação, são fatores positivos que possui um grande peso no momento da escolha.

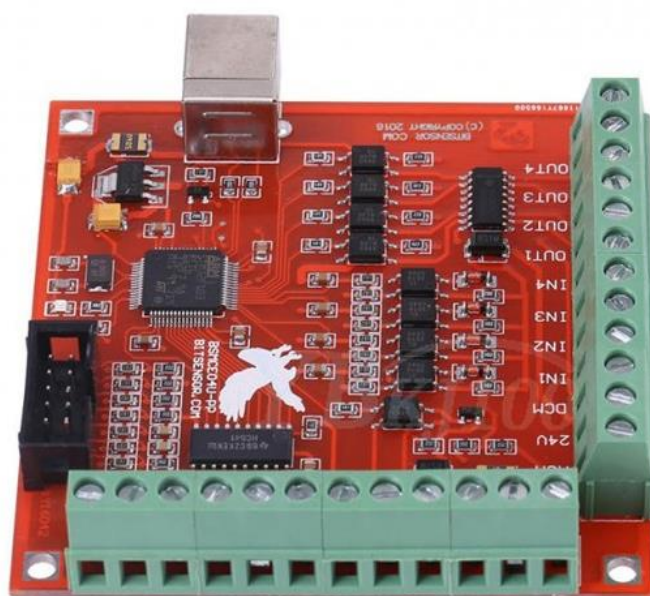


Figura 2.22 - Placa micro controladora (*interface USB*)
Fonte: www.baudaeletronica.com.br. Acesso em 29/04/19.

2.9. Motor de passo

Motor de passo é equipamento eletromagnético que se assemelha a um motor elétrico convencional, porém seu funcionamento se dá devido seu movimento através de passos sincronizados. Na figura 2.23 é possível observar um exemplo de motor de passo.



Figura 2.23 - Motor de passo NEMA 23
FONTE: www.wotiom.com. Acesso em 29/04/19.

Pazos (2002) define o motor de passo como sendo um motor que possibilita o movimento do rotor em impulsos angulares discretos, controlados através de uma sequência de impulsos elétricos direcionados à bobina do estator, porém este tipo de motor não utiliza sistema de comutação (coletor de escovas) se o compararmos com outros motores como os de corrente contínua.

Este tipo de equipamento possui uma precisão em sua velocidade angular, admitindo um erro de apenas 5% e o mesmo se ajusta perfeitamente em equipamentos de controle digital. Estes motores chegam a altos níveis de aceleração, vencendo a inércia até a velocidade final rapidamente, ocorrendo o mesmo na sua frenagem e mudanças de rotações.

São aplicados em malha aberta devido ao controlador saber exatamente a posição do eixo em função de uma referência, sendo necessário apenas mencionar a quantidade dos pulsos requeridos para que o eixo gire a uma determinada quantidade de passos.

Cristo (2009) relata sobre a grande aplicabilidade deste tipo de motor em malha aberta devido a possibilidade de se realizar uma configuração prévia dos aspectos dos equipamentos para que se garanta o movimento necessário a este tipo de motor.

Sendo assim, baseado em suas características o mesmo se aplica em vários equipamentos que funcionam com auxílio de sistemas de informática como indústrias de máquinas automatizadas, impressoras, *drives* dentre outros.

Ao desenvolver qualquer equipamento que dependa de um motor de passo para seu funcionamento, deve-se conhecer todos os tipos de motores de passos e suas funcionalidades para somente então se escolher o que melhor atenda as exigências de performance da máquina a ser instalado. Atualmente, existem três tipos de construção para estes tipos de motores sendo, motor de relutância, híbrido e de imã permanente.

Condit e Jones, (2004) definem que as únicas diferenças entre estes tipos de motores estão na sua construção e nos materiais utilizados para as partes moveis e no seu arranjo quanto suas partes estáticas como as bobinas estatoras.

2.9.1. Motor de relutância variável

Os motores de relutância variável possuem seu rotor fabricado em aço doce de baixa relutância dispondo de vários dentes e seu estator possui de 3 a 5 bobinas conectadas a um *center tap* ou terminal comum. A relutância é a oposição ao trajeto percorrido pelo fluxo magnético sobre os materiais, porém para que haja uma melhor condução do fluxo magnético, utilizasse materiais não ferrosos.

Segundo Condit e Jones, (2004) a figura 2,24 mostra esquematicamente um motor de 30 graus a cada passo, utilizando três bobinas no estator.

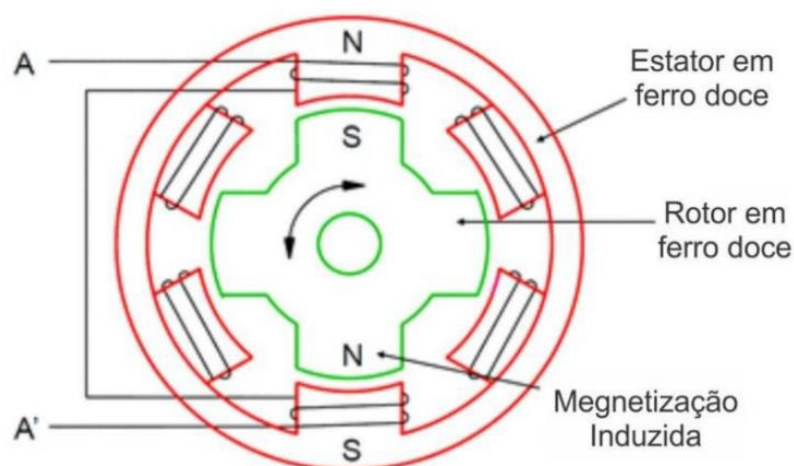


Figura 2.24 - Diagrama de um motor de passo de relutância variável
Fonte: Traduzido de GRIMBLEBY, 2008.

Assim que a bobina A é energizada, a mesma atrai os dentes do rotor devido o fluxo ou sentido magnético gerado através da bobina e o rotor. Para se calcular o deslocamento angular α_s , devemos considerar o número de dentes do rotor N_D e o número de bobinas do estator N_B em função da sua rotação, conforme mostrado na equação 2.1.

$$\alpha_s = \frac{360}{N_D N_B}$$

Equação 2.1 - Deslocamento Angular

Para se aumentar a eficiência de sua relutância, basta aumentar o número de dentes no rotor e na bobina.

2.9.2. Motor de imã permanente

São motores cujo eixo é liso e sem dentes e possuem em torno do mesmo (eixo), ímãs permanentes formando os polos magnéticos que estão anexados ao próprio rotor e suas bobinas anexadas ao estator que é confeccionado em aço com teor de carbono abaixo de 0,2%, ou seja, aço doce. A figura 2.25 mostra a construção esquemática deste tipo de motor.

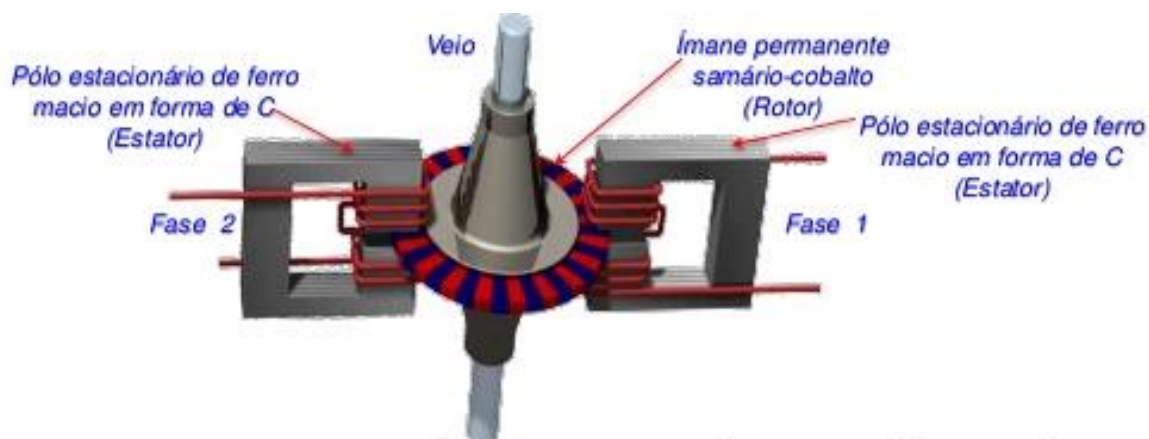


Figura 2.25 - Construção básica de um motor PM de disco fino
 Fonte: www.slidesharecdn.com. Acesso em 30/04/19.

Devido ao grande acúmulo de campo magnético gerado nas bobinas, este tipo de motor possibilita um maior torque inicial e um grande aumento em potência se tornando uma grande vantagem se comparado a construção dos motores de relutância variável. Porém, este tipo de motor possui menor precisão devido o ângulo

de passes (resolução) do mesmo ser relativamente maior se comparado aos outros modelos.

A figura 2.26 mostra o corte de um motor de ímã permanente de duas bobinas com derivação (*tap*) no centro e seis polos contidos no rotor devido aos ímãs permanentes, porém, estes tipos de motor podem ter de 4 a 6 fios conectados levando em consideração o seu acionamento.

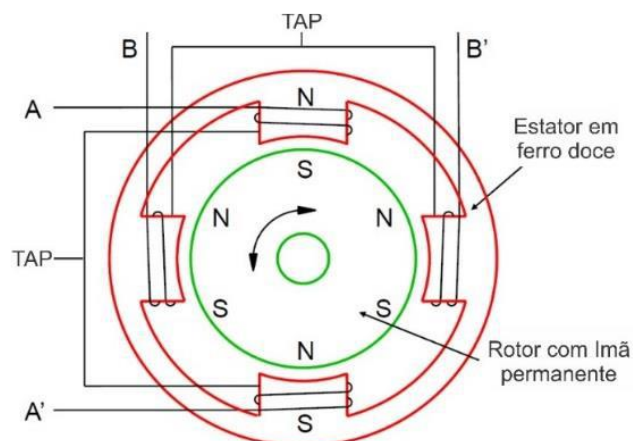


Figura 2.26 - Diagrama do motor de passo de ímã permanente
Fonte Traduzido de GRIMBLEBY, 2008.

Segundo Grimbleby (2008), a variação angular de cada passo α_s pode ser obtida através da equação 2.2 mostrada abaixo a qual leva em consideração o número de polos contidos no rotor N_R e no estator N_E .

$$\alpha_s = \frac{360}{N_R N_E}$$

Equação 2.2 - Deslocamento angular

2.9.3. Motor híbrido

Os motores híbridos são os mais utilizados, pois são uma mistura dos e motores de relutância variável e o de ímãs permanentes e devido a esta mistura, o mesmo fornece um maior desempenho e precisão em seus movimentos, atingindo um deslocamento angular entre passes menores comparados aos outros dois tipos de motores. Os motores híbridos, utilizam uma série de ímãs permanentes e dois discos dentados, conforme está na figura 2.27.

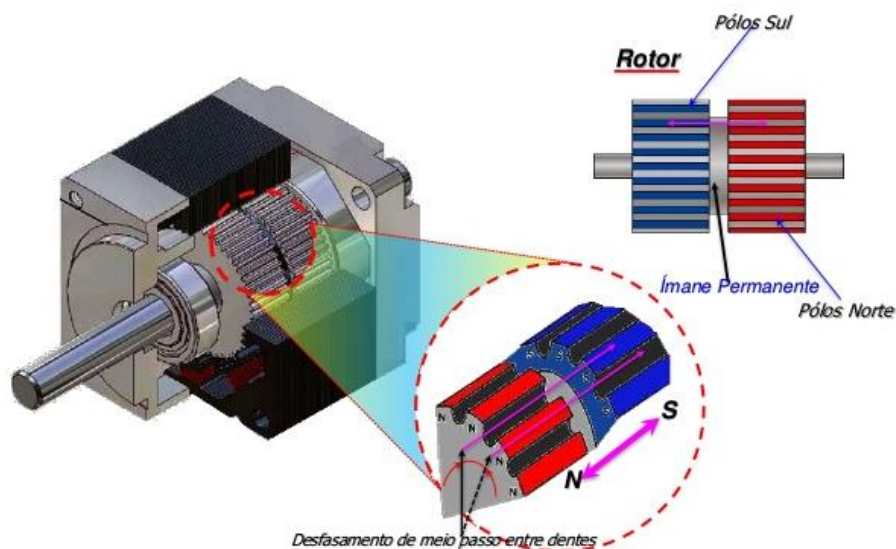


Figura 2.27 - Construção do motor híbrido
 Fonte: www.slidesharecdn.com. Acesso em 30/04/19.

O núcleo magnético é composto de ligas magnéticas e devido essas ligas, as bobinas convencionais podem ser retiradas reduzindo o tamanho destes motores, possibilitando sua utilização em relógios e espaçonaves. Na fabricação de seus discos, utiliza-se um aço com baixo teor de carbono (aço doce) o qual apresenta alta permeabilidade magnética.

Segundo Grimbleby (2008), o posicionamento dos discos assegura a magnetização entre os polos norte e sul como mostrado na figura 2.27. Na figura 2.28, podemos ver o corte de um motor híbrido com o dobro de ímãs e discos mostrados na figura 2.25 possibilitando um aumento no torque.

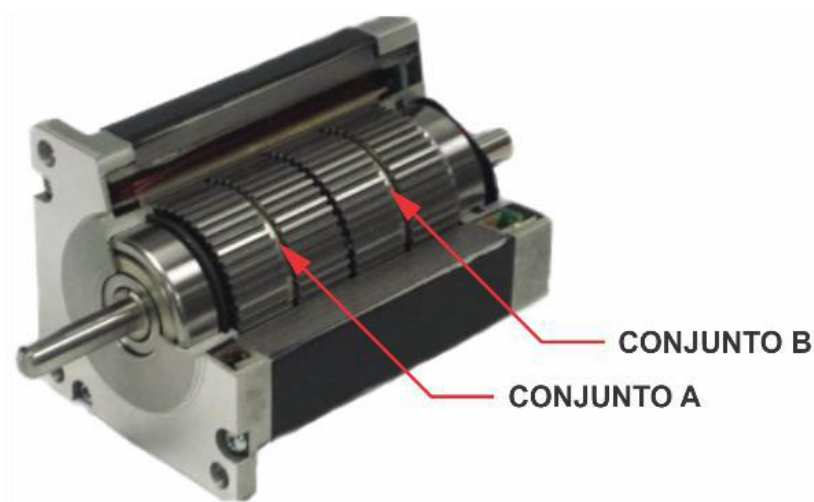


Figura 2.28 - Vista em corte de um motor híbrido
 Fonte: www.mcu-turkey.com. Acesso em 30/04/2019.

Segundo Grimbleby (2008), os motores híbridos também possuem 4,6 e 8 fios para ligações e seu deslocamento angular entre passos podem ser encontrados através da equação 2.3 levando em consideração o número de dentes (ρ) contidos no disco.

$$\alpha_s = \frac{90}{\rho}$$

Equação 2.3 - Deslocamento angular entre passos

2.9.4. Acionamento dos motores

Os motores de passo híbrido e de ímã permanente compartilham as mesmas formas de partida e estão mostradas na figura 2.29 que nos mostra as configurações de ligações conforme o número de fios contidos no motor. Para que seja feita uma ligação correta é necessário que se conheça as ligações internas do motor.

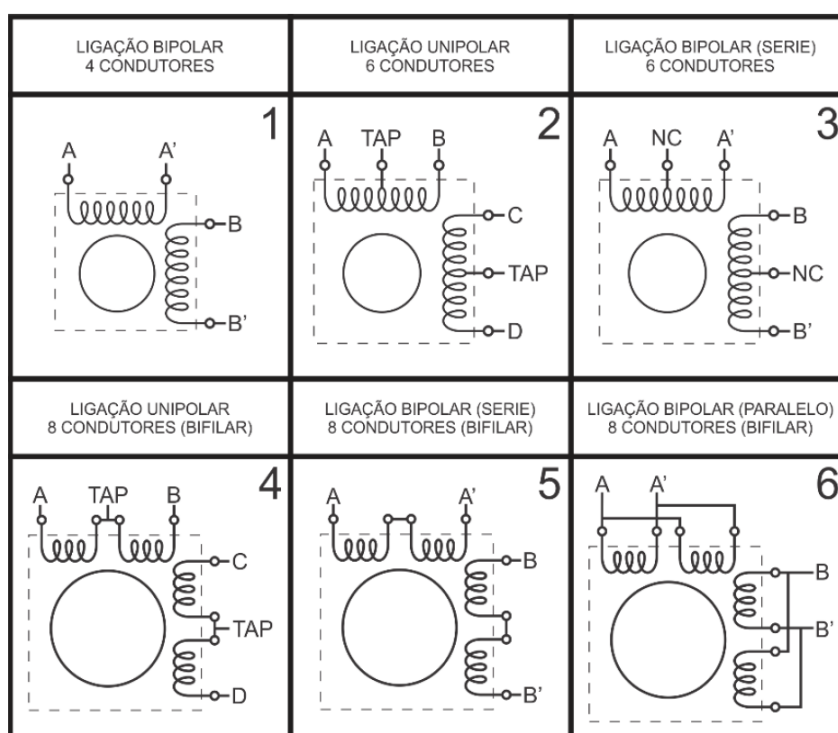


Figura 2.29 - Diagrama de conexão de fios
Fonte: Adaptado de CRAVO, 2015.

Segundo Cravo (2015), a corrente nominal do motor é devido a ligação unipolar, para ligação bipolar em série a mesma utiliza 70% a 75% do valor da corrente nominal e para a ligação bipolar paralelo, utiliza-se 130% a 140%.

2.10. Componentes Mecânicos

A máquina no geral é constituída através de menores ou grandes quantidades de componentes, conforme da sua complexidade. Separados, estes componentes são conhecidos como elementos ou peças funcionais da máquina formando o grupo de componentes mecânicos.

Componentes mecânicos são empregados em máquinas e equipamentos e de acordo com as suas características ou funções, são classificados como elementos de transmissão, fixação, apoio, acoplamentos, vedação, etc. Existem algumas particularidades ou observações que refletem diretamente na escolha de um componente da máquina: peso do equipamento, custo, resistência mecânica, utilização e confiança na execução são alguns exemplos destas particularidades.

No delineamento de uma peça de máquina ou de uma estrutura, é necessário determinar as dimensões fundamentais, para que o item ou peça suporte as tensões de trabalho requeridas. O dimensionamento, se trata em determinar as dimensões da peça a ser aplicada na máquina de maneira que a mesma possa suportar e afirmar o bom funcionamento do equipamento durante a jornada de trabalho.

Neste trabalho apresentaremos as definições dos componentes utilizados em nosso projeto.

2.10.1. Fusos

Os fusos são componentes destinados a máquinas de usinagem que promovem realizam trabalhos de fresamento, mandrilamento, brunimento, faceamento, torneamento externo e alargamento de furos, os quais também são adotados em células de usinagem e em atividades auxiliares de execução. Porém, os fusos de usinagem necessitam de uma mesa de avanço para auxiliá-los no seu deslocamento. A utilização de mesas nas várias direções como também no tipo de ligação escolhido a tais mesas concede uma performance imensamente satisfatório.

Em sequência, as definições dos principais fusos utilizados neste trabalho serão apresentadas.

2.10.1.1. Fuso de rosca trapezoidal

Consiste em uma barra roscada com passo contínuo com ângulo de 30° , utilizado para deslocamento linear e posicionamento em um equipamento mecânico. O fuso trapezoidal é capaz de transmitir alto torque exercendo uma força de compressão e tração. Fabricado em ligas de alumínio e ligas aço carbono com ou sem tratamento térmico, os fusos trapezoidais têm vantagens importantes que devemos considerar.

- Grande quantidade de acessórios;
- Montagem simples e fácil manutenção;
- Possuem vários tamanhos e diferentes capacidades de carga;
- Trabalho universal para cada posicionamento de montagem;
- Inexistência de movimento ou recuo quando houver paradas (Desligamento automático);
- É de fácil montagem devido as combinações bem projetadas e componentes padronizados;
- Acionamento através de motoredutores, motores elétricos, hidráulicos, pneumáticos ou manualmente;

Sendo assim, fuso trapezoidal utiliza rosca denominada trapezoidal devido ao seu formato. Os fusos trapezoidais “*STANDARD*” devem ser produzidos dentro da norma ISO 2901-2902-2904 ou DIN 103, onde a classificação do diâmetro e passo da rosca seguem a norma UNIM 124 ilustrado na figura 2.30.

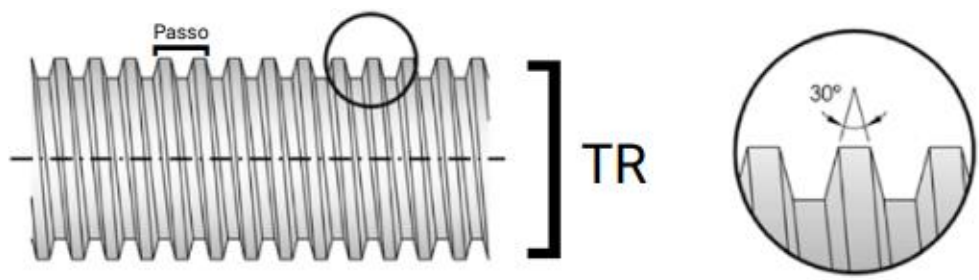


Figura 2.30 - Fuso Trapezoidal
Fonte: www.atibrasil.com.br – acesso em 28/04/19.

2.10.1.2. Fuso de roscas triangulares

Os fusos de roscas triangulares podem ser fabricados com os mesmos materiais que são fabricados o fuso de rosca trapezoidal, tem o formato em “V” e possuem o ângulo de franco com abertura de 60° ilustrado na figura 2.31. As dimensões nominais seguem um padrão baseado na norma DIN 13.

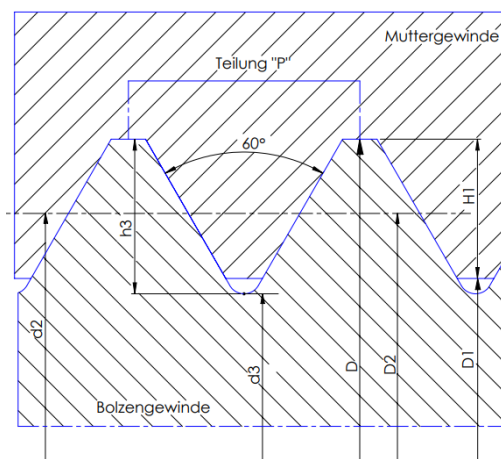


Figura 2.31 - Detalhe do formato da rosca triangular
 Fonte: www.bornemann-gewindetechnik.de. Acesso em 04/05/19.

2.10.1.3. Fuso de esfera

Os fusos de esfera recirculantes é a forma mais eficaz de se transformar torque em deslocamento linear (força linear) ou vice-versa. É o mais utilizado no mundo quando falamos em máquinas industriais que requerem precisão em seus movimentos. Constituído por um fuso de rosca denominada *Ballscrews* e castanha de esferas circundante (porca), tem como vantagens principais o elevado rendimento mecânico por causa do baixo atrito gerado pelas esferas que contornam na castanha proporcionando alta precisão de movimentos e posicionamento, reversibilidade e eficiência. Uma consideração importante nas vantagens do fuso de esfera em comparação aos fusos convencionais é o contato (atrito) que é feito através das esferas, como mostra na figura 2.32.

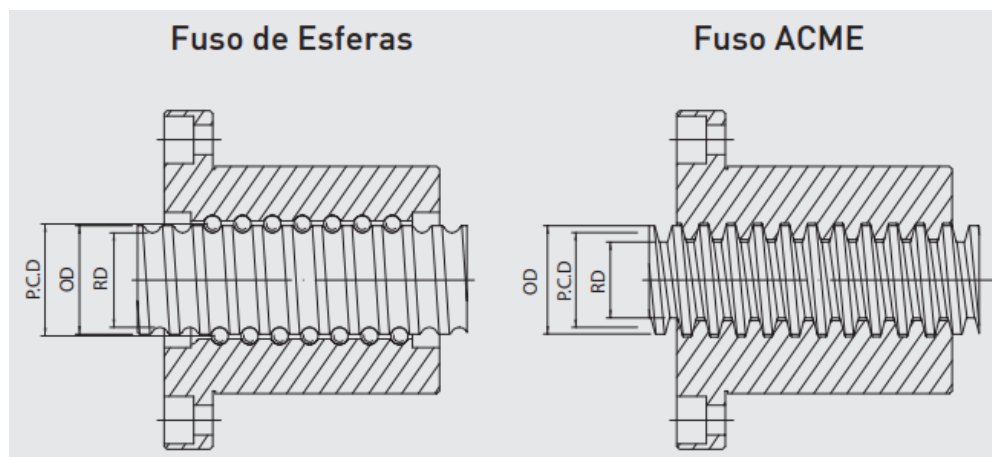


Figura 2.32 - Detalhe de contato em um fuso de esfera e em um fuso convencional
Fonte: Catalogo do fabricante de fuso de esferas HIWIN. Acesso em 28/04/2019.

Os fusos de esferas são produzidos por 02 (dois) métodos de fabricação, os laminados e os retificados. A escolha do método de fabricação deve ser um item importante no momento da definição do projeto, pois define benefícios relevantes ao projeto, tais como: preço, vida útil e precisão.

2.10.1.4. Fusos de esferas laminados

De todos os tipos de fusos de esferas, os fusos de esferas laminados são os mais utilizados, pois trata de um método de fabricação que pode ser automatizado e produzidos em grandes escalas, o que explica o baixo custo em relação aos fusos de esferas retificados. Os fusos laminados são produzidos por meio de ferramentas rotativas e contínuas pelo processo de deformação à frio (laminação), onde o material é deformado com o objetivo de obter o perfil da ferramenta, onde não há remoção de material neste processo. A figura 2.33 ilustra o processo de laminação dos fusos de esferas.



Figura 2.33 - Processo de laminação de fusos de esferas
Fonte: www.kalatec.com.br. Acesso em 28/04/19.

2.10.1.5. Fuso de esferas retificados

Para obtenção de um fuso de esferas retificado é necessário um fuso de esfera laminado, pois o método de retífica utiliza como ferramenta de desbaste o rebolo, processo de remoção por abrasão e não é possível uma grande remoção de material, isso justifica a utilização do material já laminado no perfil final desejado. Apesar de ser um produto de alto custo em relação aos fusos laminados, a vantagem de ter um melhor acabamento superficial e baixa rugosidade proporciona melhor eficiência mecânica e inclusive menor fragilidade e deformações dimensionais, as quais resultam em menor folga entre a haste e o diâmetro das esferas e a castanha, explicando assim, sua maior precisão e maior vida útil devido ao seu menor desgaste. A figura 2.34 ilustra a operação de retifica dos fusos de esferas.

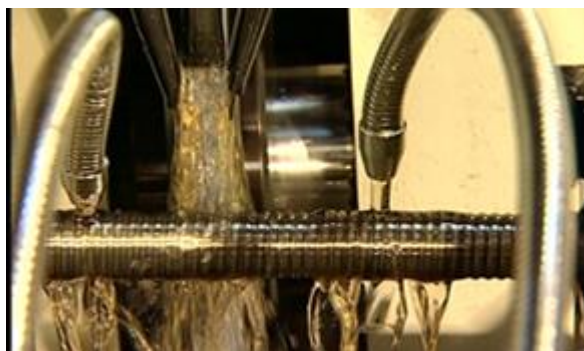


Figura 2.34 - Processo de retifica de fusos de esferas
Fonte: www.kalatec.com.br. Acesso em 28/04/19.

As vantagens de utilizar um fuso de esferas são muitas e são de extrema importância para a eficiência de um equipamento mecânico, tais vantagens pode-se ver abaixo:

- Alta eficiência e reversibilidade – podendo alcançar uma eficiência em torno de 90% com uma exigência de torque de aproximadamente de um terço em relação aos fusos convencionais.
- Alta rigidez e sem *backlash* - Com a redução do atrito, possibilitam a operação com pré-carga, eliminando o *backlash* e a deformação elástica (alta rigidez). Características pelo qual são muito utilizados em máquinas ferramentas com controle de movimentos controlados por computador o CNC (Comando Numérico Computadorizado), pois máquinas ferramentas necessitam uma alta precisão de movimento e repetibilidade de posicionamento.

- Alta precisão de passo – Devido ao seu método de fabricação e a utilização de esferas no controle de seus movimentos, a precisão do passo do fuso é superior aos fusos convencionais.
- Expectativa de vida previsível – Quando comparados em relação a vida útil, os fusos convencionais possuem desgaste das superfícies de contato, os fusos de esferas (*ballscrews*) são utilizados até a fadiga do metal.
- Menor torque de partida e com deslocamentos suaves – Em fusos convencionais o contato metal-metal requer do sistema (motores) maior força de partida visando superar o atrito de partida, já nos fusos de esferas recirculantes a força é menor.
- Silencioso – Devido ao ótimo acabamento superficial e da folga de trabalho pequena, o nível de ruído durante operação do equipamento no qual é instalado os fusos de esferas é baixo, mesmo em condições de carga pesada.

2.10.2. Guias

Elemento de máquina com finalidade de sustentar, com qualidade e precisão, a trajetória de determinadas peças. A guia do movimento relativo de duas peças móveis, montadas em certa posição e sujeitas a esforços, consiste na manutenção desta posição durante o movimento. Estes são elementos dos mais simples em todas as máquinas, e sua relevância é primordial para um melhor funcionamento mecânico.

Existem dois tipos de classificação para guias: guias de rolamento e de deslizamento. Na figura 2.35, são apresentadas as formas das guias de deslizamento.

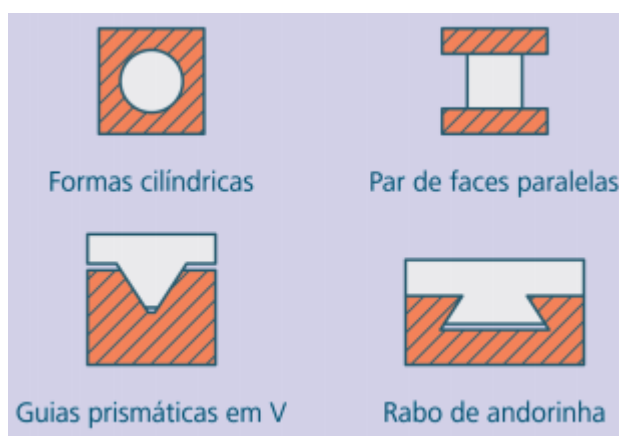


Figura 2.35 - Tipos de guias de deslizamento
Fonte: www.ctism.ufsm.br. Acesso em 28/04/19.

Em seguida, os principais tipos de guias utilizadas neste projeto serão explanados.

2.10.2.1. Guias lineares

Guias lineares são peças com formas geométricas cilíndricas, prismáticas, retangulares ou perfis complexos (patins) que impedem o deslocamento transversal e permitem o movimento longitudinal com alta precisão, alta rigidez e suavidade de deslocamento, que tem como objetivo de proporcionar a redução da folga de contato, maior estabilidade, capacidade de carga elevada com suavidade de deslocamento durante a movimentação linear do equipamento. Com a necessidade de aumento da produtividade nas indústrias e principalmente nas máquinas-ferramentas, foi necessário a substituição dos barramentos por guias lineares com movimentos por rolamentos, com alta capacidade de carga as guias lineares são capazes de tralho em alta velocidade. Atualmente as guias lineares estão sendo utilizadas para substituir diversos segmentos como montadoras, indústrias de autopeças, moveleiras, aeroespacial, hospitalares, alimentícias, etc. Um exemplo de guia linear é apresentado na figura 2.36.

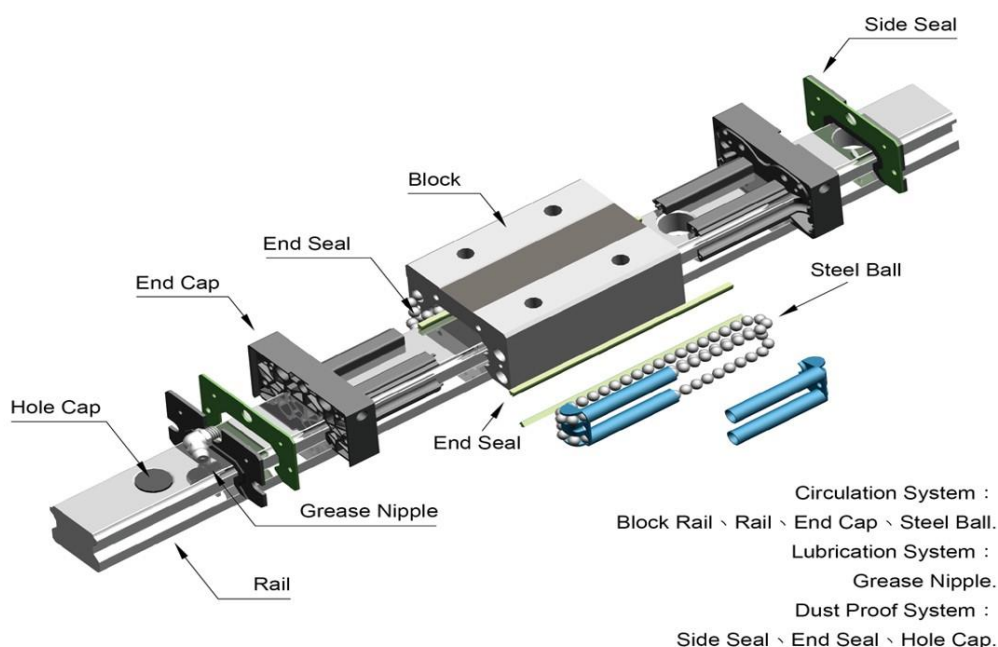


Figura 2.36 - Exemplo de guia linear
Fonte: www.kalatec.com.br. Acesso em 16/05/19.

2.10.2.2. Guias lineares cilíndricas

Constituída de um eixo fabricado em ligas de aço temperado e retificado, revestido normalmente de uma camada superficial de cromo para aumentar sua resistência a fricção que ocorre entre o eixo e as esferas dos rolamentos (*pillow block*). Seu processo de fabricação é extremamente complexo e delicado, seu controle dimensional e acabamento superficial durante a fabricação é muito importante para qualidade do conjunto e vida útil do mesmo. É uma excelente opção para máquinas que requerem precisão em seus movimentos e não possuem espaço para instalações de outros tipos de guias, além de ser uma opção de baixo custo. A figura 2.37 apresenta um exemplo de guia cilíndrica.



Figura 2.37 - Exemplo de guia cilíndrica
Fonte: www.guiacnc.com.br. Acesso em 16/05/19.

Podendo ser utilizadas com fixação nas extremidades ou suportadas por uma base de alumínio, são produzidas com diâmetros entre 8 e 80mm e comprimento de até 4000mm, utiliza rolamentos lineares abertos ou fechados denominados *Pillow Block*.

2.10.2.3. Guias lineares de patins

As guias lineares de patins, exemplo na figura 2.38, também é um sistema de movimento com base no princípio do rolamento, seu bloco possui sistema de esferas recirculantes, gerando diversas vantagens em relação aos demais sistemas de guias lineares, vantagens como redução do atrito, alta precisão de posicionamento, suavidade na movimentação, trabalho em alta velocidade, a alta capacidade de carga,

além de outros benefícios. Seu trilho possui perfil geométrico que causa uma retenção entre o trilho e o bloco aumentando consideravelmente sua precisão ao se deslocar. Outros aspectos devem ser considerados na escolha de uma guia linear de patins.

Principais características:

- Elevada capacidade de carga em seus movimentos;
- Alta rigidez;
- Intercambialidade: em caso de defeitos operacionais é possível substituição de apenas o patim ou o trilho sem danos ou erros à geometria do equipamento.
- Possui classes de precisão e pré-carga; capaz de ser instalado em diversas posições sem comprometimento operacional e da vida útil; com nível de ruído baixo quando em operação;
- Suportam altas velocidades e acelerações;
- Capaz de suportar a temperaturas entre $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $80\text{ }^{\circ}\text{C}$; conexão de lubrificação em diversos lados.

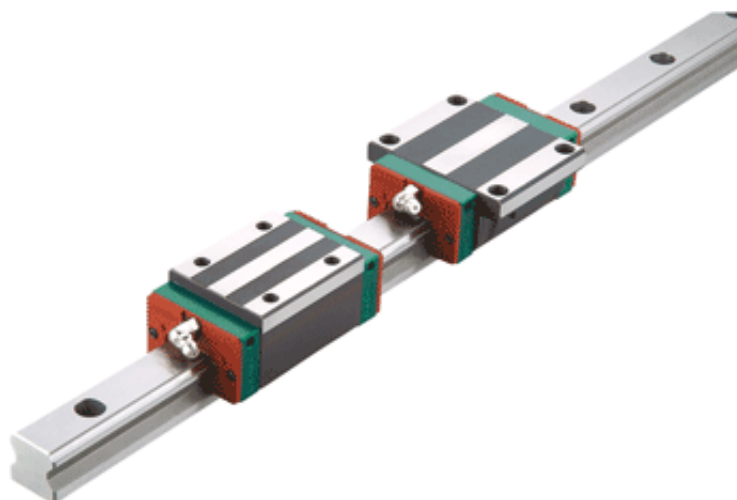


Figura 2.38 - Guia linear de patins
FONTE: www.mectrol.com.br. Acesso em 16/05/19.

2.10.3. Acoplamentos

Acoplamento é um elemento de conexão que tem a função de unir dois eixos com finalidade de interação entre dois sistemas mecânico, composto normalmente de dois flanges (cubos) montados nas extremidades dos eixos a serem unidos, porém para união destes dois flanges são necessários outros tipos de elementos de fixação,

esses elementos podem ser feitos por borracha, parafusos ou pinos. Podem ser definidos como acoplamentos rígidos ou flexíveis, Além da função de junção entre dois sistemas mecânicos, podemos destacar outros benefícios com a utilização dos acoplamentos, como:

- Reduzir vibrações
- Absorver choques
- Não forçar rolamentos dos motores
- Transmitir torques
- Permitir de forma individualizada quanto a manutenção no eixo motriz ou movido.

Na figura 2.39, podemos ver os diversos tipos de acoplamentos.



Figura 2.39 - Acoplamentos
Fonte: www.topcomponentes.com.br/. Acesso em 01/05/19.

2.10.3.1. Acoplamento rígido

Os acoplamentos rígidos são capazes de suportar esforços axiais e radiais resistindo grandes capacidades de carga, são rígidos quanto a torção, mas são de fácil montagem e possibilitam o funcionamento nos dois sentidos de giro. Exigem em sua montagem um perfeito alinhamento entre os eixos, acoplamentos e mancais, a aplicação deverá ser feita em eixos colineares de tolerâncias apertadas que requerem em sua aplicação um carregamento com extrema rigidez de instalação, caso esse alinhamento seja diferente de um ângulo igual a zero, poderá ocorrer falhas

prematuras pois o acoplamento rígido forçará no sentido de realinhamento, e tem a vantagem de não requerer lubrificação. Um exemplo de acoplamento rígido é mostrado na figura 2.40.



Figura 2.40 - Acoplamento rígido
Fonte: www.vesel.com.br. Acesso em 01/05/19.

2.10.3.2. Acoplamento flexível

Os acoplamentos flexíveis são projetados para propiciar o controle de vibrações torcionais através da sua elasticidade, gerando um amortecimento e corrigindo um certo grau de desalinhamento de montagem do conjunto mecânico, além disso por ter uma folga axial e sua junção ser feita com elementos fabricado em materiais elásticos, seus elementos de ligação elásticos entre os cubos (grade, borracha, mola), absorvem choques e corrigem certos desalinhamentos. Alguns tipos de acoplamentos flexíveis estão na figura 2.41.



Figura 2.41- Acoplamentos flexíveis
Fonte: www.houseroll.com.br. Acesso em 01/05/19.

2.10.4. Elementos de fixação

Elementos de fixação são meios de união possíveis de serem aplicados nos mais inúmeros tipos de equipamentos mecânicos, como máquinas e outros, onde o principal objetivo é unir duas ou mais peças de forma móvel ou fixa em equipamentos mecânicos.

Em uma classificação geral, em mecânica, os elementos de fixação mais utilizados são: rebites, cavilhas, pinos, arruelas, parafusos, porcas, entre outros.

A fixação móvel possibilita que os elementos de fixação sejam retirados ou colocados no conjunto sem provocar danos às peças. Como exemplo os parafusos, as porcas e arruelas. Já a fixação fixa ou permanente não permite essa flexibilidade, os elementos de fixação são reutilizados depois de instalados, pois ao serem removidos perdem a sua função pois serão danificados. Como o exemplo de soldas e rebites.

Neste projeto todas as fixações são móveis e serão utilizados parafusos e arruelas para a fixação das partes das máquinas.

2.11. Materiais a Serem Usinados

A usinabilidade também pode ser denominada como uma grandeza tecnológica que apresenta, através de um valor numérico de comparação (índice de usinabilidade), um grupo de propriedades de usinagem de materiais relacionados a outros tomado como padrão. Ou seja, indica o grau de dificuldade de usinar um material. (Diniz et al., 2003).

A usinabilidade dos materiais é difícil de ser estabelecida, pois depende de várias situações dos próprios métodos de usinagem, como: parâmetros de usinagem, das ferramentas, das máquinas e dos fluidos ou líquidos de corte. Sendo assim, cada material apresenta condições específicas que ditam as regras mais adequadas de usinagem.

Neste trabalho serão apresentados os materiais com baixa dureza para os testes de usinagem com a fresadora *CNC Router*: acrílico, madeira cerejeira, MDF e alumínio.

2.11.1. Acrílico

Segundo o fabricante BelMetal, as chapas de acrílico possuem um grande destaque comparado a outros materiais, em virtude das suas qualidades e propriedades, tornando possível para grande variedade de aplicações em vários segmentos, como nas indústrias automotivas, aéreas e náuticas, em materiais da construção, artigos domésticos e de decoração e também nos produtos de comunicação visual como por exemplo os *displays* luminosos, as fachadas, brindes, etc.

Segue abaixo a tabela 2.1 com as informações das propriedades do material.

Tabela 2.1 - Propriedades do acrílico

Propriedades	Ensaio*	Valor	Unidade	
Física	Densidade	D792	1,19	g/cm ³
	Absorção d'água (24 horas)	D570	0,265	%
Mecânica	Resistência a tração	D638	630	kgf/cm ²
	Módulo de elasticidade	D638	32800	kgf/cm ²
	Alongamento (na ruptura)	D638	2,88	%
	Resistência a flexão	D790	1120	kgf/cm ²
	Módulo de flexão	D790	30000	kgf/cm ²
	Resistência a impacto	D256	1,81	kgf.cm/cm
	Dureza Rockwell	D785	99,6	Escala M
	Resistência à compressão (no escoamento)	D695	1140	kgf/cm ²
Óptica	Resistência ao Cisalhamento	D732	653	kgf/cm ²
	Transmissão Luminosa	D1003	92,5	%
	Haze	D1003	0,124	%
	Índice de Amarelecimento	E313	-1,06	
Elétrica	Índice de Refração		1,4528	
	Resistência Dielétrica	D149	18,3	KV/mm
	Resistência ao Arco Elétrico	D495	>600	V

* De acordo com as normas da ASTM

Fonte: Catálogo do fabricante BelMetal, 2019.

As principais propriedades físicas do acrílico são:

- Baixo peso: densidade de 1.19 g/cm³;
- Absorção d'água: consegue reter aproximadamente 2% de umidade e como consequência dessa absorção apresenta uma elevação dimensional no máximo 0,35%;
- Resistência à abrasão;
- Quebra: boa resistência e sem tendência à fragmentação;
- Baixa resistência à fadiga.

Por volta de maio de 2002 a ABNT, (Associação Brasileira de Normas Técnicas) se baseando nas normas internacionais existentes, no caso a ISO (*International Organization for Standard*), normalizaram as chapas acrílicas no país. As duas normas estabelecidas são:

- **NBR-ISO 7823-1:** Para chapas de metacrilato de metila:
 - PMMA: tipos, dimensões e características;
 - Chapas Fundidas (*Cast*). Na tabela 2.2 são informados os tamanhos e pesos de chapas acrílicas fundidas ou "*cast*".

Tabela 2.2 - Tamanhos e pesos de chapas acrílicas fundidas ou "cast"

Espessuras (mm)	1,0	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	9,0	10,0	12,0	15,0	18,0	20,0	24,0
Dimensões (mm)															
1000 x 1000	1,2	2,4	2,9	3,6	4,8	6,0	7,1	9,5	10,7	11,9	14,3	17,9	21,4	23,8	28,6
1000 x 2000		4,8	5,7	7,1	9,5	11,9	14,3	19,0	21,4	23,8	28,6	35,7	42,8	-	-
1200 x 2100		6,0	7,2	9,0	12,0	15,0	18,0	24,0	27,0	30,0	36,0	45,0	54,0	60,0	72,0
1220 x 2440			8,5	10,6	14,2	17,7	21,3	28,3	31,9	35,4	42,5	53,1	63,8	70,9	85,0
1350 x 1850			7,1	8,9	11,9	14,9	17,8	23,8	26,8	29,7	35,7	44,6	53,5	-	-
1500 x 2500	-	-	-	13,4	17,9	22,3	26,8	35,7	40,2	44,6	53,6	-	-	-	-
2000 x 2000	-	-	-	14,3	19,0	23,8	28,6	38,1	48,8	47,6	57,1	71,4	85,7	-	-
2000 x 3000	-	-	-	-	28,6	35,7	42,8	57,1	64,3	71,4	85,7	-	-	-	-
Tolerância da espessura (+/- mm)	0,5	0,6	0,64	0,7	0,8	0,9	1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,9	2,2	2,4	2,8
	<i>Conforme norma NBR-ISO 7823-1</i>														

Fonte: Adaptado da NBR-ISO 7823-1, 2012.

- **NBR-ISO 7823-2:** Chapas de poli (metacrilato de metila) - PMMA: Tipos, dimensões e propriedades - Chapas obtidas por extrusão, calandradas. Na tabela 2.3, são informados os tamanhos e pesos de chapas acrílicas extrudadas de acordo com a norma.

Tabela 2.3 - Tamanhos e pesos de chapas acrílicas extrudadas

Espessuras (mm)	2,00	2,50	3,00	4,00	5,00	6,00	8,00	9,00	10,00	12,00	15,00	18,00	20,00
Dimensões (mm)													
1000 x 2000	4,90	5,95	7,14	9,52	11,90	14,28	19,04	21,42	23,80	28,56	35,70	42,84	47,60
2000 x 2000	9,80	11,90	14,28	19,04	23,80	28,56	38,08	48,84	47,60	57,12	71,40	85,68	95,20
2050 x 3050		18,60	22,32	29,76	37,20	44,64	59,52	66,96	74,40	89,28	111,61	133,93	148,81
Tolerância da espessura (mm)	+/- 10%		+/- 5%										
	<i>Conforme norma NBR ISO 7823-2</i>												

Fonte: Adaptado da NBR-ISO 7823-2, 2012.

Para os diversos parâmetros estabelecidos, um dos mais consideráveis se refere à diversidade da espessura, e são definidos de acordo com o método de fabricação e com a espessura nominal.

2.11.2. Madeira cerejeira

É um tipo de madeira popular que para efeitos de trabalho possui vantagens em virtude da sua maleabilidade. Apresenta boa durabilidade, podendo ficar exposta ao tempo, entre as suas aplicações estão principalmente a confecção de esculturas, de painéis, de móveis, de gravuras, de balcões, de molduras e de rodapés.

A madeira é classificada de uma forma geral levando em consideração a sua resistência e também o seu número de defeitos, abaixo segue a descrição para os itens mais importantes.

- Quanto à resistência: as madeiras consideradas duras são encontradas em árvores abundantes e de também de crescimento demorado, entre elas podemos mencionar o ipê, a aroeira e o carvalho. As madeiras consideradas macias são originárias em geral das coníferas, que são o pinho e do eucalipto.

- Quanto ao número de defeitos: quando a madeira está isenta de defeitos estruturais, ela é considerada uma madeira de primeira linha, porém quando algum critério técnico não for atendido, ela é uma madeira de segunda linha. Além disso, a inspeção realizada por um profissional capacitado pode determinar a inutilização da peça.

Suas principais propriedades mecânicas são:

- Flexão Estática: 91 MPA
- Módulo de Elasticidade 9.000-11.410 MPA
- Resistência à tração: 12 MPA

Com isto, podemos considerar que este material é de baixa resistência mecânica.

As aplicações para a madeira são diversas, principalmente nos segmentos mencionados abaixo:

- Construção civil: revestimento de portas, forros, lambris e painéis;
- Mobiliário de alta qualidade e móveis decorativos;
- Outros usos: em lâminas decorativas, em tanoaria, em decoração e adorno, em cabos para cutelaria e em embarcações.

2.11.3. MDF

Os painéis MDF (*Medium Density Fiberboard*) são estabelecidos por Maloney (1996) e pela ASTM-D1554 (1974) como “painéis produzidos a seco, confeccionados com fibras lignocelulósicas juntamente com resina sintética ou outro meio ligante, e que, são prensadas a quente no processo seco, que geram painéis com densidades de 500 a 800 kg/m³”. A figura 2.42 ilustra algumas chapas de MDF revestidas.



Figura 2.42 - Exemplo de chapas de MDF revestidas
Fonte: www.mdfmadeiras.com.br. Acesso em 16/05/19.

Benaduce (1998) ao comparar os painéis MDF com aglomerados, compensados e chapas duras, nas operações de usinagem, torneamento, furação, pinturas, revestimento de superfície, relata que ele tem desempenho superior. Tem desempenho inferior apenas nas operações de pintabilidade e curvagem quando comparado às chapas duras.

O MDF é homogêneo, denso, estável, de superfície plana e lisa, que tem boa trabalhabilidade e pode ser feita usinagem complexa, com qualidade no acabamento, o que o torna ideal para receber revestimentos diversos. Apresenta resultados satisfatórios quando são utilizadas técnicas convencionais, tais como, pintar, entalhar, colar, perfurar, cortar, parafusar e moldurar.

As propriedades dos painéis de MDF, são muito próximas da madeira sólida e em alguns casos são superiores e possibilitam o uso em diferentes setores. Na indústria moveleira o seu uso é muito grande, mesmo assim é possível encontrar em

pequenas configurações estruturais sua utilização. Com isto, a usinagem é uma etapa muito importante na transformação deste material em produto final.

Na figura 2.43 as especificações do MDF são apresentadas, considerando os MDFs disponíveis para utilização em locais secos (MDF.LA) e para aplicação em locais húmidos (MDF.H).

Propriedade	Unidades	Gama de Espessuras Nominal (mm)				
		>6 - 9	> 9 - 12	> 12 - 19	> 19 - 30	> 30 - 45
Tolerâncias:						
Espessura	(mm)	± 0,2			± 0,3	
Dimensões	(mm/m)	± 0,2, máximo de ± 5,0 mm				
Formaldeído livre	mg/100g	Classe E2>8,0- 30,0				
Massa volúmica	(Kg/m ³)	800	800	750	730	690
Reacção ao fogo						
Tipo MDF. LA	-----	F	D-S2,d0	D-S2,d0	D-S2,d0	D-S2,d0
Tipo MDF. H						
Inchamento na espessura, 24 h	%	17	15	12	10	8
Tipo MDF. LA	%	12	10	8	7	---
Tipo MDF. H						
Resistência interna	N/mm ²	0,70	0,65	0,60	0,60	0,55
Tipo MDF. LA						
Tipo MDF. H	N/mm ²	0,80	0,80	0,75	0,75	----
Resistência à flexão	N/mm ²	29	27	25	23	21
Tipo MDF. LA						
Tipo MDF. H	N/mm ²	27	26	24	22	----
Mód. Elasticidade						
Tipo MDF. LA	N/mm ²	3000	2800	2500	2300	2100
Tipo MDF. H	N/mm ²	2700	2500	2400	2300	-----
Inchamento na espessura após testes cíclicos	%	19	16	15	15	----
Tipo MDF. H						
Resistência interna após testes cíclicos	N/mm ²	0,30	0,25	0,20	0,15	----
Tipo MDF. H						

Figura 2.43 - Especificações do MDF
Fonte: www.covema.pt. Acesso em: 16/05/19.

Tem plasticidade equivalente ou superior a madeira maciça, consistência e características mecânicas próximas. Não tem nós, imperfeições e veios reversos típicos da madeira natural. É possível realizar operações de maquinação complexas pois o MDF tem a superfície suave e dura bem como as extremidades homogêneas. Tem elevada estabilidade dimensional e boas propriedades de resistência mecânica, principalmente para a montagem de parafusos nas superfícies e em torno de si.

Uma das principais desvantagens do MDF está em sua construção, pois ele pode liberar pequenas quantidades de formaldeído, embora isso tenha sido amplamente dissipado até o final do processo de construção, porém o MDF que foi pintado minimiza ainda mais qualquer risco para a saúde. Outras desvantagens são: o MDF tende a ser de alta manutenção, a exposição direta à água pode fazer com que ele inche e a cola presente no MDF pode dificultar a colocação de certos tipos de fixadores no material.

2.11.4. Alumínio

Segundo Gonçalves (2012), atualmente o alumínio é um dos materiais metálicos com o maior nível de utilização na indústria metalúrgica.

Esse aumento tem grande influência devido aos estudos direcionados à área aeronáutica e automobilística e as suas principais características como leveza, boa condutividade, resistência e boa usinabilidade. A preocupação ambiental atual vê com bons olhos a utilização do alumínio em virtude da sua capacidade de reciclagem, o que representa uma importante redução econômica de energia na produção e menor quantidade de metal depositado no meio ambiente.

Em virtude da grande utilização e constante crescimento das ligas de alumínio houve um grande salto da sua participação no mercado, nos diversos processos de fabricação a usinagem aparece com um dos processos mais utilizados atualmente na indústria.

Apesar da alta compatibilidade das ligas de alumínio serem usinadas, a ação de corte da ferramenta é mais eficaz em materiais de ligas mais envelhecidas termicamente e com baixo alongamento, e como resultado elas produzem cavacos menores.

O alumínio puro possui boa ductilidade e baixa resistência mecânica, ele tem uma resistência a tração de no máximo 90N/mm² na condição recozida e para a maioria das suas aplicações voltadas para a área da engenharia é bastante utilizado como elemento de liga. A resistência mecânica da maioria das ligas de alumínio pode ser elevada através endurecimento por precipitação, resultando a uma taxa de resistência por massa da mesma ordem dos aços que possuem alta resistência mecânica. (Higgins, 1977).

Algumas propriedades do alumínio são listadas na tabela 2.4

Tabela 2.4 - Propriedades físicas do alumínio

Propriedades físicas típicas	Alumínio
Densidade (g/cm ³)	2,70
Temperatura de fusão (°C)	660
Módulo de elasticidade (MPa)	70000
Coefficiente de dilatação térmica (L/°C);	23.10-6
Condutibilidade térmica a 25°C (Cal/cm/°C)	0,53
Condutibilidade elétrica (%IACS)	61

Fonte: www.abal.org.br. Acesso em 20/05/19.

3. DEFINIÇÃO DAS ETAPAS DO PROJETO

Para a elaboração e execução do projeto, foi criado um fluxograma, ilustrado na figura 3.1, com o objetivo de dividir o trabalho em etapas, as quais são detalhadas no capítulo quatro, para assim obter maior eficiência, e atingir o objetivo proposto com melhores resultados e organização.

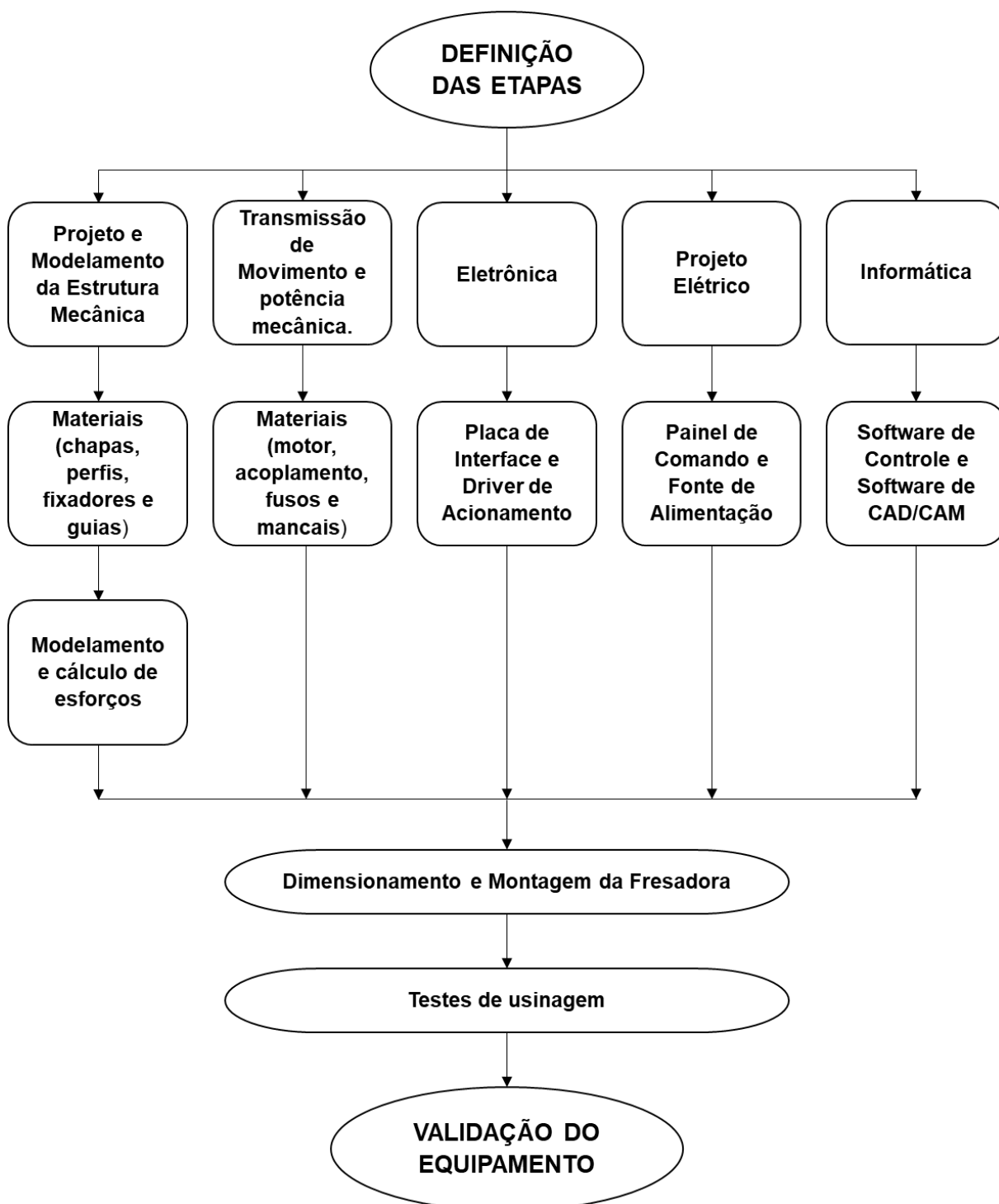


Figura 3.1 - Fluxograma das etapas do projeto
Fonte: Elaborado pelos autores.

4. METODOLOGIA

Nesse capítulo será abordado todas as definições de materiais que iremos utilizar no projeto, detalhando todo desenvolvimento e o motivo pelo qual utilizamos todas as peças aplicadas no projeto. Para melhor entendimento de cada fase da metodologia, dividimos esse capítulo em quatro subtítulos, porém com ênfase na área da mecânica que é o motivo da nossa graduação, sendo assim, o projeto estrutural mecânico será dividido em (materiais da estrutura, guias lineares, fuso de movimentação, acoplamento, mancais), eletrônica (placa de *interface driver* de acionamento), elétrica (painel de comando e fonte de alimentação) e informática (*software* de controle e *software* de *CAD/CAM*), tendo como finalidade construir uma máquina capaz de realizar usinagem de matérias de baixa resistências mecânicas sendo madeiras (Pinos, MDF, Cedrinho), alumínio, acrílico.

O desenvolvimento do projeto e construção da fresadora CNC foi realizado de forma que a máquina possa ser controlada através da interação entre os sistemas máquina, *softwares* utilizados e computador pessoal, que possibilitam a usinagem de matérias de menores resistências mecânicas. Este capítulo está desmembrado da seguinte forma, abordagem sobre o desenvolvimento do projeto, os passos mais importantes e necessários durante a montagem do equipamento (partes estruturais e ajustes) e para finalizar, abordaremos a aplicação dos controles e testes realizando usinagem nos seguintes materiais: acrílico, madeira cerejeira, MDF e alumínio.

4.1. Projeto e Modelamento da Estrutura Mecânica

A fresadora CNC *Router* foi desenvolvida para operar com base em coordenadas cartesianas, com base na obrigação de se ter um funcionamento com a melhor austeridade ou rigidez mecânica. Este projeto foi caracterizado pelo desenvolvimento dos desenhos e usinagem dos elementos principais que definem a precisão da máquina, levando em conta que este desenvolvimento foi necessário pelo alto custo de fusos esfera e guias lineares, bem como os materiais em aço carbono e alumínio da estrutura. O *software* escolhido para desenvolver o projeto mecânico, certamente foi o *INVENTOR®* devido a sua grande aplicação em indústrias de pequeno, médio e grande porte, sem falar na sua utilização na maioria das instituições de ensino.

O ponto de partida inicial para o desenvolvimento da concepção mecânica do projeto se deu com base nas cargas de trabalho as quais os deslocamentos em X, Y e Z se submeteriam, sendo de 800 mm na direção Y x 600 mm na direção em X x 150 mm na direção Z, os quais após as definições dimensionais limitadoras, pode ser dado início a desenvolvimento dimensional de cada componente estrutural como um todo.

Tais desenhos ficaram disponibilizados em anexo, no qual dentre os mesmos, existe um que ilustra claramente toda a montagem da fresadora com seus respectivos componentes, dos quais há uma lista de material identificando as folhas de ilustrações técnicas para fabricação e ajuste de cada peça, detalhes necessários e relevantes, inclusive o material com sua respectiva resistência mecânica necessária para a melhor performance do equipamento.

Devido à necessidade em obter uma estrutura confiável e com ajustes perfeitos, a montagem de toda a estrutura do projeto se deu a partir da união dos componentes ou peças através de parafusos, porcas e arruela, eliminando qualquer necessidade de se utilizar equipamentos de soldagem devido a ocorrência de deformações mecânicas causadas pela elevação da temperatura necessária para este tipo de união e falta de controle da ZTA (zona térmica afetada).

4.1.1. Chapas de aço, chapa de alumínio, parafusos de fixação e perfis de alumínio da estrutura

Grande parte estrutural da máquina foi desenvolvida utilizando chapa de aço carbono SAE 1020, perfis em alumínio de 60mm x 30mm e chapas de alumínio 9,52mm (3/8"), devido a sua ótima resistência mecânica e baixo peso nas peças de alumínio, inclusive foi levada em consideração a garantia de rigidez sem falar na sua capacidade de absorção das vibrações durante a operação do equipamento. O objetivo da utilização destes materiais é obter um equipamento com dimensões totais de 1250mm x 1000mm x 700mm que poderá ser instalado sobre uma base para obter uma condição ergonômica de trabalho.

Devido a ajustes necessários durante a montagem, foram necessárias a projeção e fabricação de algumas peças as quais serão mostradas em desenhos técnicos anexos ao trabalho.

4.1.2. Chapa de aço carbono SAE 1020 de espessura 12,7mm (1/2")

Definimos a utilização de peças em chapa de aço carbono (SAE 1020) com medidas de 12,70mm (1/2") em partes da estrutura da máquina devido ao seu excelente custo benefício. Facilmente encontrada no mercado para compra, possui características e propriedades mecânicas que possibilitam seu beneficiamento com recursos simples, o que é muito importante para o nosso projeto devido a nossa estrutura limitada para fabricação.

Capaz de adicionar peso na estrutura e assim gerando estabilidade e evitando ressonância durante o funcionamento do equipamento, a chapa de aço carbono (SAE 1020) permitirá que façamos as furações necessárias para montagem com ferramentas manuais *hobby*. Porém não foi só essas características que nos levaram a decidir por essa utilização, com um custo baixo e propriedades mecânicas que correspondem o nosso projeto, foi uma escolha óbvia para nosso projeto.

Para o projeto iremos utilizar chapa de aço SAE 1020 nas seguintes peças:

- Chapa frontal da base – desenho TCC-2019-001
- Chapa traseira da base – desenho TCC-2019-002
- Chapa de movimentação do eixo Y – desenho TCC-2019-002
- Chapa da coluna direita – desenho TCC-2019-004
- Chapa da coluna esquerda – desenho TCC-2019-003.

Tabela 4.1 - Propriedades mecânicas do aço carbono SAE 1020

Propriedades mecânicas do aço carbono SAE 1020	
Composição química	Manganês, Mn – 0,3 a 0,6% Carbono, C – 0,18 a 0,23% Enxofre, S – máx. 0,05% Fósforo, P – máx. 0,04% Ferro, Fe – o que sobra
Densidade	7,87 g/cm ³ ou 0,284 lb/in ³
Limite de escoamento	350 MPa ou 50800 psi
Resistência à tração	420 MPa ou 60900 psi
Módulo elasticidade	205 GPa ou 29700 ksi
Alongamento	15% (base de medida de 50 mm)
Dureza	121 HB
Condutividade térmica	51.9 W/mK ou 360 BTU in/hr.ft ² .°F
Coeficiente de expansão térmica (@0.000-100°C/32-212°F)	11.7 µm/m°C ou 6.50 µm/m°C

Fonte: www.materiais.gelsonluz.com. Acesso em 04/05/19.

4.1.3. Chapa de alumínio de espessura 9,52mm(3/8")

Pensando em garantir rigidez e ao mesmo tempo uma estrutura mais leve, optamos por utilizar chapa de alumínio 7075-T651 que tem aproximadamente 1/3 do peso do aço, por se tratar de um material fácil de ser beneficiado, com características mecânicas que atendem perfeitamente ao projeto e principalmente por ser um material fácil de encontrar no mercado para compra. Também é um material de fácil usinagem e estabilidade, assim com atributos que devem ser levados em consideração na definição de todo projeto: leve, boa condutividade elétrica e térmica, impermeabilidade e opacidade, elevada relação resistência / peso, ótima aparência, durável, moldabilidade e soldabilidade, possui ótima resistência à corrosão, ótima resistência e uma excelente dureza, sem falar nas várias possibilidades de acabamentos superficiais e o mesmo ser reciclável.

Para o projeto iremos utilizar chapa de alumínio nas seguintes peças:

- Chapas de movimentação do eixo "Z" (Ver desenho TCC-2019-005).

Tabela 4.2 - Propriedades mecânicas do alumínio 7075-T651

Propriedades mecânicas do alumínio 7075-T651	
Composição química	Cromo, Cr – 0,18 a 0,28% Cobre, Cu – 1,2 a 2,0% Ferro, Fe – máx. 0,5% Magnésio, Mg – 2,1 a 2,9% Manganês, Mn - máx. 0,3% Níquel, Ni – máx. 0,05% Silício, Si – máx. 0,4% Titânio, Ti – máx. 0,2% Zinco, Zn – 5,1 a 6,1% Alumínio, Al – o que sobra
Densidade	2,85g/cm ³
Limite de escoamento	450 MPa
Resistência à tração	530 MPa
Módulo elasticidade	73 GPa
Dureza (25-50mm)	180 HBS
Condutividade térmica (25°C)	0,29 Cal/cm°C

Fonte: www.coppermetal.com.br. Acesso em 04/05/19.

4.1.4. Parafusos de fixação

Como já tínhamos falado anteriormente, optamos pela união dos componentes da estrutura mecânica feita por parafusos. Optamos por parafusos de cabeça cilíndricas com sextavado interno, por se tratar de um parafuso fabricado dentro de normas internacionais como a SAE (*Society of Automotive Engineers* - EUA) e ISO (Organização Internacional de Padronização) e escolhemos utilizar os parafusos do fabricante brasileiro CISER que fabrica parafusos de roscas métricas dentro da norma internacional ISO 898-2 que possuem características mecânicas que garantem a perfeita montagem e rigidez da estrutura da fresadora CNC, fornecido por todo o mercado brasileiro e com preço adequado para nosso projeto, optamos utilizar parafusos de rosca M6 classe 8.8 e variações de comprimentos para adequação na fixação dos componentes da estrutura.

Características que iremos detalhar para justificar a necessidade de os parafusos suportarem esforços mecânicos que a estrutura da máquina deverá suportar, por se tratarem de parafusos fabricados por processo de laminação a frio, o material adquire qualidades importantes para resistências a compressão, tração e cisalhamento, além de tolerâncias dimensionais adequadas para o projeto. Além do parafuso de rosca M6 iremos também informar as características dos parafusos de rosca M4 e M5 que também iremos utilizar em fixações de outros itens da fresadora CNC, lembrando que devido a facilidade de obtenção, iremos adotar parafusos do mesmo fabricante e norma na qual definimos a utilização dos parafusos de rosca M6, conforme figura 4.1. Na tabela 4.3 estão as características mecânicas dos parafusos utilizados no projeto.

Tabela 4.3 - Propriedades mecânicas conforme ISO 898-1

Rosca	Classe de resistência	Seção resistente nominal	Carga de prova	Tensão de tração nominal	Tensão da deformação o não proporcional nominal	Alongamento após ruptura	Tensão sob carga de prova	Dureza
M4	8.8	8,78mm ²	5100N	800N/mm ²	640N/mm ²	12% mín.	580N/mm ²	22-32 HRC
M5	8.8	14,2mm ²	8230N	800N/mm ²	640N/mm ²	12% mín.	580N/mm ²	22-32 HRC
M6	8.8	20,1mm ²	11600 N	800N/mm ²	640N/mm ²	12% mín.	580N/mm ²	22-32 HRC

Fonte: www.ciser.com.br. Acesso em 06/05/19.



Figura 4.1 - Parafuso cabeça cilíndrica com sextavado interno

Fonte: www.ciser.com.br. Acesso em 06/05/2019.

4.1.5. Perfil estrutural em alumínio

Pensando principalmente na montagem da fresadora CNC, onde optamos e não disponibilizamos de recurso de soldagem, certamente não poderíamos escolher outro material à não ser o perfil estrutural em alumínio. Além de proporcionar a rigidez necessária para o projeto, podemos contar com a facilidade de montagem, podendo unir todas as outras peças do projeto com parafusos e conexões que permitem um perfeito alinhamento entre as peças e garantem uma união resistente e segura, suficientes para os esforços dinâmicos e estáticos em nosso projeto.

Na escolha das dimensões do perfil estrutural em alumínio, analisamos os dados técnicos fornecido pelos fabricantes e escolhemos o perfil fabricado pela empresa OBR, conforme figura 4.2, avaliamos que o perfil com dimensões de largura 30mm x 60mm com variações de comprimentos de 800mm na estrutura do eixo “X” e 1000mm na estrutura do eixo “Y” atende nossa necessidade. Abaixo veremos os dados fornecidos pelo fabricante *MetalWork* e no capítulo mais adiante veremos a análise e a comprovação feita pelo *software INVENTOR®* através da análise dos elementos finitos.

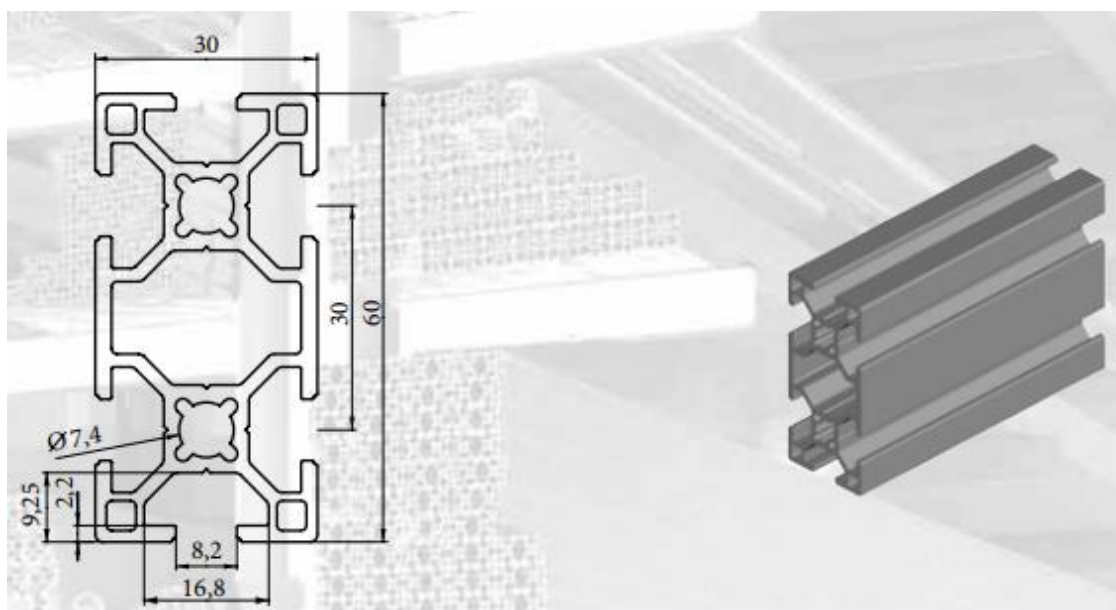


Figura 4.2 - Perfil estrutura em alumínio 30 x 60
Fonte: www.metalwork.com.br. Acesso em 05/05/19.

Para calcularmos a resistência do perfil estrutural em alumínio de 30mm x 60mm precisaremos de dados e a equação 3.1 a seguir:

$$F = \frac{2 \times \pi \times N \times T}{P}$$

Equação 4.1 - Cálculo de resistência

- σ_1 => Esforço de flexão = iremos calcular e não poderá ter valor superior à $K=100\text{N/mm}^2$ para carga constante (obtido no catálogo do fabricante *MetalWork*).
- σ_2 => Esforço de flexão = iremos calcular e não poderá ter valor superior à $K=40\text{N/mm}^2$ para carga variável (obtido no catálogo do fabricante *MetalWork*).
- σ_3 => Esforço de flexão = iremos calcular e não poderá ter valor superior à $K=30\text{N/mm}^2$ para carga oscilante (obtido no catálogo do fabricante *MetalWork*).
- f => Flexão (mm) = iremos calcular
- W => Módulo de resistência = 6340mm^3 na posição de montagem no projeto e obtido no catálogo do fabricante *MetalWork*.
- F => Força = 1663N que é o valor da transformação do torque de 15kgf.cm do motor utilizado no projeto para força linear que será a força máxima durante a movimentação de cada eixo ou sentido, porém como utilizaremos 02 (dois) perfis estruturais em alumínio em cada eixo, deveremos dividir por 2 essa força, sendo assim utilizaremos $F = 831,5\text{N}$.

Transformação de torque em força linear

- Torque (T) = 15kgf.cm ou 1,4709N.m
- Eficiência do fuso (N) = 0,9 (90% para fuso *ballscrews*)
- Passo do fuso (P) = 0,005mm

$$F = \frac{2 \times \pi \times N \times T}{P} = \frac{2 \times \pi \times 0,9 \times 1,4709}{0,005} = 1663\text{N}$$

- I => Momento de inércia = 190300mm^4 na posição de montagem no projeto e obtido no catálogo do fabricante *MetalWork*.
- K => Máximo esforço de flexão em (N/mm^2)

• E => Módulo de elasticidade = 70000N/mm² obtido no catálogo do fabricante *MetalWork*.

Como na máquina será utilizado perfis fixados nas duas extremidades com parafusos M6, devemos calcular utilizando as equações da figura 3.3.

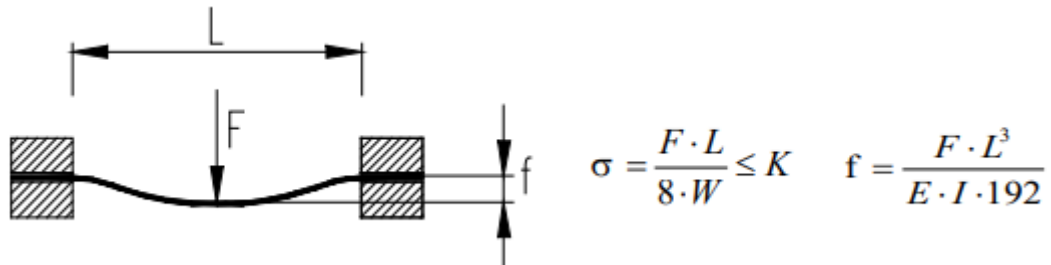


Figura 3.4.3 - Equações para cálculo de deformação da estrutura.
Fonte: Catálogo do fabricante Metal Work

Cálculo para utilização de perfil $L= 800$ mm:

$$\sigma = \frac{831,5 \cdot 800}{8 \cdot 6340} = 13,11 \text{N/mm}^2$$

$$f = \frac{831,5 \cdot 800^3}{70000 \cdot 190300 \cdot 192} = 0,17 \text{mm}$$

Cálculo para utilização de perfil $L= 1000$ mm:

$$\sigma = \frac{831,5 \cdot 1000}{8 \cdot 6340} = 16,39 \text{N/mm}^2$$

$$f = \frac{831,5 \cdot 1000^3}{70000 \cdot 190300 \cdot 192} = 0,32 \text{mm}$$

Nas figuras 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7 são exibidos os resultados das análises realizadas no *software INVENTOR®*.

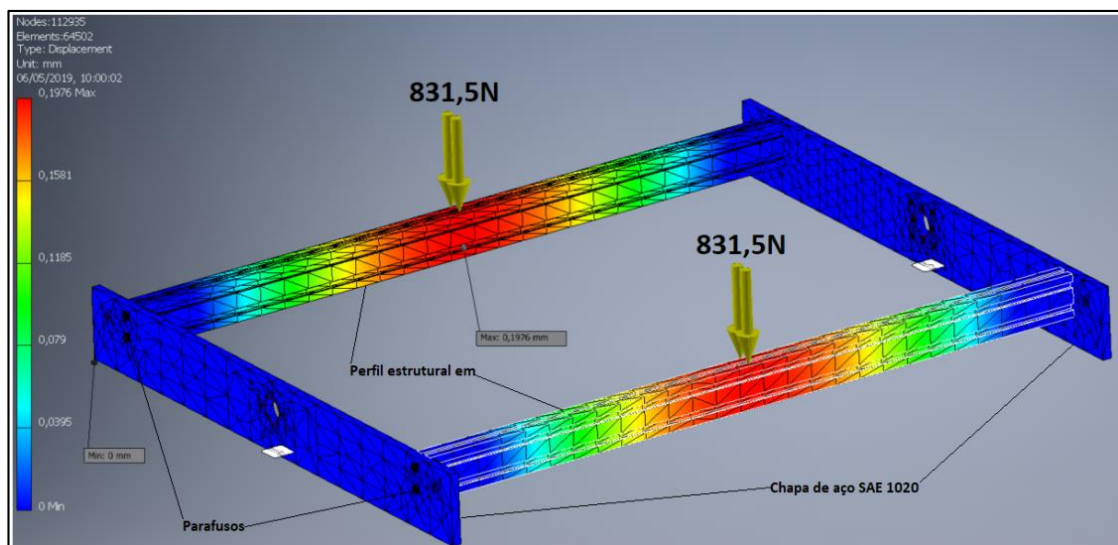


Figura 4.4 - Análise de esforço realizada no software *INVENTOR*® da estrutura de base do eixo “Y” - deslocamento
Fonte: Elaborado pelos autores.

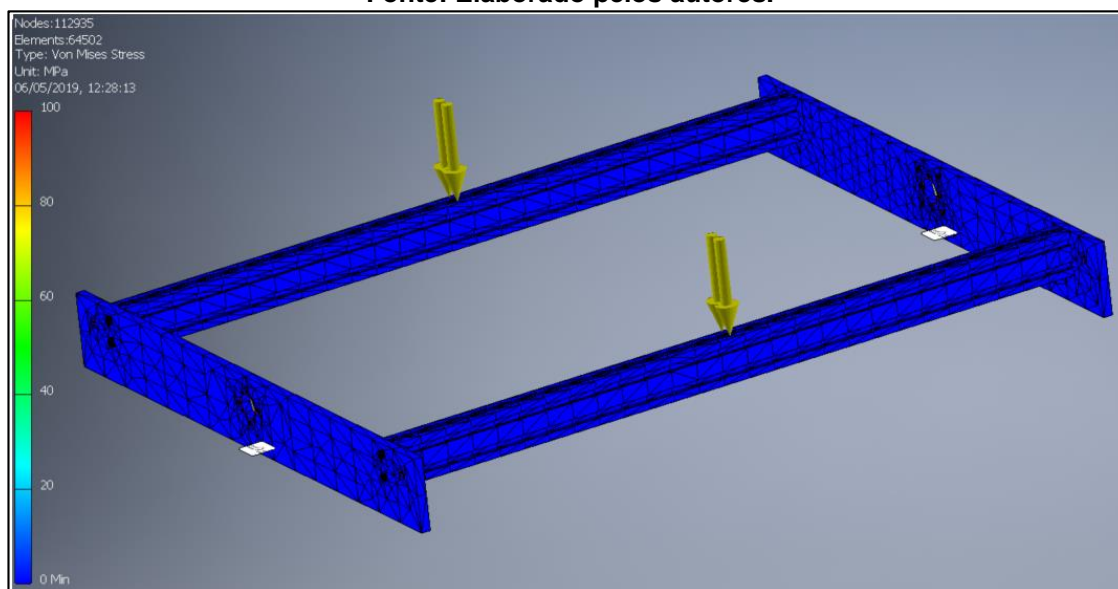


Figura 4.5 - Análise de esforço realizada no software *INVENTOR*® da estrutura de base do eixo “Y” – tensão
Fonte: Elaborado pelos autores.

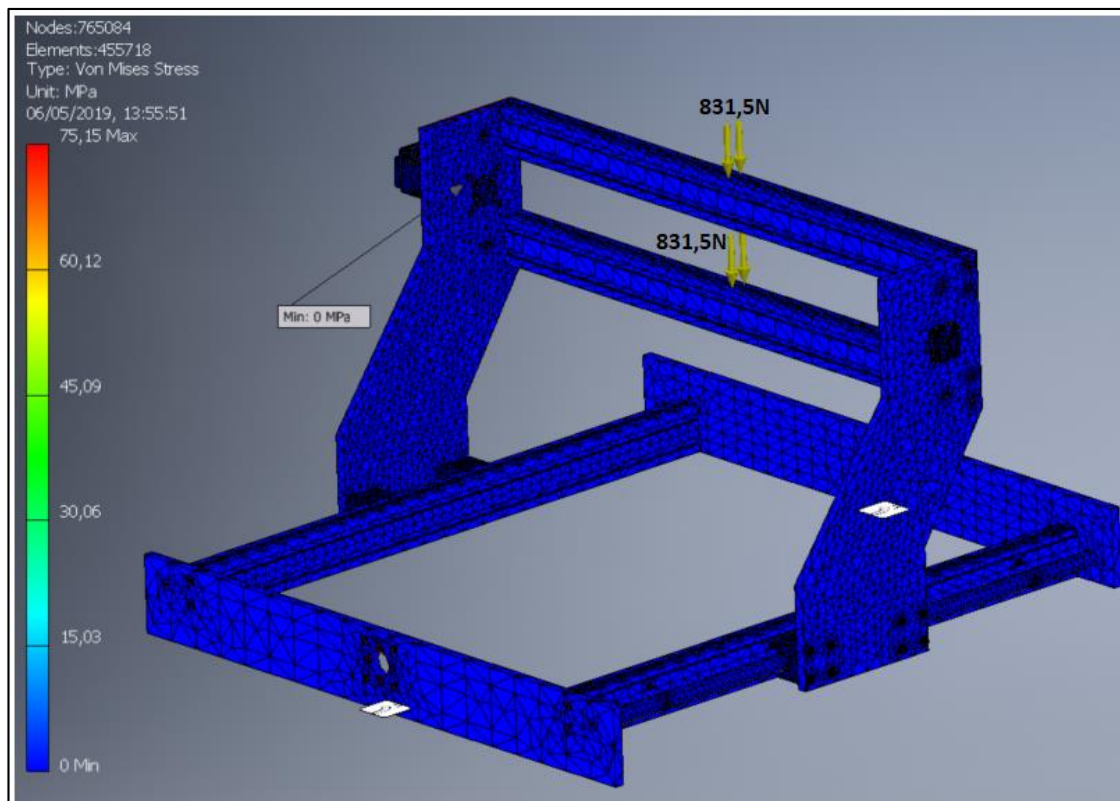


Figura 4.6 - Análise de esforço realizada no software *INVENTOR*® da estrutura de base do eixo “X” – tensão
Fonte: Elaborado pelos autores.

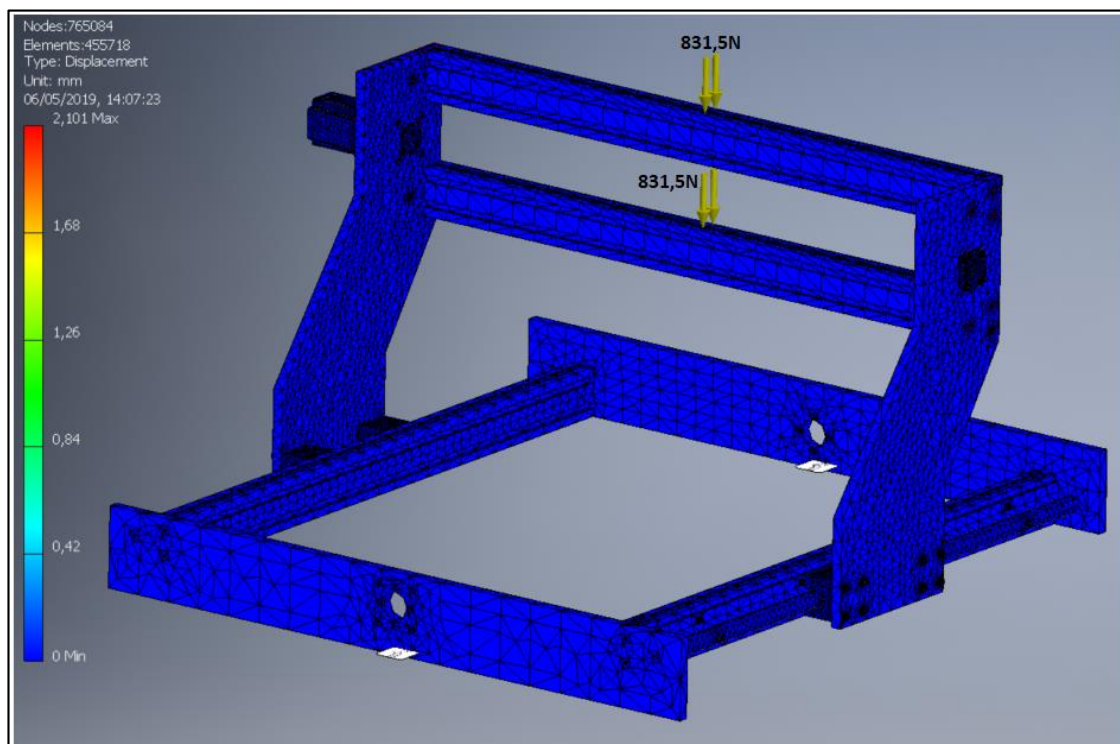


Figura 4.7 - Análise de esforço realizada no software *INVENTOR*® da estrutura de base do eixo “X” - deslocamento
Fonte: Elaborado pelos autores.

4.1.6. Guias lineares cilíndricas com *pillow block*.

Na escolha do sistema de deslizamento, optamos por utilizar guias lineares com eixos cilíndricos e sistema de rolamentos com mancais denominados *pillow block*, esses eixos são fabricados em aço carbono SAE 1045 temperado para obter dureza entre 58-60HRC e depois revestido com cromo, após cromagem os eixos são condicionados a um processo de usinagem chamado retífica que garantirá as tolerâncias geométricas e dimensionais e inclusive oferecer uma maior resistência ao desgaste por atrito que as esferas do rolamento irá causar durante o deslocamento de cada eixo que as guias irão ser instaladas. Esse tipo de guias tem um ótimo custo benefício, são guias de tolerâncias dimensionais de trabalho g6 para Ø20mm (entre 19,991~19,975) consideradas altas quando comparadas as guias lineares de patins, mas para a fresadora irá atender perfeitamente os objetivos de trabalhos que serão realizados. Pensando na escolha do diâmetro do eixo e na resistência que ele deverá resistir foram escolhidos eixos com diâmetros de 20mm e, para garantir uma fixação rígida e simples, foram escolhidos os eixos suportados por bases de alumínio que possuem furações de fixação compatíveis com os perfis em alumínio que já foram definidos para montagem da estrutura, de fácil instalação e com recursos de fixação simples, não necessitando de mão de obra especializada e nem recursos complexos com soldagem, ou seja, uma montagem simples e segura.

Foram utilizados eixos cilíndricos de Ø20mm (SBR20S) suportados por bases de alumínio no deslizamento dos 03 (três) eixos de movimentos que equipar a fresadora CNC, sendo o eixo X com comprimento dimensional de 800mm, o eixo Y com comprimento dimensional de 1000mm e o eixo Z com comprimento de 300mm, com mancais de deslizamento SBR20UU com medidas e características da guia e mancais que serão utilizados: guias padrão SBR20S, *Pillow block* SBR20UU, carga dinâmica máxima de 860N e carga estática máxima de 1370N.

Na figura 4.8 temos a guia linear cilíndrica suportada utilizada no projeto e na tabela 4.4 suas especificações técnicas.

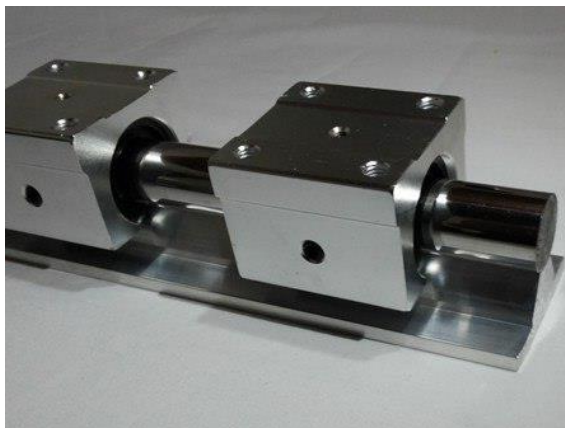


Figura 4.8 - Guia linear cilíndrica suportada
Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 4.4 - Especificações de guia linear cilíndrica suportada com base de alumínio e *pillow block*.

Linear motion ball slide units series
SBR (铝托导轨)

Model		Shaft diameter	Rated load		Weight		Size (mm)			
Unit	Blocks		C(N)	Co(N)	(kgf)	(kgf/m)	D	h	H	E
SBR12S	SBR12JU	012	500	1020	0.1	1.6	20.5	22.5	40	15
SBR16S	SBR16JU	016	770	1170	0.15	2.55	22.5	25	45	50
SBR20S	SBR20JU	020	860	1370	0.20	3.50	24	27	50	22.5
SBR25S	SBR25JU	025	980	1560	0.45	5.30	30	36	60	27.5
SBR30S	SBR30JU	030	1560	2740	0.63	7.4	35	37	70	30
SBR35S	SBR35JU	035	1660	3130	0.95	10.05	40	43	80	32.5
SBR40S	SBR40JU	040	2150	4010	1.33	13.10	45	48	90	37.5
SBR50S	SBR50JU	050	3820	7930	3.00	20.65	60	62	115	47.5

Model	Size (mm)													
	W	G	A	B	T	M	S1	J	K	S2	C	S1	P	
SBR12S	41	28	9	30	4	39	M4x16	28	26	14.0	22	M5	100	
SBR16S	45	33	9	40	5	45	M6x20	32	30	15.5	30	M5	150	
SBR20S	48	39	11	45	5	50	M6x20	35	35	15.5	30	M6	150	
SBR25S	50	47	14	55	6	65	M6x25	40	40	16.6	35	M6	200	
SBR30S	70	56	15	60	7	70	M8x30	50	50	16.6	40	M8	200	
SBR35S	80	63	18	65	8	80	M8x35	55	55	19	45	M8	200	
SBR40S	90	72	20	75	9	90	M8x40	65	65	19	55	M10	200	
SBR50S	120	90	25	90	11	110	M10x50	94	80	11	70	M10	200	

Fonte: www.banggood.com. Acesso em 11/05/19.

4.2. Transmissão de Movimento e Potência Mecânica.

Agora que já foi definida a estrutura mecânica e sistema de deslizamento, chegou a hora da definição do sistema de transmissão de movimento e potência da fresadora CNC, pensando em simplificar e obter componentes de baixo custo, foi feita a opção pelo tradicional sistema contendo mancais, fuso, acoplamento e motor. Apesar de se tratar das definições dos componentes de transmissão e força neste capítulo, a força do nosso motor foi definida no início do estudo de metodologia, foi calculada toda a estrutura transformando o torque do motor de passo NEMA23 de 15Kgf.cm em uma força linear de 1663N, portanto, adequando os demais componentes que serão usados no sistema de transmissão de deslocamento e força da fresadora CNC, sendo assim serão adotados acoplamentos flexíveis, mancais de rolamentos e fusos de esferas adequados ao motor de passo.

4.2.1. Motor de passo NEMA

Pensando em uma opção de motor que ofereça o melhor custo benefício para o projeto, optamos pelo motor de passo NEMA23 de 15Kgf.cm, conforme figura 4.9, pois o mesmo possui a possibilidade de trabalhar com base nas resoluções de micropassos, assegurando à precisão desejada nos processos de usinagem que a fresadora CNC deverá ter. Com características importantes em um projeto, os motores de passo possuem um índice de manutenção muito baixo.

Como existem características que dependem do fabricante, escolhemos o motor do fabricante AKIYAMA MOTORS – modelo AK23/15F6FN1.8 cujas características estão nas tabelas 4.5 e 4.6.



Figura 4.9 - Motor de passo Nema23
Fonte: www.wotiom.com. Acesso em 29/04/19.

Tabela 4.5 - Especificações do motor de passo AK23/15F6FN1.8 AKIYAMA

NEMA	Conexão	Holding torque (kgf.cm)	Corrente (A/fase)	Tensão (V/fase)	Resistência (Ω /fase)	Indutância (mH/fase)
23	Bipolar - série	15.0	2.1	4.2	2.0	8.0
	Unipolar	10.5	3.0	3.0	1.0	2.0

Fonte: www.wotiom.com. Acesso em 29/04/19.

Tabela 4.6 - Especificações do motor de passo AK23/15F6FN1.8 AKIYAMA

Item	Especificação
Ângulo do passo	1.8°
Nº de passos	200
Enrolamento	Espiras bifilares
Temperatura máx, de operação	80 °C
Temperatura ambiente	-10°C ~ 50°C
Resistência de isolamento	100 Ω / 500 Vdc
Rigidez dielétrica	500 Vac / 1 min.
Classe de isolamento	B
Folga máx. radial	0.03 mm - carga = 500 g
Folga máx. axial	0.03 mm - carga = 700 g
Detent torque	400 gf.cm
Inércia do rotor	370 g.cm ²
Quantidade de fios	6
Peso	0.98 Kg
Sugestão de driver compatível	AKDMP16-4.2A

Fonte: www.wotiom.com. Acesso em 29/04/19.

O esquema de ligação do motor está na figura 4.10.

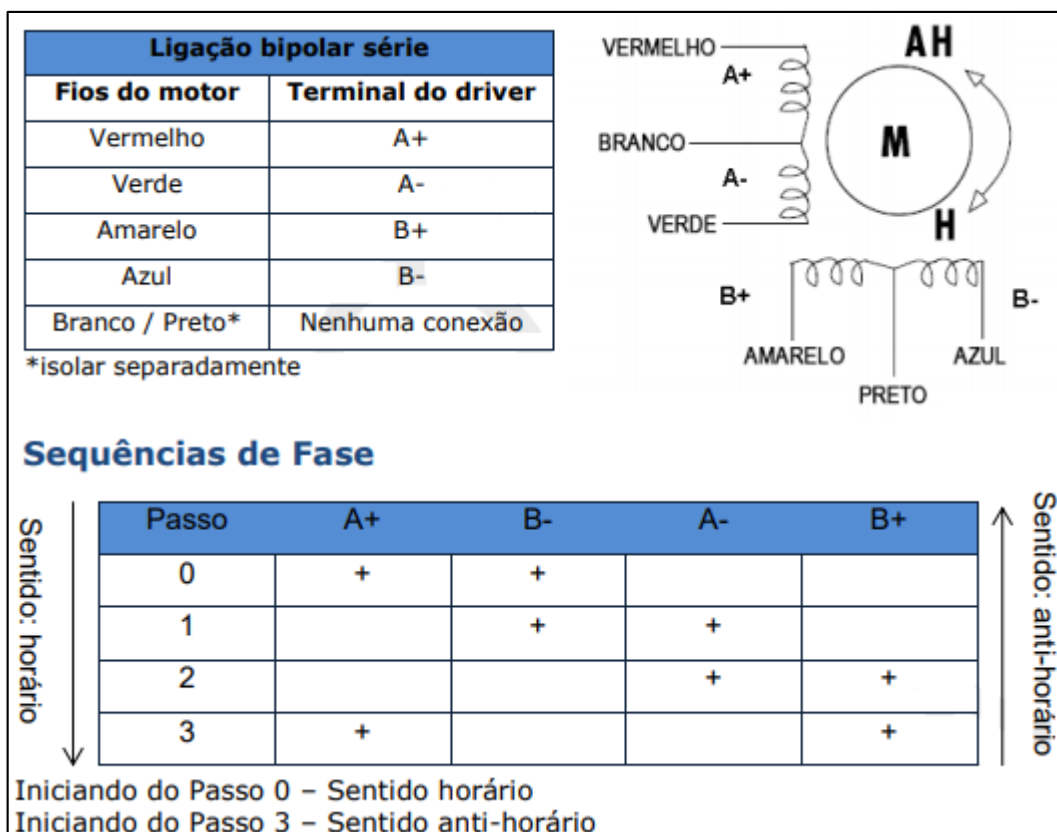


Figura 4.10 - Esquema de ligação
Fonte: www.wotiom.com. Acesso em 29/04/19.

O gráfico de desempenho do motor está na figura 4.11:

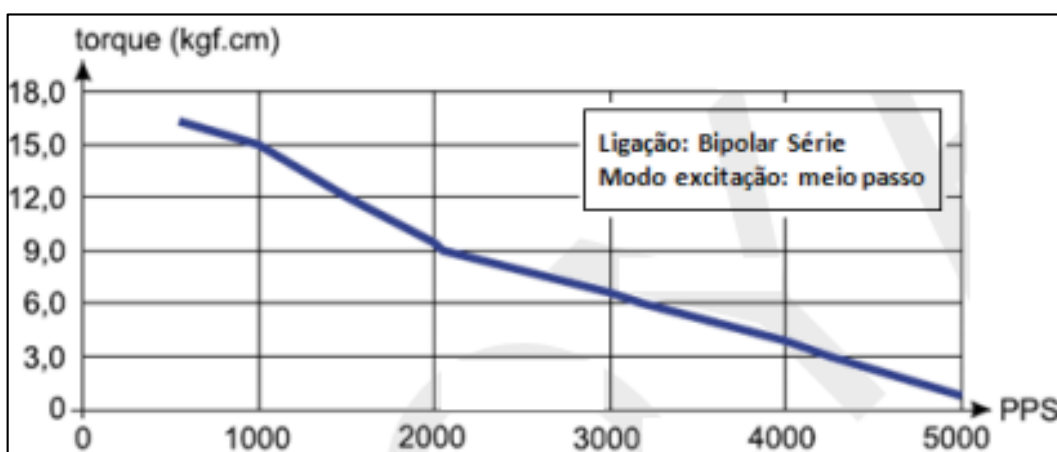


Figura 4.11 - Gráfico de desempenho
Fonte: www.wotiom.com. Acesso em 29/04/19

Na figura 4.12 temos os desenho técnico do motor:

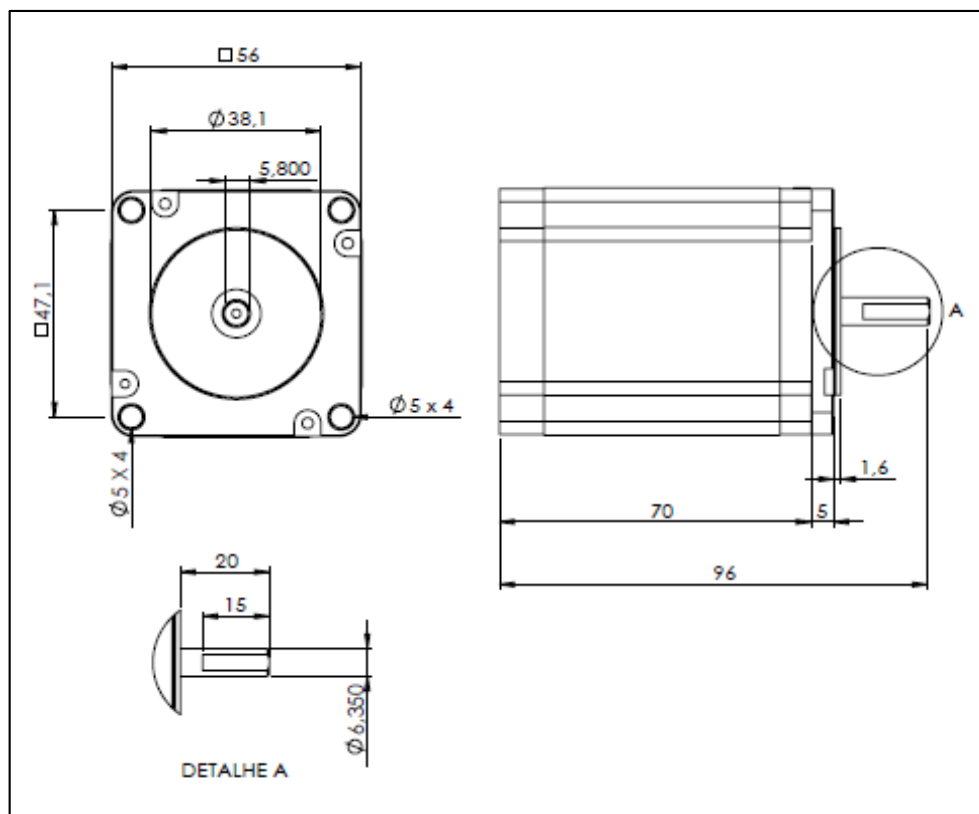


Figura 4.12 - Desenho técnico 2D do motor de passo AK23/15F6FN1.8 – AKIYAMA
Fonte: www.wotiom.com. Acesso em 29/04/19.

4.2.2. Acoplamento flexível

Para união entre o eixo de saída do motor de passo junto ao fuso, escolhemos utilizar um acoplamento flexível de baixo custo, ilustrado na figura 4.13, e com características que atendam nosso projeto, com corpo fabricado em alumínio e elemento elástico (cruzeta) fabricado em poliuretano, capaz absorver choques e vibrações causados durante operação da fresadora, o acoplamento flexível também compensa o desalinhamento radial e axial normalmente inevitáveis. Porém, o mais relevante além das dimensões geométricas adequadas para os componentes que o acoplamento irá unir, é sua capacidade de resistir o esforço de torque que o motor irá transmitir, portanto foi escolhido um acoplamento cujo as dimensões e materiais de fabricação resistirá a um torque máximo de 1.3N.m (13,25Kgf.cm), esse torque foi escolhido devido a ser inferior a capacidade de torque máximo alcançado pelo motor de passo que será utilizado de 15Kgf.cm, isso fará com que o acoplamento funcione como um fusível, evitando que o motor chegue ao seu limite e possa danificá-lo.

Lembrando que o custo do motor de passo é superior em relação ao custo de um acoplamento flexível para o mesmo projeto.



Figura 4.13 - Acoplamento flexível em alumínio e poliuretano
 Fonte: www.pt.dhgate.com. Acesso em 11/05/19.

Na figura 4.14 está o desenho e dimensões do acoplamento flexível.

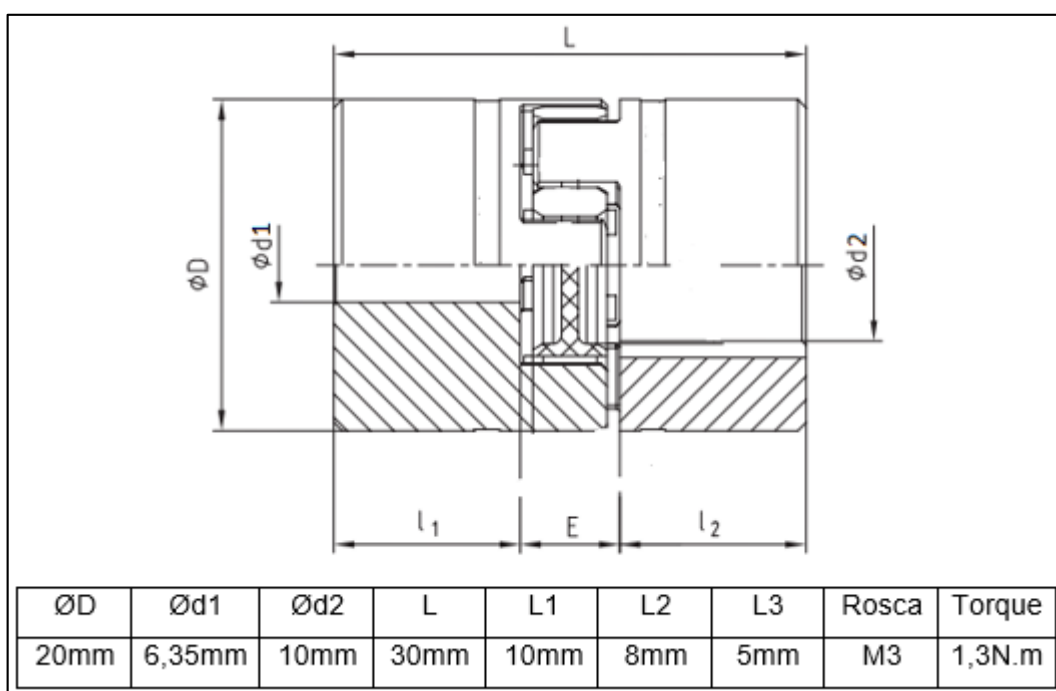


Figura 4.14 - Desenho e dimensões do acoplamento flexível
 Fonte: www.pt.dhgate.com. Acesso em 11/05/19.

4.2.3. Fuso de esfera recirculante e castanha

Para a seleção do fuso que será utilizado na fresadora CNC, é necessário analisar o catálogo do fabricante e escolher um fuso capaz de transferir o torque máximo que o motor de passo de 15Kgf.cm é capaz de produzir linearmente, sendo este de 1663N e diante disso, deve ser utilizado um fuso de esfera recirculante, devido a sua precisão de movimento e posicionamento, o qual de acordo com o fabricante, o torque dinâmico de um fuso de esfera é elevado e superior a necessidade da fresadora, fazendo com que o fuso SFU1605 C7 que tem o $\varnothing 16\text{mm}$ com passo de 5mm e castanha simples SFU01605-4 o qual possibilita um *upgrade* futuramente se torne a melhor opção. Como temos que pensar nos mancais a serem utilizados para apoio do fuso de esfera, definimos a utilização dos mancais BK12 e BF12 para o fuso de 300mm que será utilizado na movimentação do eixo Z e FK12 e FF12 para o fuso de 800mm e 1000mm que serão utilizados nos sentidos X e Y e assim se faz necessário a usinagem das extremidades do fuso dentro dos padrões solicitados para utilização dos mancais e do acoplamento.

Segue abaixo o detalhamento de todas as medidas e características do fuso SFU1605, castanha SFU01605-4 e medidas das extremidades. Na figura 4.15 temos o desenho de usinagem para padrões BK12, BF12, FK12 e FF12.

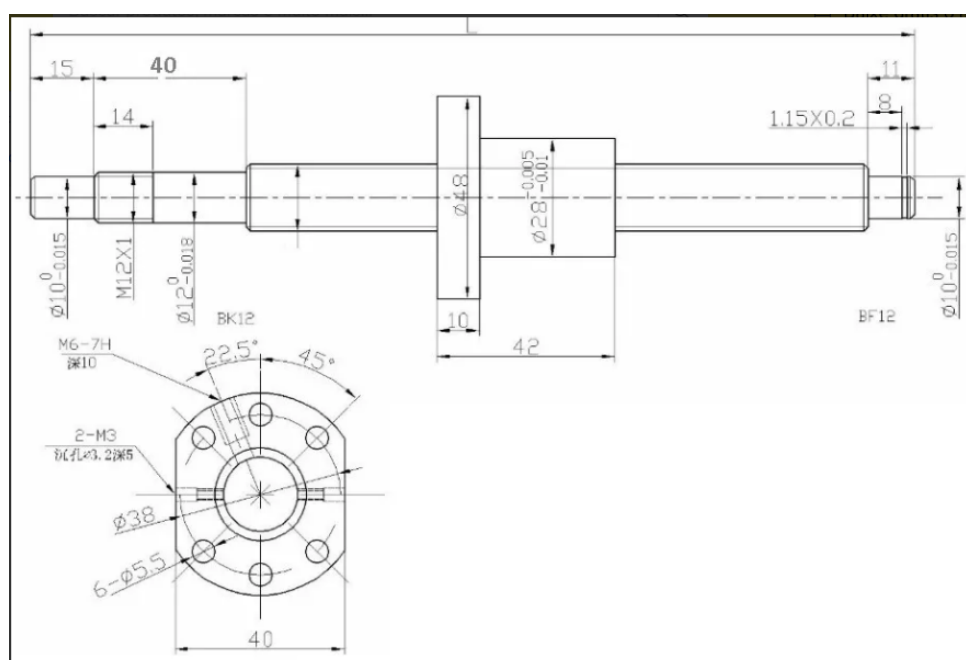


Figura 4.15 - Desenho de usinagem para padrões BK12, BF12, FK12 e FF12.

Fonte: www.kalatec.com.br. Acesso em 12/05/19.

Na figura 4.16 temos o desenho da castanha SFU01605-4:

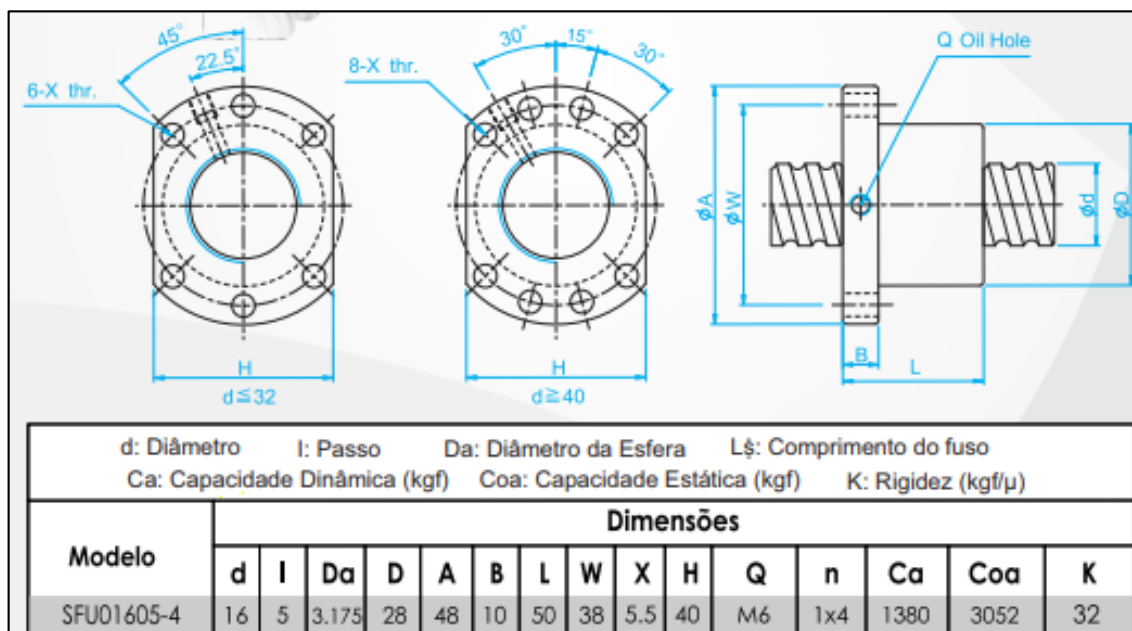


Figura 4.16 - Desenho da castanha SFU01605-4

Fonte: www.kalatec.com.br. Acesso em 12/05/19.

4.2.4. Mancais de rolamento aplicados em fuso de esfera

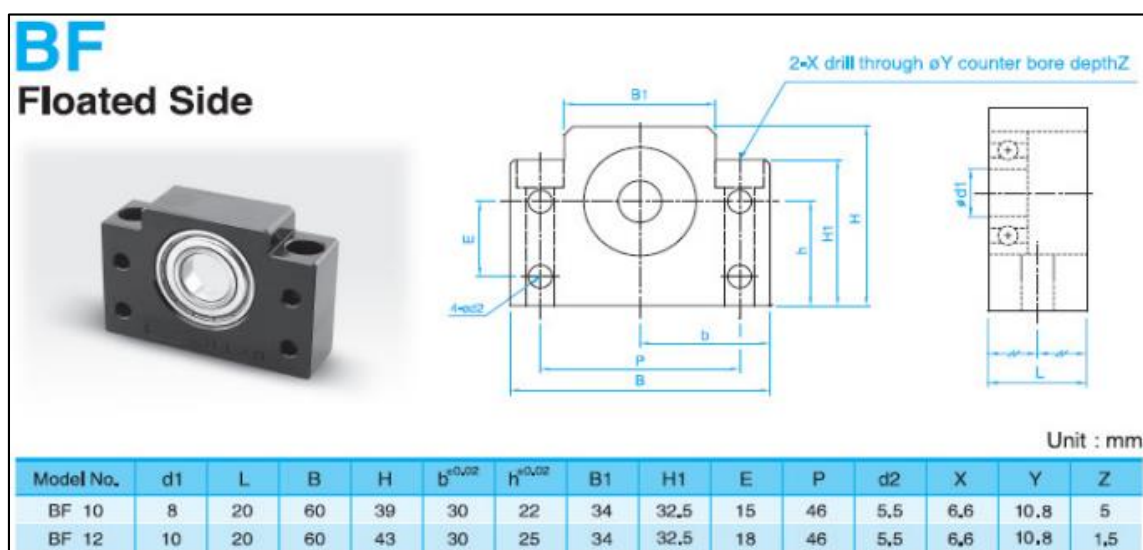
Concluindo o sistema de transmissão de movimento e potência da fresadora CNC, deve ser utilizado os mancais para fuso de esferas BK12 e BF12 para movimento do eixo Z, já para o movimento dos eixos X e Y deve-se utilizar os mancais FK12 e FF12. Os dois conjuntos de mancais utilizam os mesmos modelos de rolamentos, dimensões e formas de fixações, o que difere um do outro é a forma de fixação na estrutura da fresadora CNC, enquanto o BK12 e BF12 serão fixados base paralela ao eixo, o FK12 e FF12, ilustrados na figura 4.17, que serão instalados perpendicularmente ao eixo.

Responsáveis por garantir o apoio, alinhamento e estabilidade do sistema de movimentação e potência do projeto, os mancais adotados garantem a precisão dos fusos de esferas, por ter uma ótima fixação e possuir rolamentos que resistem aos esforços radiais e axiais; é a melhor opção custo benefício para o projeto. As dimensões foram determinadas com base nas medidas dos eixos escolhidos e necessidades para o projeto, conforme tabelas 4.7, 4.8, 4.9 e 4.10.



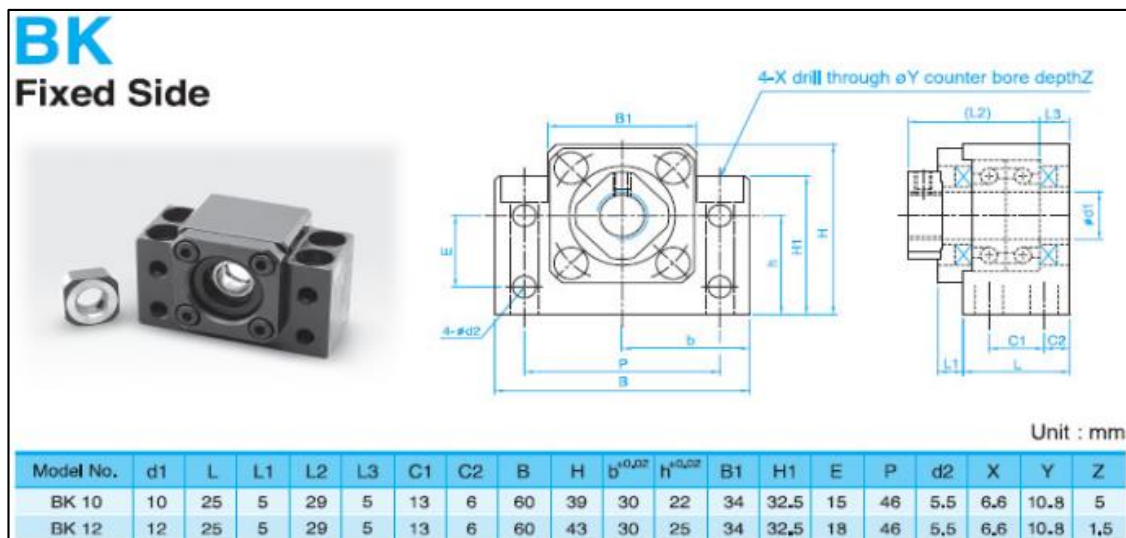
Figura 4.17 - Mancais BK12 e BF12
 Fonte: www.kalatec.com.br. Acesso em 12/05/19.

Tabela 4.7 - Dimensões do mancal BF12



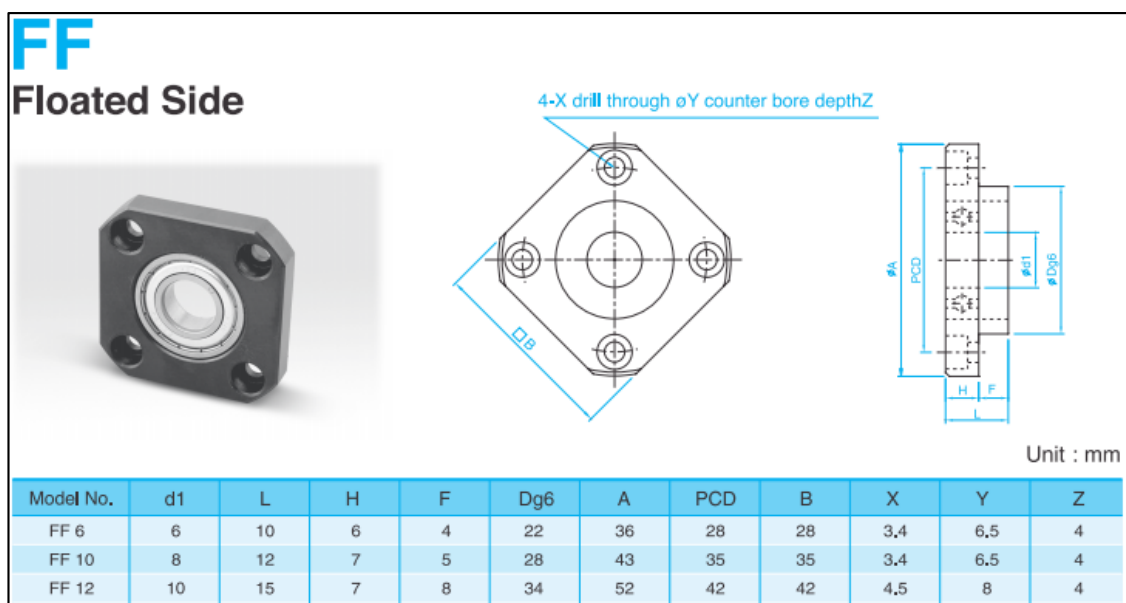
Fonte: www.kalatec.com.br. Acesso em 12/05/19.

Tabela 4.8 - Dimensões do mancal BK12



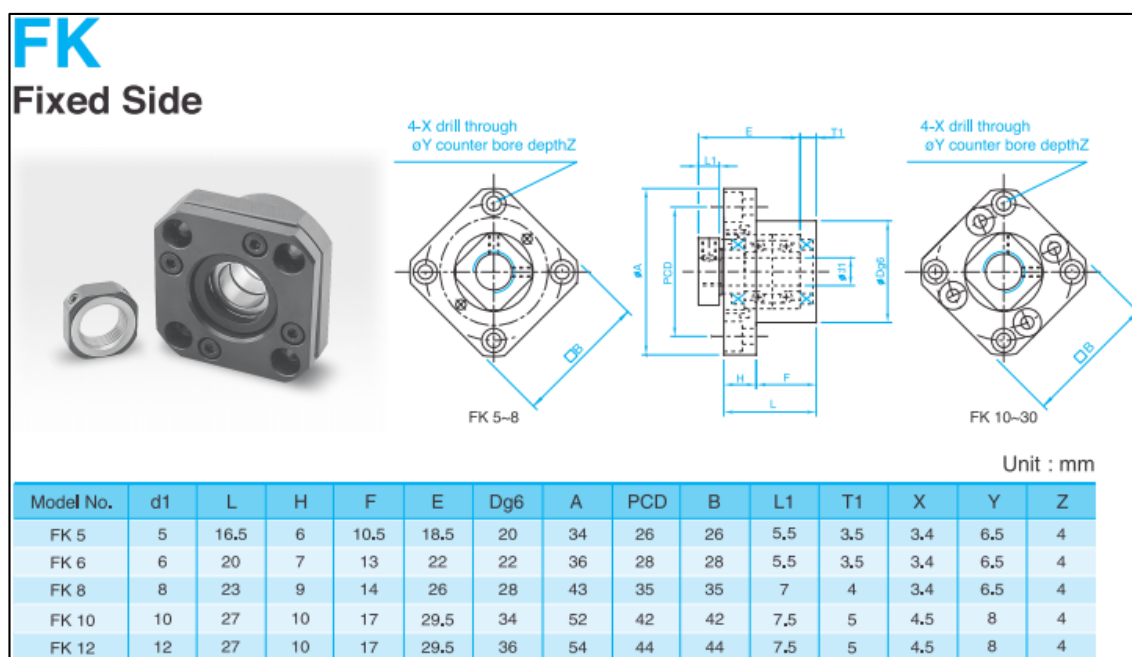
Fonte: www.kalatec.com.br. Acesso em 12/05/19.

Tabela 4.9 - Dimensões do mancal FF12



Fonte: www.kalatec.com.br. Acesso em 12/05/19.

Tabela 4.10 - Dimensões do mancal FK12



Fonte: www.kalatec.com.br. Acesso em 12/05/19.

Após a descrição de todos os componentes do sistema de transmissão de movimento e potência da fresadora CNC, é importante ressaltar uma informação muito importante para o funcionamento e precisão no processo de usinagem. Trata-se da resolução da máquina, relacionada a três características dos componentes de transmissão, a resolução da máquina é o menor deslocamento possível de um eixo, podendo ser calculada utilizando dados técnicos como o passo do fuso de esferas, relação de transmissão de potência e resolução do motor de passo.

O valor a ser calculado é válido para os três eixos da fresadora CNC, levando em consideração que todos os itens têm as mesmas características e valores iguais. Para isso, utiliza-se a equação 3.2.

$$RE = \frac{PF \cdot RT}{QPM}$$

Equação 4.2 - Cálculo da resolução da máquina

Onde:

RE = Resolução do eixo em milímetros;

PF = Passo do fuso é dado em milímetros;

RT = Relação da transmissão de potência;

QPM = Número de passos do motor para uma rotação exata do motor.

Tendo como: PF = 5mm; RT = 1; QPM = 200, temos:

$$RE = \frac{5 \cdot 1}{200} = 0,025mm$$

4.3. Eletrônica (Placa de *Interface* e Driver de Acionamento)

Como o curso é focado na mecânica foram adotados componentes eletrônicos existentes no mercado, mas nem por isso deve-se deixar de estudar e avaliar os recursos eletrônicos oferecidos. É preciso analisar todas as características dos componentes eletrônicos de forma que os mesmos sejam adequados com os componentes mecânicos e elétricos da fresadora. O *hardware* adotado para controle da máquina foi a placa de *interface* RNR R08 100kHz, essa placa possui conexão via *USB* para utilização com o *software* MACH3®, aliás o *software* MACH3® será o controle numérico adotado ao computador como um controlador de máquina CNC.

3.3.1. Placa de *interface*

Como descrito anteriormente, a placa de *interface* será a RNR R08 100kHz, por possuir características que atende o projeto, essa placa irá proporcionar a comunicação entre o *software* de controle MACH3® e os *drivers* TB6600 de 4A que levará até os motores de passos os sinais gerados pelo *software* de controle numérico, sinais denominados códigos G ou G-code. As características da placa de *interface* que está detalhada abaixo, possui recursos que atendem o projeto atual e permite uma melhoria no funcionamento da fresadora e principalmente na parte operacional do equipamento.

Especificações da placa de *interface* RNR R08 100kHz ilustrada na figura 4.18:

- Suporte para 4-eixos de ligação, onde só utilizaremos três unidades de acionadora dos motores de passo.
- Máximo passo-*pulse* frequência de 100 kHz, que é ideal para o motor de passo;
- Suporte ferramenta sonda automática

- Suporte entrada de emergência
- Suporte do interruptor de limite.
- Suporte para conexão volante eletrônico.
- Necessário adotar 24 v DC fonte de alimentação externa para proteger e isolar *USB* e porta externa, e para proporcionar o sistema estável.
 - 0-10 v na porta de saída, podendo utilizar o *software MACH3®* para regular a velocidade de rotação do motor *spindle*.
 - 4 *general-purpose* entradas, que podemos ligar no interruptor de limite, *switch*, interruptor de *stop* sonda, de volta a zero e outro dispositivo.
 - 4 *general-purpose* relé isolando a *interface* de saída do conversor, podendo dirigir quatro relés que controlam o eixo inicial, frente rotação e rotação reversa, bombas e outros dispositivos.
 - 1 LED de *status*, que indicam o *status* da na placa.
 - Tamanho: 8cm x7.7cm / 3.15" x 3.03"

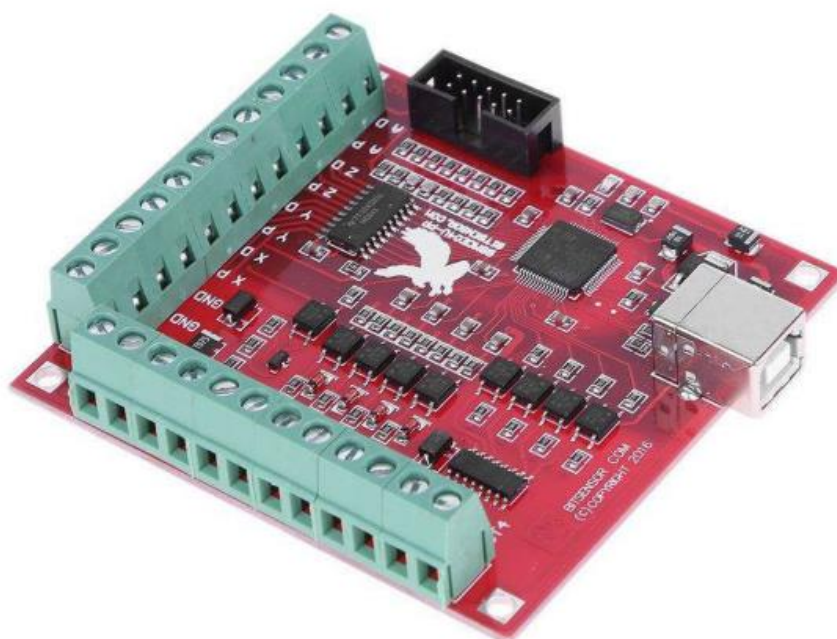


Figura 4.18 - Placa de *interface* RNR R08
 Fonte: www.smartprojectsbrasil.com.br. Acesso em 12/05/19.

Suas ligações entre os componentes eletrônicos e a placa de *interface* são simples e claras, podendo ser entendido claramente nos esquemas de ligações que veremos a seguir nas figuras 4.19 e 4.20.

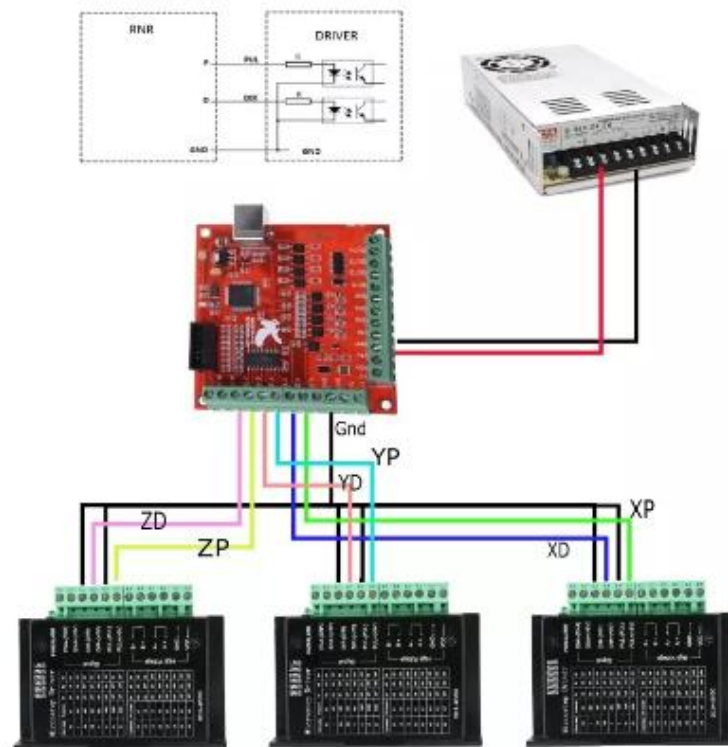


Figura 4.19 - Ligação entre placa de *interface*, *drivers* e fonte de alimentação
 Fonte: www.smartprojectsbrasil.com.br. Acesso em 12/05/19.

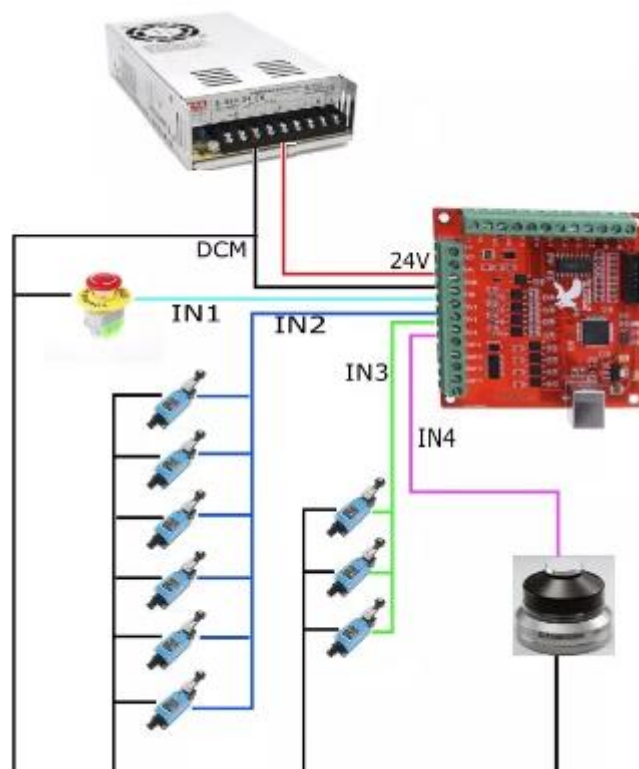


Figura 4.20 - Ligações entre placa de *interface*, sensores fim de curso, botão de emergência e *probe*.

Fonte: www.smartprojectsbrasil.com.br. Acesso em 12/05/19.

3.3.2 Driver de acionamento

O *driver* de acionamento utilizado é o TB6600 de 4 amperes, ilustrado na figura 4.21, ideal na utilização com os motores de passos NEMA 23 de Kgf.cm que exige uma corrente para o torque máximo de 15 kgf.cm de 3 amperes, permite de forma segura uma ligação com tensão de entrada de 24V que é a fonte de alimentação com uma corrente de saída de 3 amperes necessária para no motor de passo, existe um circuito integrado com alto desempenho fabricado pela Toshiba, garantindo uma alta eficiência com baixa vibração. Além disso é uma ótima relação custo x benefício. Com chaves seletoras que permitem de forma fácil e segura a adequação de trabalho de acordo com os outros componentes e necessidades do projeto.



Figura 4.21 - Driver TB6600 4^a
 Fonte: www.eletrogate.com. Acesso em 12/05/19.

Especificações:

- Tensão de Entrada: até 40V;
- ON (superior + inferior) = 0,4 Ω ;
- Controle de rotação para a frente e para trás;
- 5 tipos de sub-modos selecionáveis (1/1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16 de passo);
- Corrente saída: IOU = 5.0A;
- Potência nominal: IOU = 4,5 A;

- Resistor de entrada *pull-down*: 100 K Ω ;
- Dimensões (CxL): 96mm x 56mm.

4.4. Projeto Elétrico (Painel de Comando e Fonte de Alimentação)

Após análise e estudo de vários projetos elétricos instalados em fresadoras CNC, percebe-se que a maioria dos projetos existentes são simples e de fácil instalação. E para este projeto elétrico optou-se em otimizar os recursos e simplificar ainda mais o projeto, alimentando a placa de *interface* através do computador que será utilizado como controlador através da entrada *USB*, assim só será utilizado uma fonte de alimentação para os drivers.

4.4.1. Painel de comando

Para o painel de comando é utilizado uma caixa metálica com dimensões 40cm x 30cm x 20cm, características importantes para o projeto, a mesma deve possuir borracha de vedação no fechamento da porta de acesso que impede a entrada de partículas gerada no processo de usinagem, com grau de proteção IP54 que permite uma instalação segura contra intempéries, nela será instalado na parte interna os *drivers*, placa de *interface*, fonte de alimentação 24V 15A e um disjuntor de 110V 20A para proteção do circuito. Na parte externa da caixa será instalado as conexões, chaves acionadoras e lâmpadas indicadoras, conforme está na figura 4.22.

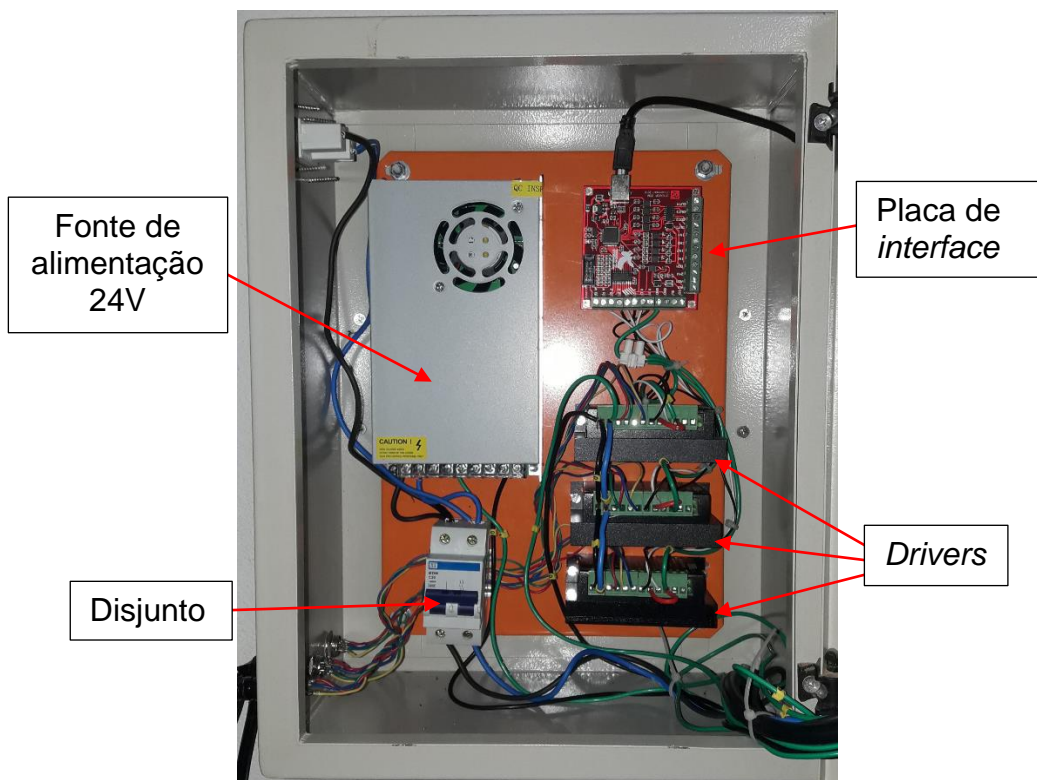


Figura 4.22 - Painel de comando (parte interna)
 Fonte: Elaborado pelos autores

4.4.2. Fonte 24V – motores

Após os cálculos da corrente do circuito que é composta por 03 (três) motores de 3A, seria o correto escolher uma fonte de 10A para alimentar o circuito, ilustrada na figura 4.23, porém pensando em melhorias no projeto com a instalação de um quarto eixo, deve-se alimentar o circuito com uma fonte de tensão de entrada bivolt (110/220V) e tensão de saída de 24V com capacidade de corrente 15A e potência de até 360W. Como mostra outras características mencionadas abaixo, se tornando a escolha ideal para o projeto.

Especificações:

- Entrada 127 Vac e 220 Vac BIVOLT
- Tensão de saída: 24V.
- Corrente: máximo 15^a.
- Potência: 360W
- Proteção para se evitar curto circuito e sobrecarga na saída
- Proteção para se evitar aquecimento
- Frequência de operação de 47 a 64 Hz

- Saída de tensão estabilizada
- Filtros EMI e EFI
- Filtros para intervir a interferência no SOM e IMAGEM



Figura 4.23 - Fonte de alimentação 24V
Fonte: www.fontek.com.br. Acesso em 17/05/19.

4.4.1.2. Chave geral, chave acionadora, luz indicadora e conexões

Na parte externa frontal da caixa de painel de comando é instalado uma chave geral seccionadora de 110V que é responsável por acionar ou interromper o circuito elétrico, em conjunto com uma luz indicadora de cor vermelha que informa quando o painel está energizado. Pensando em uma proteção extra para o circuito, é instalado uma chave acionadora com uma luz indicadora de cor verde para alimentação elétrica dos *drivers* instalados dentro do painel.

Na parte externa do painel, a 01 (um) botão de emergência, 01 (um) conector de 110V que alimenta a tupa e 03 (três) conectores de 04 pinos para ligação dos motores de passo conforme mostrado nas figuras 4.24 e 4.25.

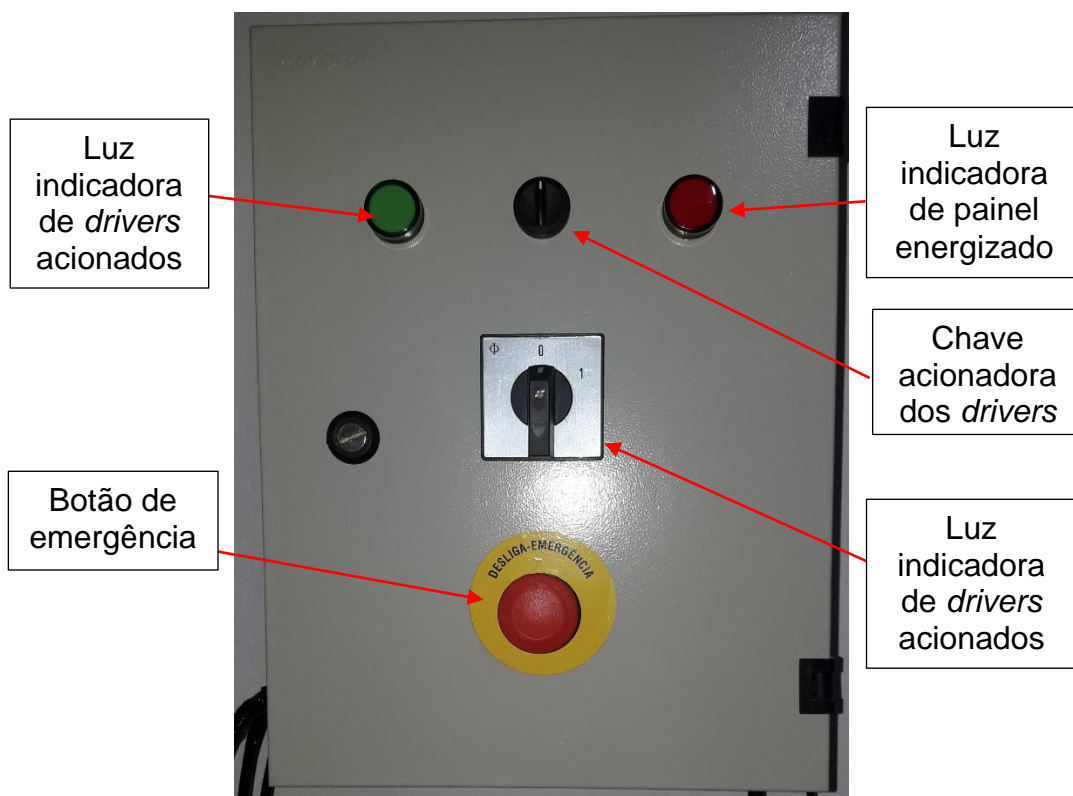


Figura 4.24 - Painel de comando (parte externa)
Fonte: Elaborado pelos autores.

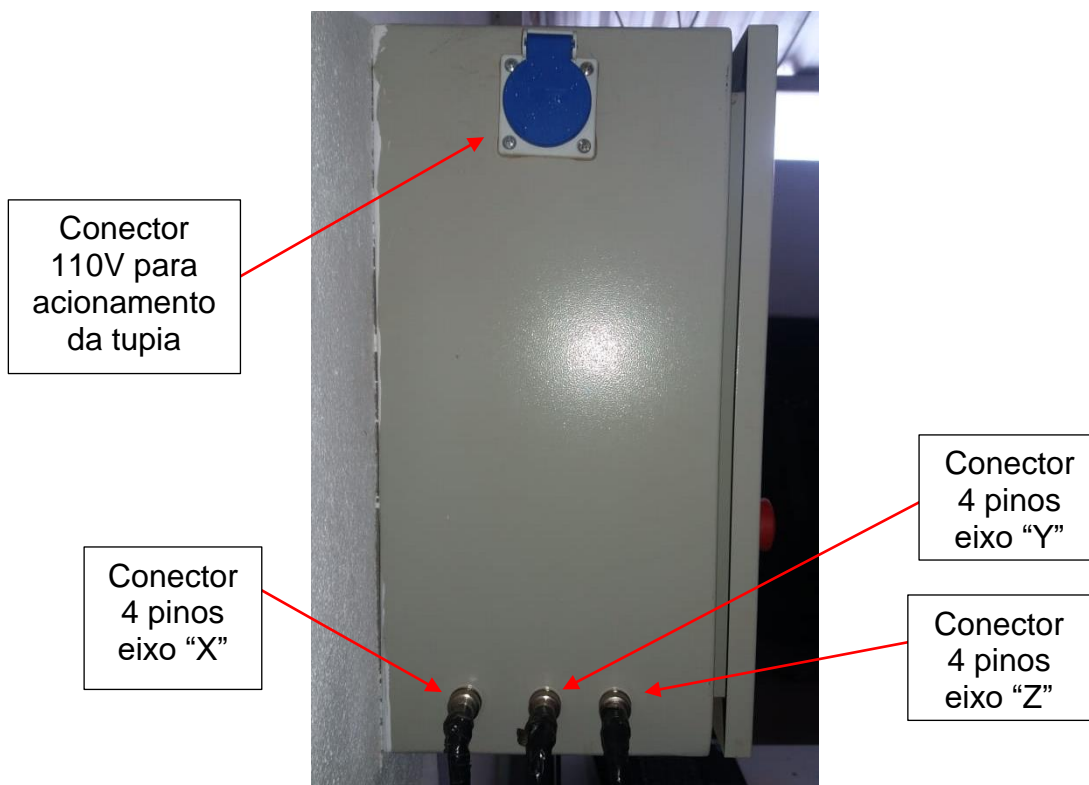


Figura 4.25 - Caixa de comando (conexões)
Fonte: Elaborado pelos autores.

4.5. Informática (Software de Controle e Software de CAD/CAM)

Agora que a máquina está definida e pronta para ser construída, é hora de pensar nos procedimentos de controle da mesma. Como citamos anteriormente, não será produzido ou criado nenhum recurso de *software*, então deve-se utilizar uns dos *softwares* mais utilizado no mundo para controle de máquinas CNC *Routers*. Produzido pela empresa Artsoft® e disponibilizado em versão de avaliação, o *MACH3*® versão 3.043.066 possui características que atende todos os requisitos dos recursos que será utilizado, capaz de interpretar os códigos gerados pelo *software* *ARTCAM*® 2018 que será utilizado para programação CNC e converter em sinais digitais para a placa de *interface* RNR R08 que controlará os motores.

3.5.1 Software de controle *MACH3*® versão 3.043.066

Para instalação e configurações do *software* *MACH3*® deve-se seguir as orientações dispostas no manual de instalação, disponibilizado no site do fabricante, como estamos descrevendo o projeto e construção de uma fresadora CNC, será utilizado somente o modulo *MACH3*® Mill e seguir rigorosamente os passos informados pelo manual do fabricante.

Inicia-se o controle com a instalação do *software* *MACH3*® em um computador compatível com o recomendado pelo fabricante, seguiremos os passos seguintes conforme demonstrados abaixo.

Após instalação do *hardware* da placa de *interface* e abrirmos o programa *MACH3*® Mill em um computador, deve-se selecionar e confirmar qual dispositivo de controle será utilizado, conforme figura 4.26.

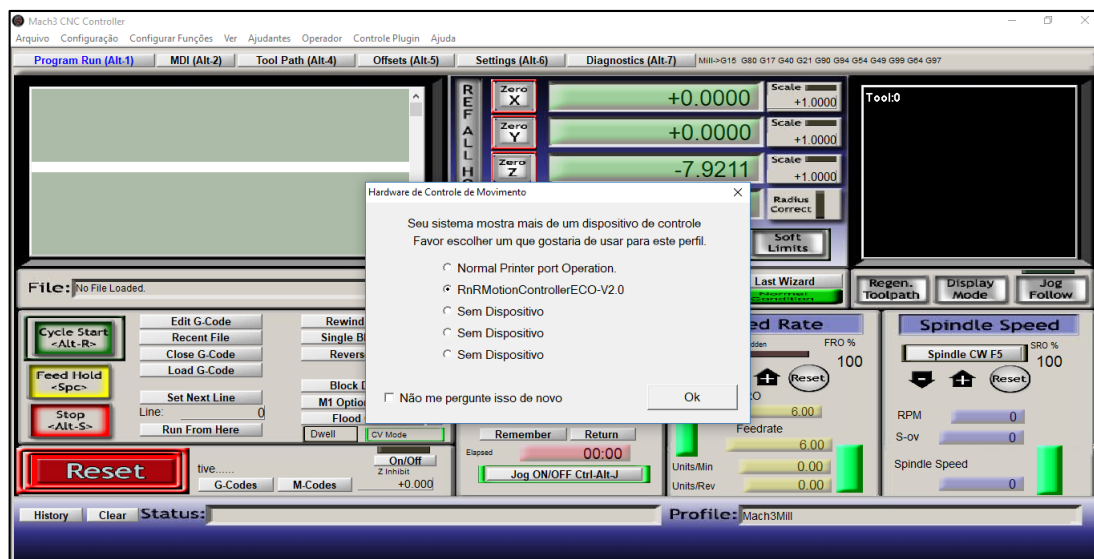


Figura 4.26 - Tela de seleção do dispositivo de controle
Fonte: Elaborado pelos autores.

Após confirmação do *hardware* de controle de movimento da fresadora, teremos a disposição a tela inicial do *MACH3®* com todos os recursos para controle e configurações de ajustes dos movimentos conforme figura 4.27.

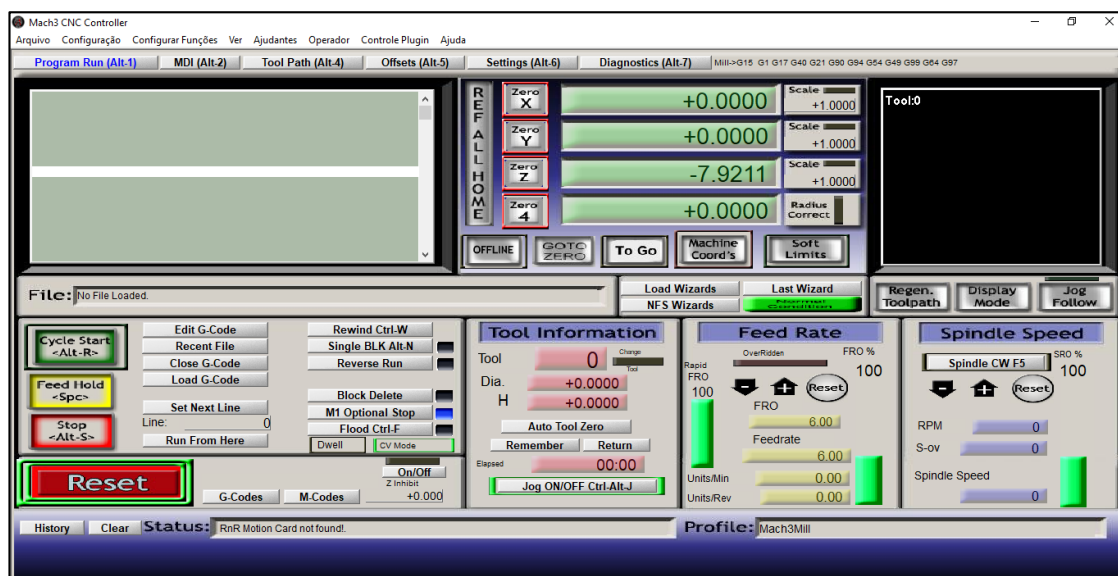


Figura 4.27 - Tela de interface principal do *MACH3®*
Fonte: Elaborado pelos autores.

E assim iniciamos abrindo a aba configurações e escolhendo a opção portas e pinos, onde deve ser configurada a velocidade do *kemel*, habilitar a porta de conexão dos eixos sinais de entrada e saída e saída do motor conforme figura 4.28.

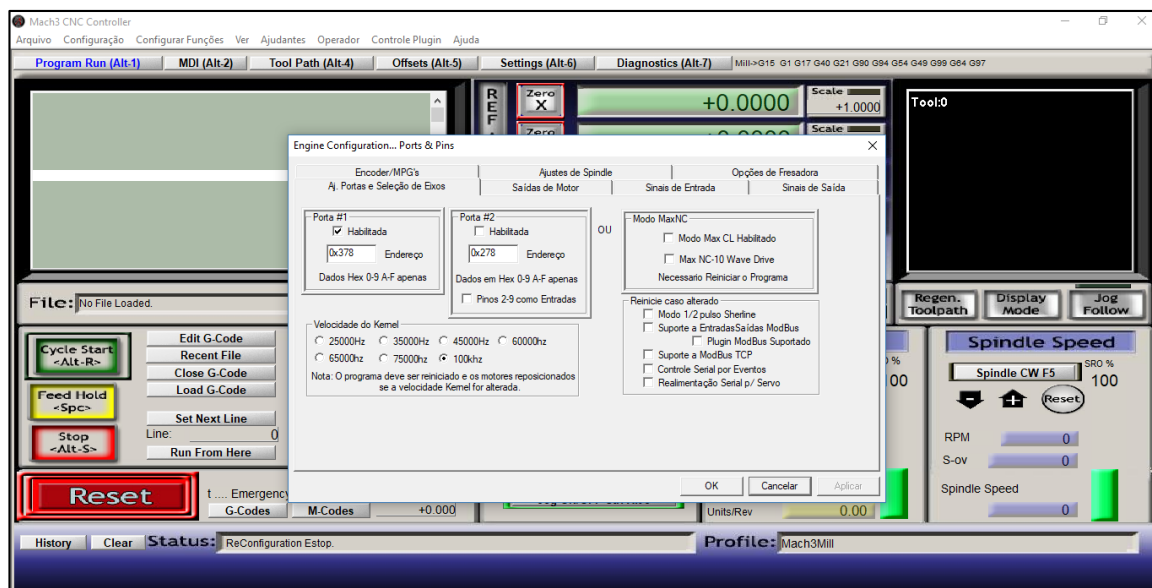


Figura 4.28 - Tela de ajuste de portas e seleção de eixos
Fonte: Elaborado pelos autores.

Para a tela de ajustes de sinais de entrada e saída deve ser consultada as informações da placa de *interface* e assim configurar a mesma conforme figura 4.29.

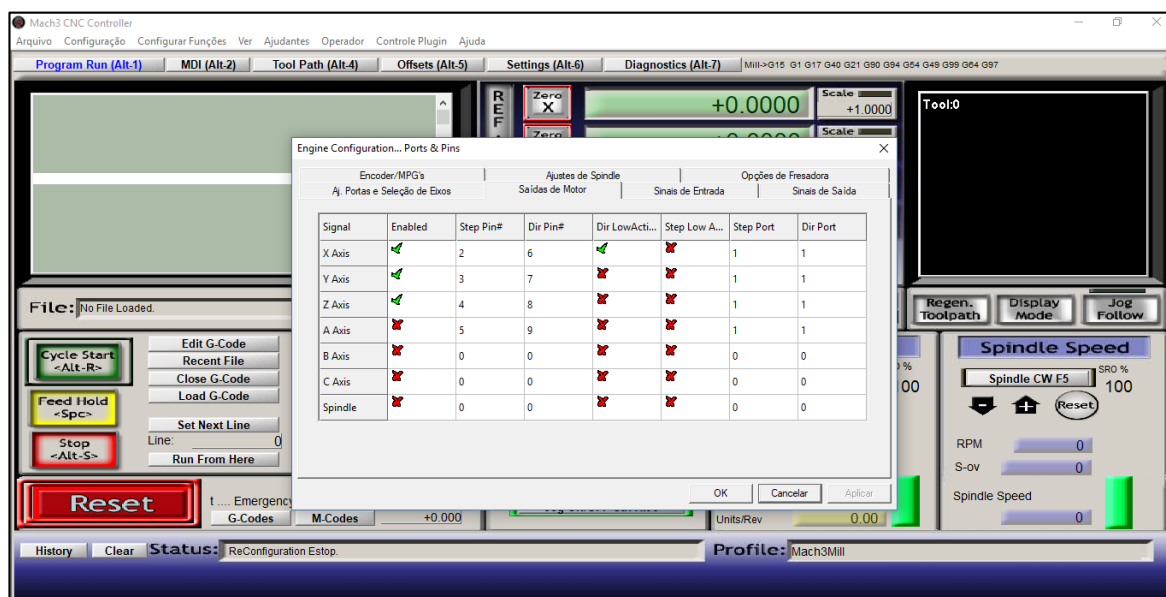


Figura 4.29- Tela de configuração sinais de entrada e saída
Fonte: Elaborado pelos autores.

Uma das telas mais importantes para os autores do projeto é a tela de configurações de origem e limites lógicos, conforme figura 4.30, e como até o presente momento não foi será instalado limites fim de curso físicos, é de extrema importância a configuração lógica para assegurar que não haja colisão durante os movimentos dos eixos. Sendo assim, é necessário adotar pontos de origens que é conhecido como

ponto zero e limitadores de curso de acordo com a distância de deslocamento disponível da fresadora.

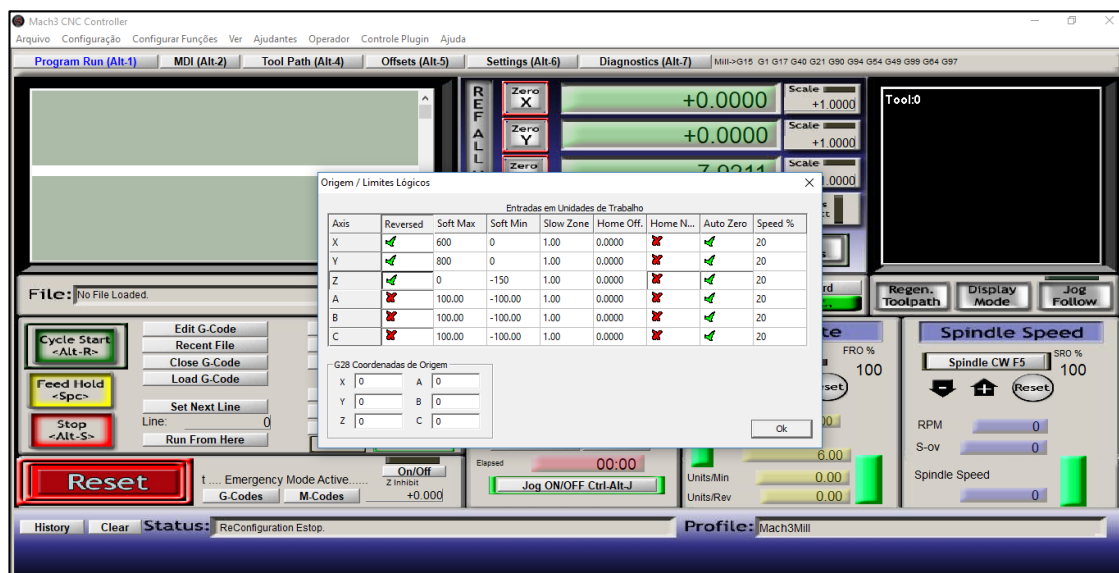


Figura 4.30 -Tela de ajuste de origem e limites lógicos
Fonte: Elaborado pelos autores.

Para ajustar o controle dos motores será preciso verificar informações fornecidas pelo fabricante dos motores, passo dos fusos e assim realizar os cálculos com os valores encontrados e assim, configurar os motores.

Os valores recomendados para tais ajustes são:

- Steps per MM: 320
- Velocidade pleg. ou mm/min: 1000
- Aceleração pleg. ou mm/min: 40
- G,s: 0,04
- Passo 1-5 us: 0
- Direção 1-5 us: 0

Na figura 4.31 está a tela de configuração de ajuste de motores.

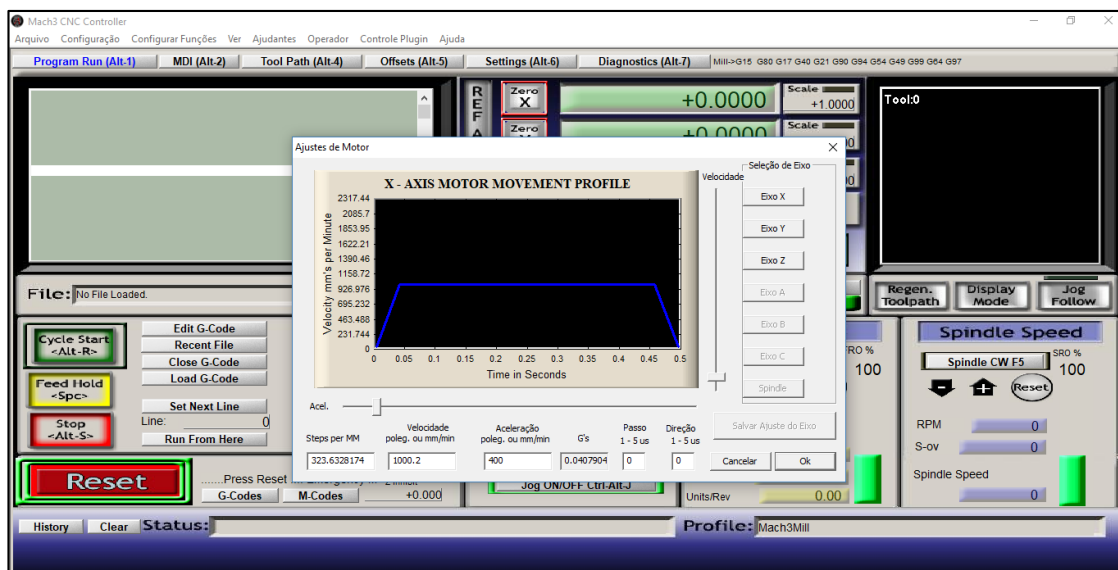


Figura 4.31 - Tela de configuração de ajuste de motores
Fonte: Elaborado pelos autores.

Essa configuração inicial será necessária para obter deslocamentos próximos aos desejados. Agora de posse do recurso do *software MACH3®* que fará de forma precisa as configurações necessárias através dos recursos da aba *Settings Alt6* e seguindo os passos abaixo, conforme a figura 4.32.

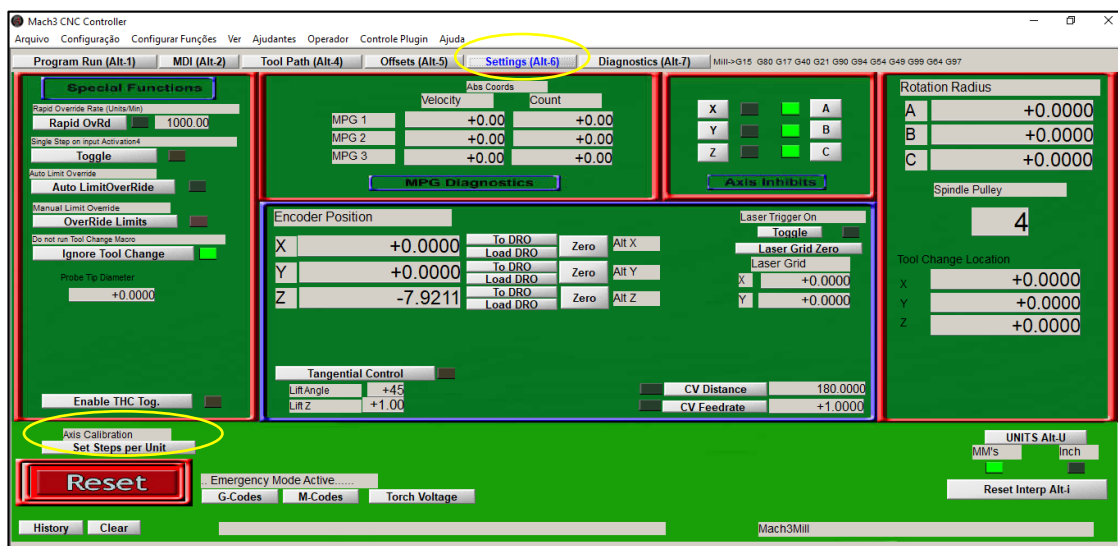


Figura 4.32 - Tela de *settings Alt6* para ajuste de precisão dos eixos
Fonte: Elaborado pelos autores.

Ao clicar na opção “*Set step per unit*” abrirá uma tela de seleção do eixo que se quer ajustar, selecionando o eixo e ao abrir uma tela solicitando o deslocamento desejado a tela de *settings* com opção de seleção de eixo está na figura 4.33.

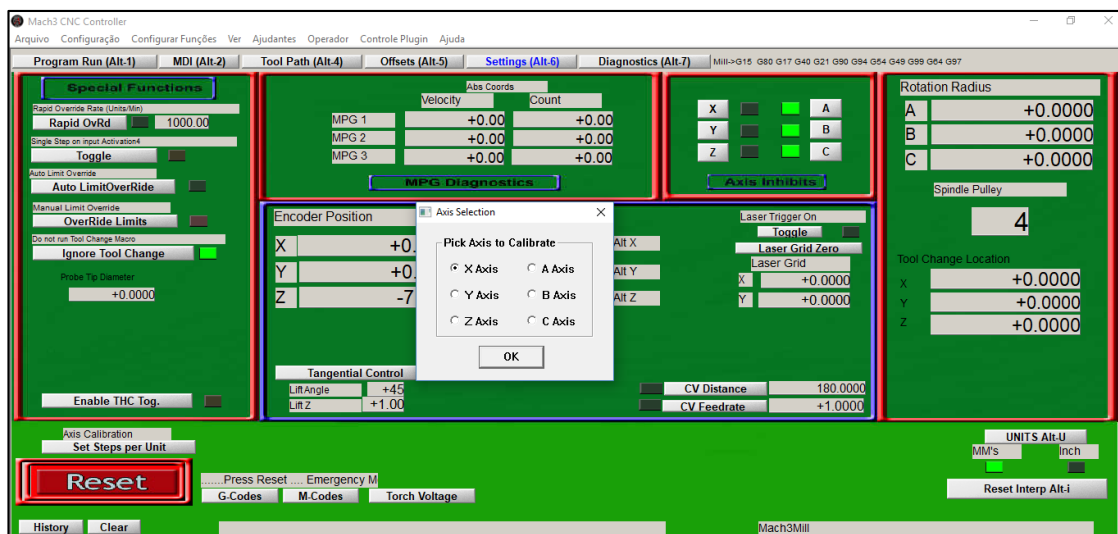


Figura 4.33 - Tela de *settings* com opção de seleção de eixo
Fonte: Elaborado pelos autores.

Nessa etapa de configuração é necessário o uso dos recursos extras para se orientar nas configurações, conforme figura 4.34. O relógio comparador será a melhor opção para garantir a confiabilidade das informações, de acordo com as figuras 4.35 e 4.36. Instalando o relógio comparador e obtendo um ponto de origem, deslocamos até o próximo ponto de medida conhecida e obtemos a diferença que será informada para o *software* fazer as correções.

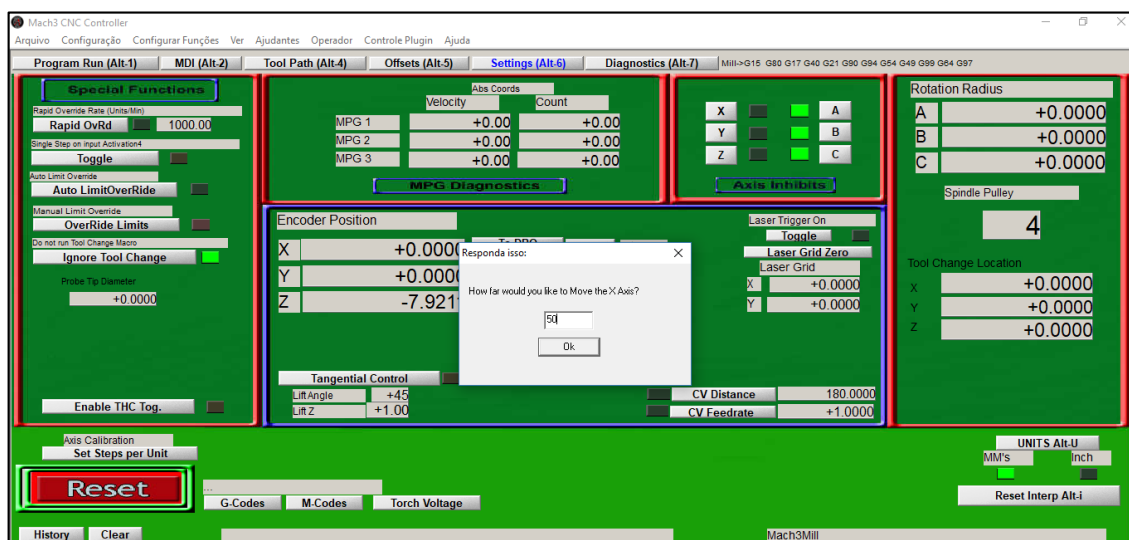


Figura 4.34 - Tela de *settings* com opção de preenchimento de valor de deslocamento
Fonte: Elaborado pelos autores.

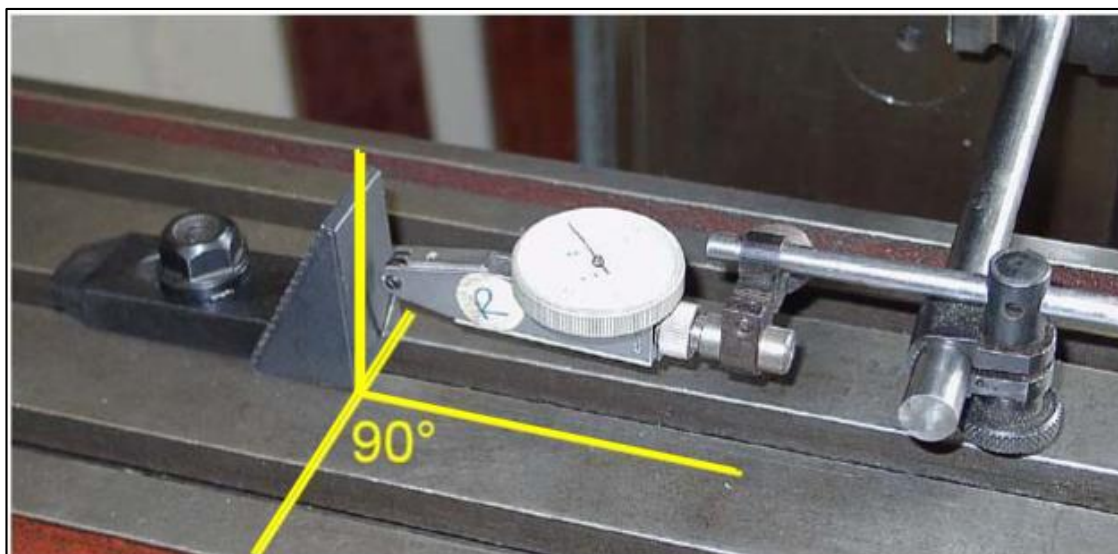


Figura 4.35 - Estabelecendo o ponto zero
Fonte: Elaborado pelos autores.



Figura 4.36 - Bloco de calibre em posição
Fonte: Elaborada pelos autores.

3.5.2 Software de CAD/CAM

A escolha do software *ARTCAM*® 2018 para geração de códigos CNC (Código G) se dá, devido ao mesmo ser um *software* de fácil utilização, capaz de gerar programas em 2D e 3D, programas estes gerados através de linhas que podem ser criadas pela *interface* de *CAD* do *software* que possui comandos similares a outros *softwares* de desenhos, exemplos; auto *CAD*, *INVENTOR*® dentre outros. Além disso ele é capaz de transformar imagens com extensões *bitmap* em vetores. Este recurso, nos proporciona trabalhos de usinagem complexas.

O *ARTCAM*® é capaz de gerar diversos tipos de códigos, porém para o *software MACH3*® será necessário a criação do código na extensão “*tap*” que é a extensão de arquivos do código “G”.

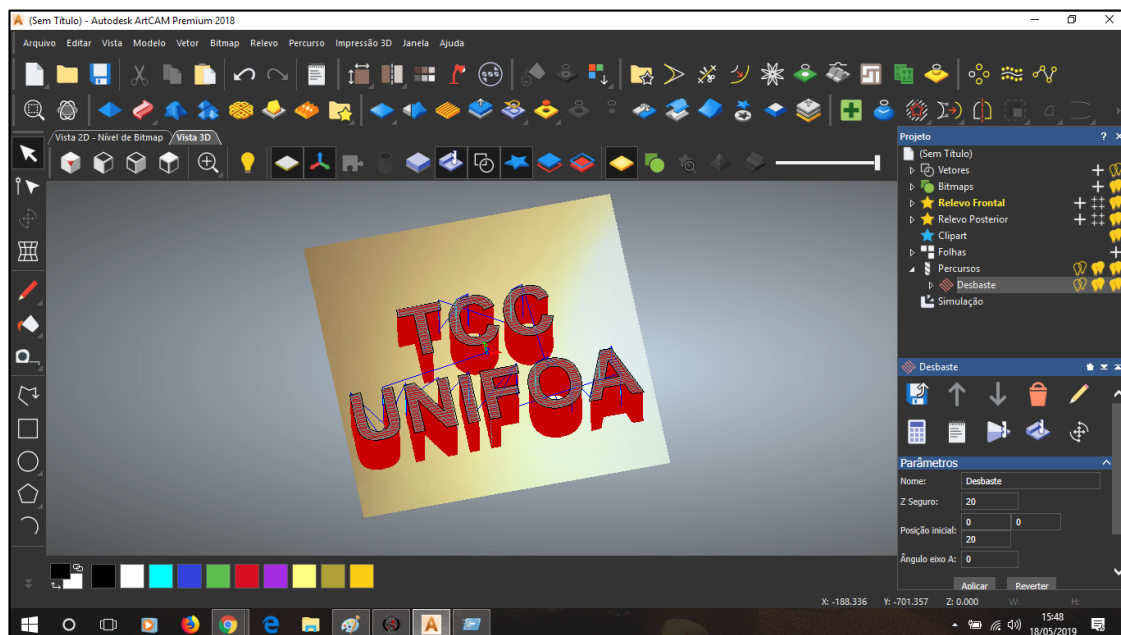


Figura 4.37 - Tela principal do *software ARTCAM*® 2018
Fonte: Elaborada pelos autores.

4.6. Dimensionamento e Montagem da Fresadora

Diante a execução dos desenhos complementares e de montagem da fresadora ilustrados nas figuras 4.38, 4.39, 4.40 e 4.41, pode-se dar início a montagem da máquina, a qual é dividida em oito passos descritos logo abaixo.

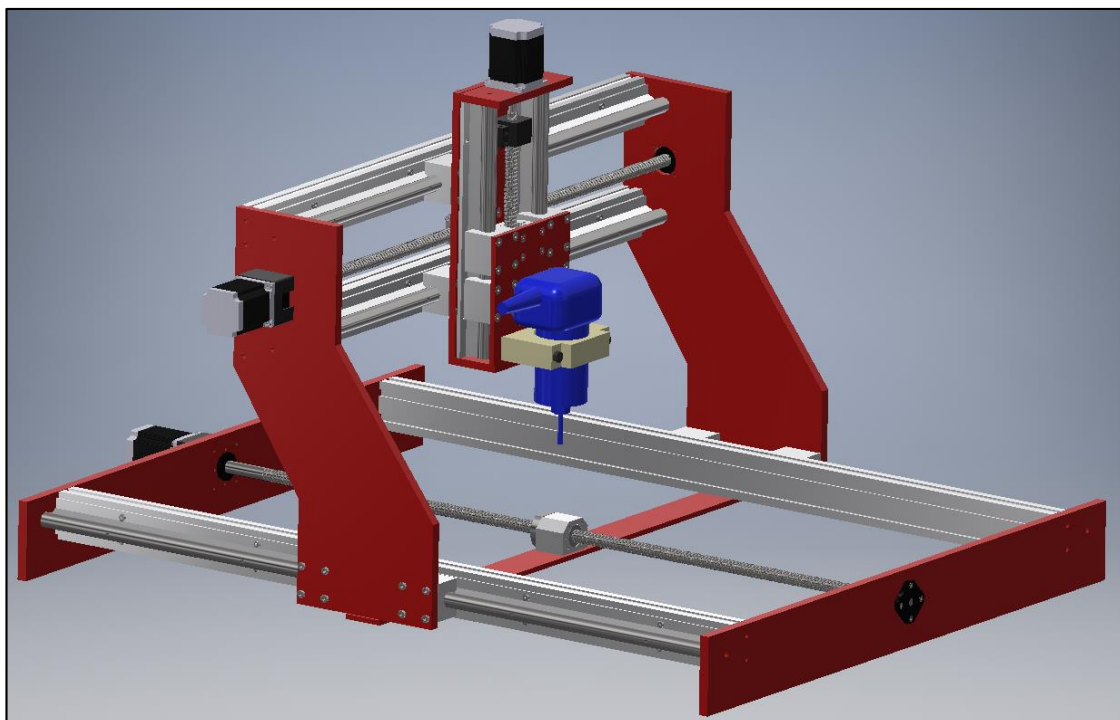


Figura 4.38 - Estrutura da fresadora CNC
Fonte: Elaborada pelos autores.

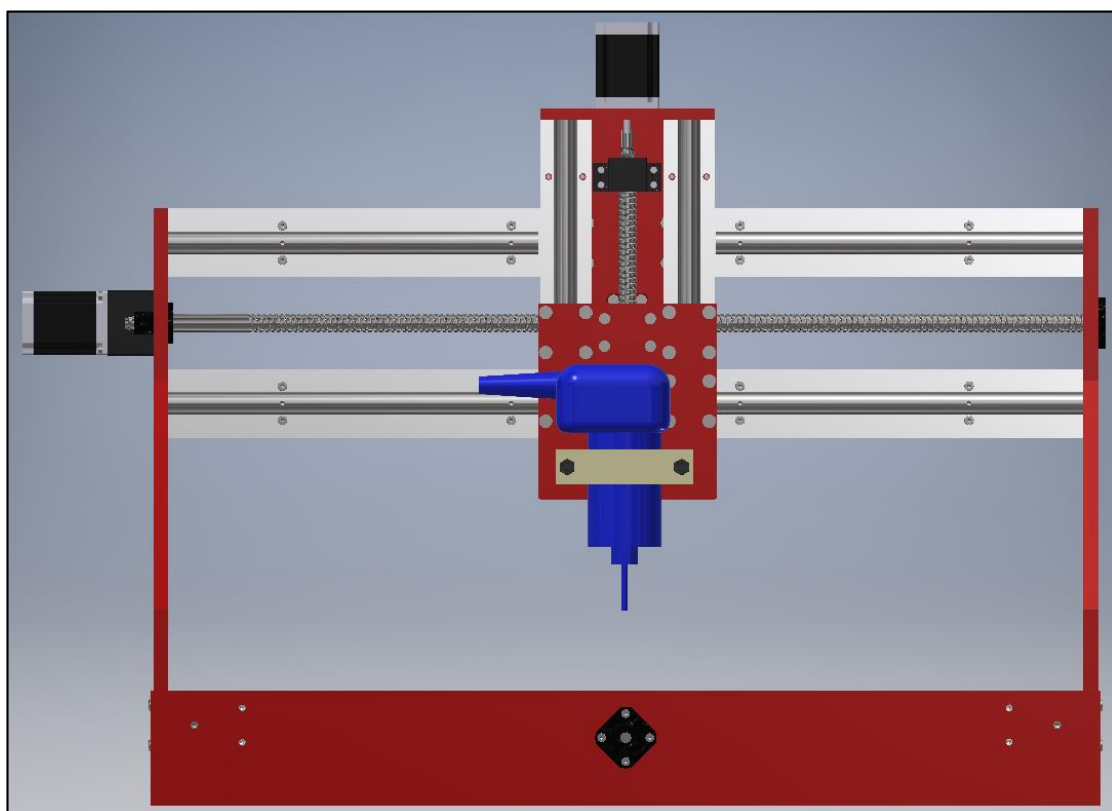


Figura 4.39 - Vista frontal da estrutura
Fonte: Elaborada pelos autores.

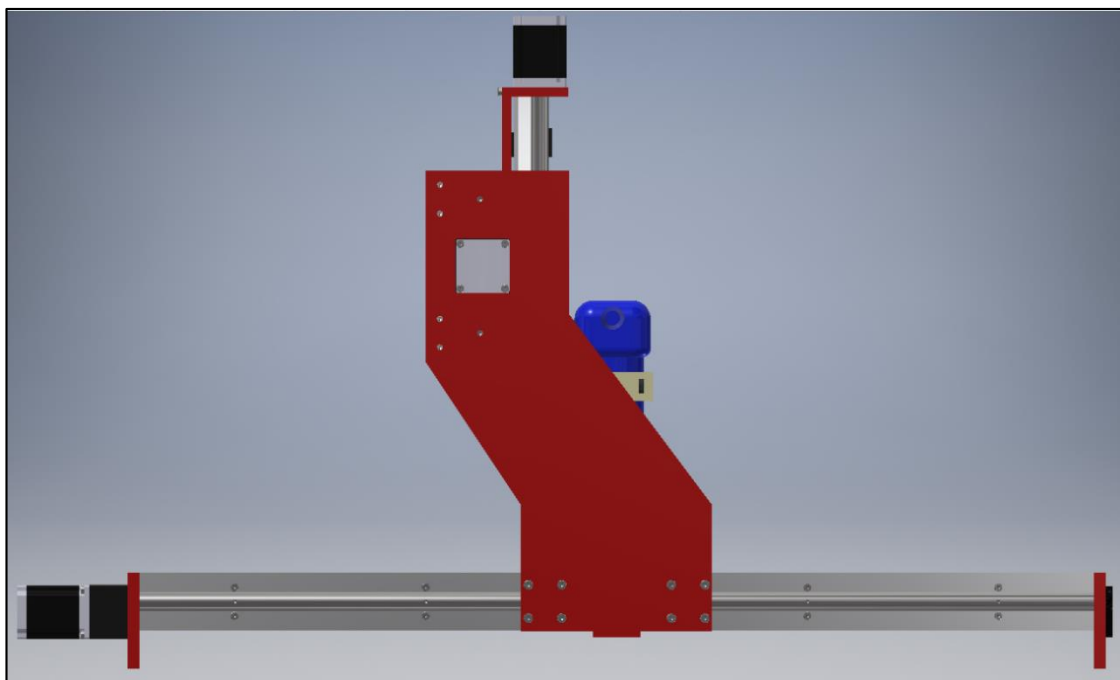


Figura 4.40 - Vista lateral da estrutura
Fonte: Elaborada pelos autores.

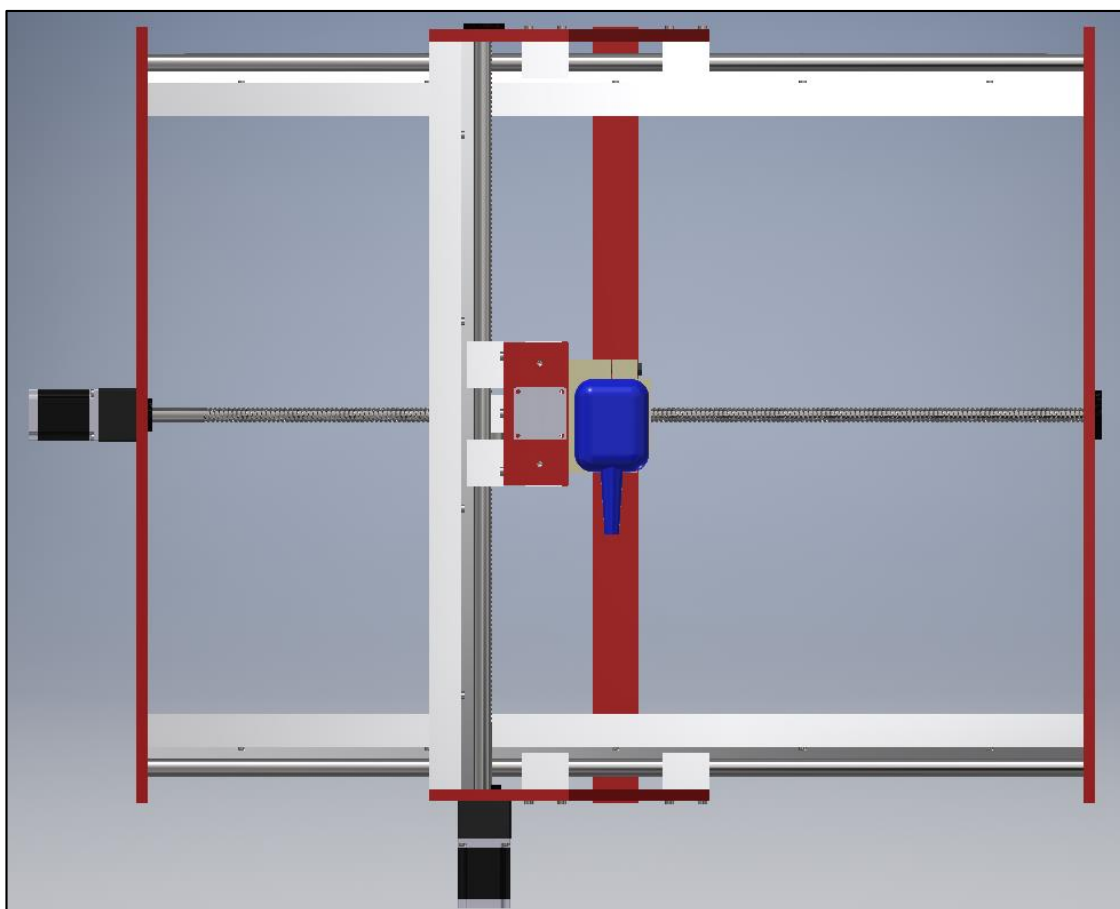


Figura 4.41 - Vista superior da estrutura – *INVENTOR*®
Fonte: Elaborada pelos autores.

1º Passo: iniciamos a montagem da fresadora, após a fabricação das chapas contidas na estrutura como as chapas da base, laterais, frontais e chapas da estrutura do eixo “Z”, conforme os desenhos anexos a este trabalho. De posse dessas chapas, detalhadas nos desenhos nº TCC-2019-001 (Anexo 1); TCC-2019-002 (Anexo 2); TCC-2019-003 (Anexo 3); TCC-2019-004 (Anexo 4) e TCC-2019-005 (Anexo 5), iniciamos uma pré-montagem e ajustes dos componentes contidos no eixo “x” da fresadora sendo estes, a montagem dos fusos no interior dos mancais, guias lineares previamente ajustados aos *pillow block* que são os rolamentos de deslizamentos, mantendo de forma rigorosa o alinhamento, cotas e esquadro da estrutura junto aos componentes, conforme o desenho de conjunto nº TCC-2019-006 (Anexo 6), pois a prévia montagem certamente facilitará a montagem final do equipamento.

2º Passo: realizar uma pré-montagem da estrutura de movimentos do eixo Y da fresadora de maneira que as peças a serem montadas e ajustadas como fusos, guias e mancais proporcionem um movimento harmônico e transladem livremente e sem agarramentos. Ver os desenhos nº TCC-2019-006 (Anexo 6) anexos e figura 4.42.

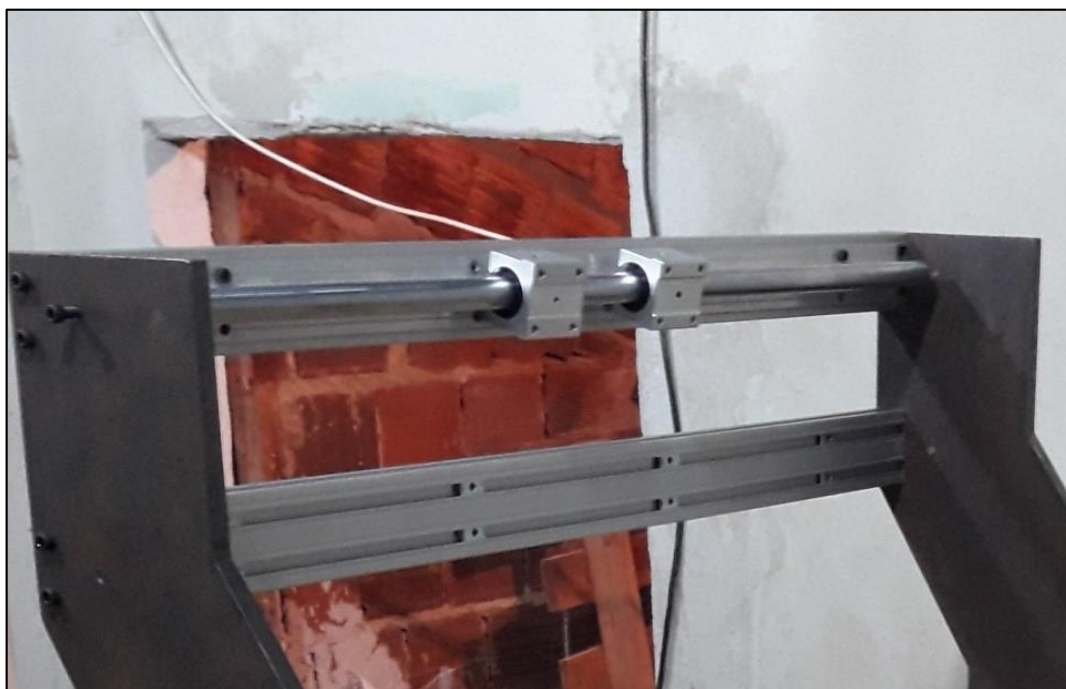


Figura 4.42 - Montagem da estrutura de movimento em Y da fresadora
Fonte: Elaborada pelos autores.

3º Passo: após a prévia montagem das estruturas de translação, devemos primeiro montar as chapas frontais da fresadora em cima de uma base sólida, tendo o máximo de atenção para que durante a montagem da mesma mantenha-se o alinhamento, cotas dimensionais e esquadro da estrutura. Para esta fresadora, utilizou-se uma bancada de madeira a qual atendeu as necessidades ergonômicas de trabalho para um operador. Ver figura 4.43.



Figura 4.43 - Montagem da base da fresadora sobre a bancada sólida
Fonte: Elaborada pelos autores.

4º Passo: após a montagem da estrutura externa da fresadora, deve ser realizado um teste de movimento dos eixos x e y da estrutura no intuito de verificarmos se há ocorrências de agarramentos ocasionados por prováveis desalinhamentos durante a montagem. Este teste deve ser feito manualmente para que não ocorra quebra ou travamentos em qualquer componente caso ocorra algum erro durante o processo.

5º Passo: assim que verificado a eficiência dos movimentos X e Y da estrutura da fresadora, deve-se dar início a montagem e ajustes da estrutura de movimento do eixo Z sobre os mancais que se encontram devidamente ajustados as guias e fusos

do eixo X mostrados no passo nº2. Ver desenho nº TCC-2019-007 (Anexo 7) e figura 4.44.

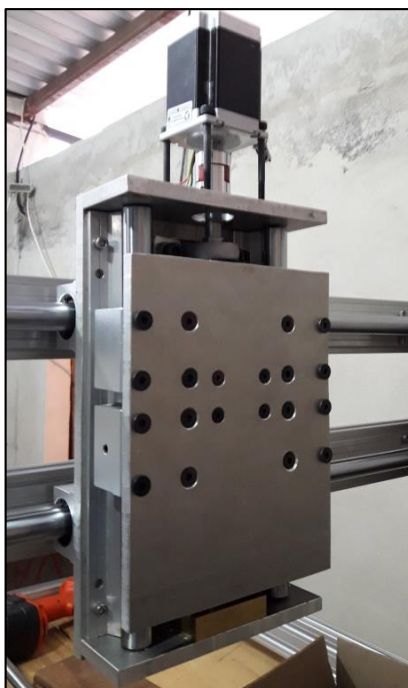


Figura 4.44 - Montagem da estrutura de movimento Z sobre as guias e fusos da estrutura do eixo Y

Fonte: Elaborada pelos autores.

Assim que ajustado a estrutura do eixo Z sobre as guias de movimentos Y, deve-se realizar novamente um teste do movimento Z de forma manual, verificando se a existência de agarramentos entre os componentes. Conforme dito no passo nº4, é recomendado que estes testes sejam feitos sem a utilização de qualquer tipo de equipamento elétrico pois caso ocorra algum agarramento, o torque exercido por tais equipamentos poderá gerar danos aos componentes da fresadora.

6º Passo: após se certificar de que todo os movimentos da fresadora estão funcionando em perfeito sincronismo, deve-se dar início a montagem dos componentes elétricos da fresadora como a própria fresa tupia e os três motores de passos sendo um motor em cada eixo (X,Y & Z). Ver desenho nº TCC-2019-008 (Anexo 8) e figura 4.45.

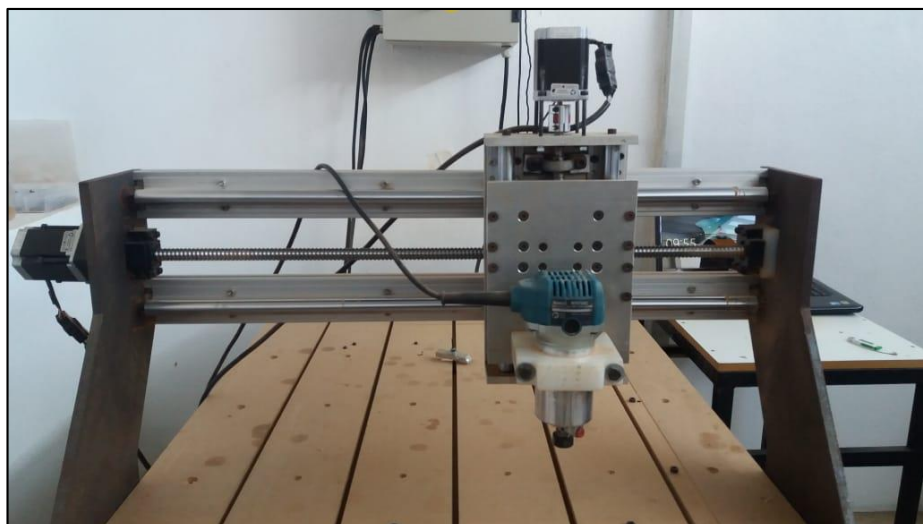


Figura 4.45 - Montagem da tupa e motores de passo em seus respectivos eixos
Fonte: Elaborada pelos autores.

7º Passo: lubrificar os fusos, guias, rolamentos e outros itens de deslizamento e em sequência, realização os testes de movimentos em todos os sentidos X, Y e Z da fresadora já em funcionamento. Segue abaixo a figura 4.46 da fresadora montada e ajustada.



Figura 4.46 - Fresadora CNC Router montada e ajustada
Fonte: Elaborada pelos autores.

Os testes e resultados dos esforços e verificação da eficiência mecânica da fresadora serão explanados nos resultados e discursões a frente.

8º Passo: a montagem dos componentes eletrônicos foi feita em uma caixa de painel, com os componentes eletrônicos como: os *drivers* que são responsáveis pelos movimentos X, Y e Z da fresadora, fonte de alimentação, cabeamentos, disjuntores e placa controladora. A figura 4.47 contém os componentes mencionados no passo nº7.

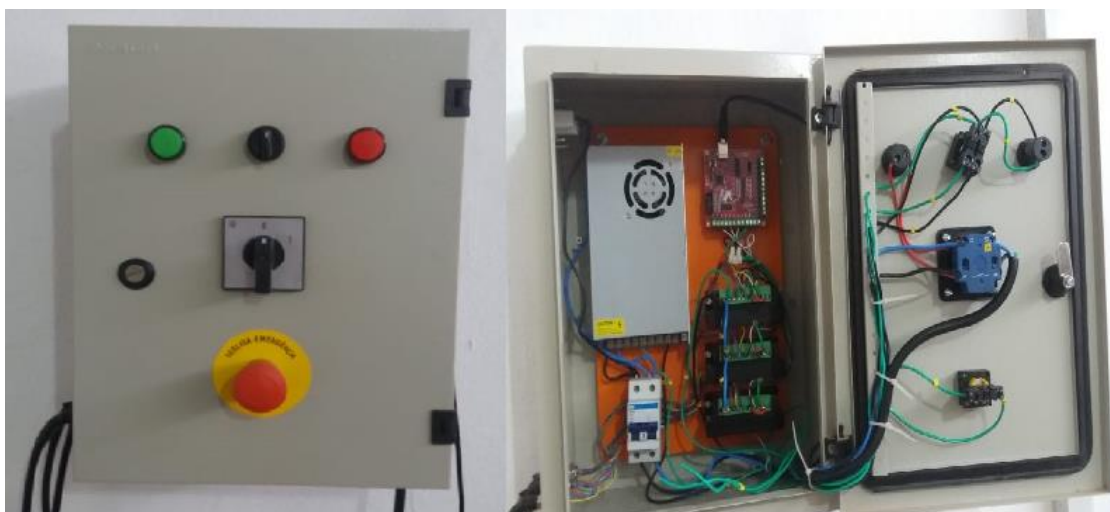


Figura 4.47 - Painel elétrico da fresadora
Fonte: Elaborada pelos autores.

5. RESULTADOS (COMISSIONAMENTO)

Para validar o funcionamento e eficiência da fresadora CNC *Router* foi usinado os quatro materiais que fora citado no capítulo dois: acrílico, madeira cerejeira, MDF e alumínio.

Inicialmente, deve ser elaborado o programa de usinagem no *ARTCAM®*. Na figura 5.1 está o formato que será seguido na usinagem dos corpos de prova (linha vermelha).

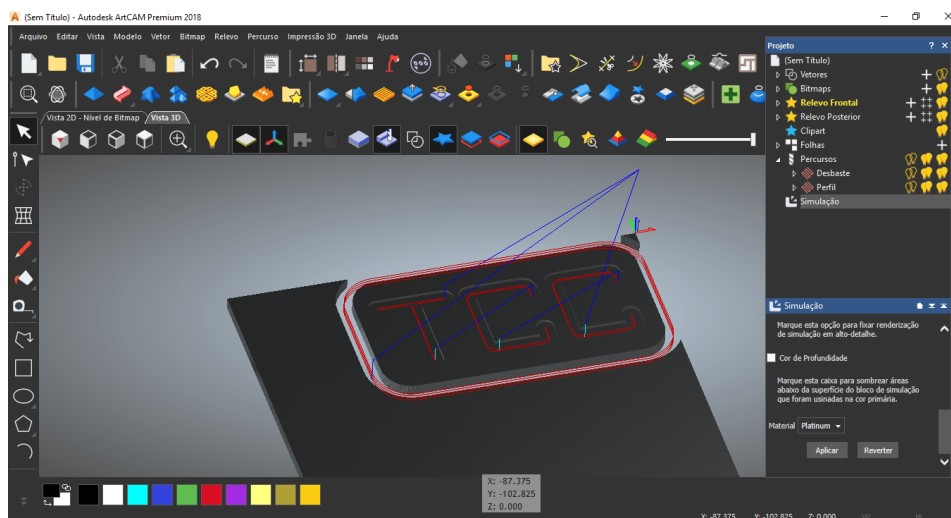


Figura 5.1 - Esquema do modelo de usinagem dos corpos de prova elaborado no *ARTCAM®*.
Fonte: Elaborada pelos autores.

O dimensional adotado para elaboração do programa de usinagem dos materiais está na figura 5.2, onde *x* é a espessura de cada material.

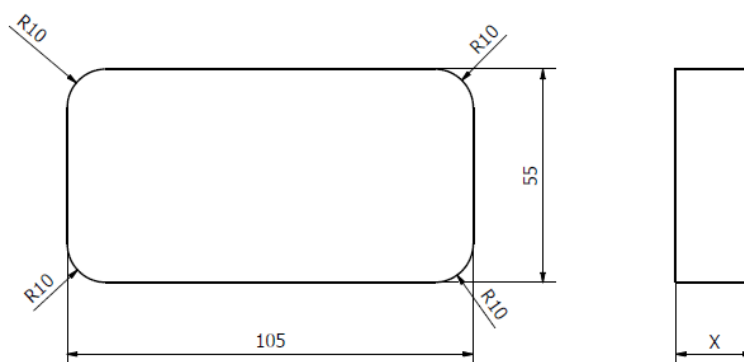


Figura 5.2 - Desenho corpo de prova
Fonte: Elaborada pelos autores.

Para a usinagem dos materiais, utilizou-se os seguintes recursos:

- Ferramenta utilizada: Fresa de HSS \varnothing 6 mm.
- Grampos de fixação com 80 mm.

5.1. Usinagem do Acrílico

O acrílico utilizado para o teste de usinagem tem espessura de 3mm e os dados de corte utilizados foram:

- Profundidade de corte das extremidades: 1 mm.
- Avanço: 1000 mm/min. (Max. velocidade da fresadora).
- Velocidade de rotação: 10000 R.P.M.

O acrílico foi fixado com dois grampos conforme está na figura 5.3.



Figura 5.3 - Corpo de prova em acrílico.
Fonte: Elaborada pelos autores.

Durante a usinagem do acrílico, foi observado que a ferramenta de corte se comportou dentro dos parâmetros esperados, de forma que a mesma executou o corte com perfeição conforme parâmetros pré-estabelecidos durante a programação de corte. Após a conclusão do corpo de prova, foi verificada as seguintes divergências dimensionais mostradas na tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Divergências entre as medidas nominais e usinadas do acrílico

COTA	DIMENSÃO PEÇA PROJETO	DIMENSÃO PEÇA FABRICADA	ERRO
LARGURA	55 mm	55 mm	0 mm
COMPRIMENTO	105 mm	105 mm	0 mm
RAIO	10 mm	10 mm	0 mm
ESPESSURA	3 mm	3 mm	0 mm

Fonte: Elaborada pelos autores.

Na figura 5.4 está a execução do teste de usinagem em acrílico e na figura 5.5 o resultado final.



Figura 5.4 - Usinagem do acrílico.
Fonte: Elaborada pelos autores.



Figura 5.5 - Acrílico usinado.
Fonte: Elaborada pelos autores.

5.2. Usinagem da Madeira Cerejeira

A madeira cerejeira utilizada para o teste de usinagem tem espessura de 20 mm e os dados de corte utilizados foram:

- Profundidade de corte das extremidades: 1mm.
- Avanço: 1000 mm/min. (Max. velocidade da fresadora).
- Velocidade de Rotação: 17000 R.P.M.

Para fixação da madeira de cerejeira, segue-se os mesmos parâmetros de fixação utilizado para o acrílico, ou seja, através de grampos conforme mostrado na figura 5.6.



Figura 5.6 - Corpo de prova em madeira cerejeira.
Fonte: Elaborada pelos autores.

Durante a usinagem da madeira de cerejeira, observou-se que a ferramenta de corte também se comportou dentro dos parâmetros esperados, de forma que a mesma executou o corte com perfeição conforme parâmetros pré-estabelecidos. Após a conclusão do corpo de prova, foi verificada as seguintes divergências dimensionais mostradas na tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Divergências entre as medidas nominais e usinadas da madeira

COTA	DIMENSÃO PEÇA PROJETA	DIMENSÃO PEÇA FABRICADA	ERRO
LARGURA	55 mm	54,8 mm	-0,2 mm
COMPRIMENTO	105 mm	104,9 mm	-0,1 mm
RAIO	10 mm	10 mm	0 mm
ESPESSURA	3 mm	3 mm	0 mm

Fonte: Elaborada pelos autores.

Na figura 5.7 está a execução do teste de usinagem da madeira e na figura 5.8 o resultado final.

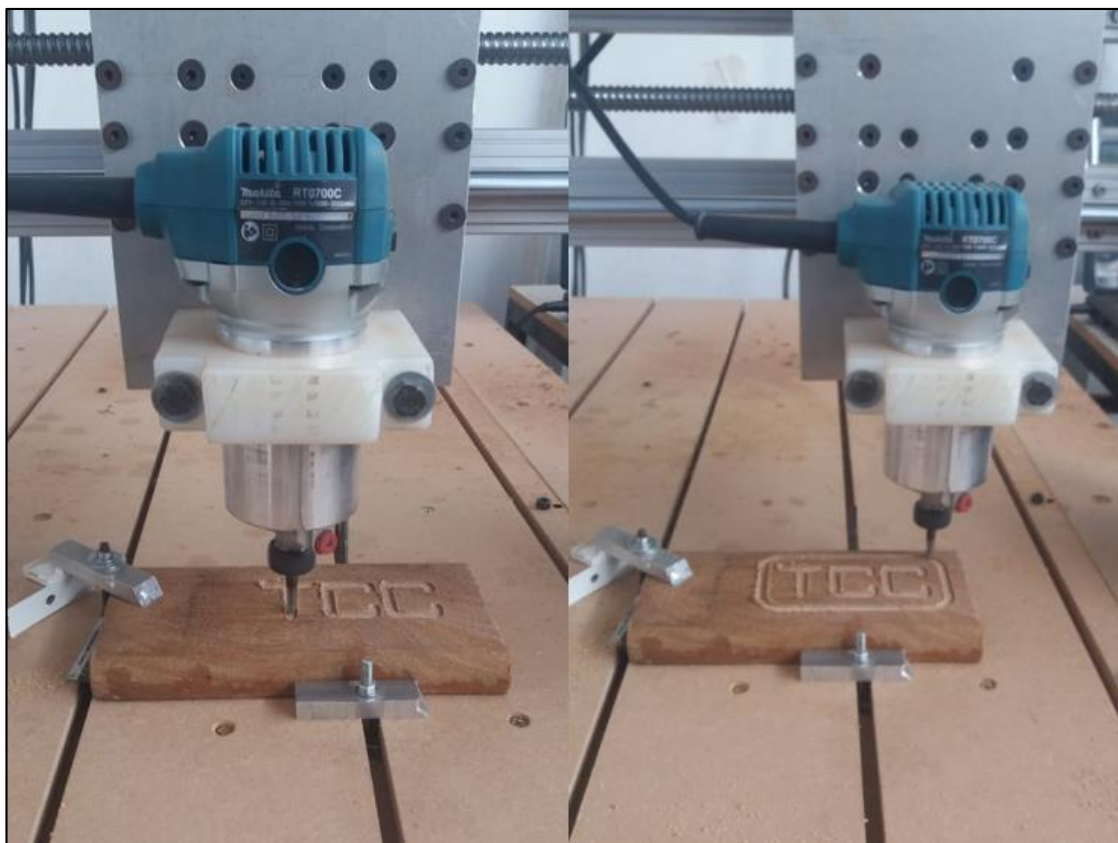


Figura 5.7 - Usinagem da madeira cerejeira
Fonte: Elaborada pelos autores



Figura 5.8 - Madeira cerejeira usinada
Fonte: Elaborada pelos autores

5.3. Usinagem do MDF

O MDF utilizado para o teste de usinagem tem espessura de 6 mm e os dados de corte utilizados foram:

- Profundidade de corte das extremidades: 1mm.

- Avanço: 1000 mm/min. (Max. velocidade da fresadora).
- Velocidade de Rotação: 17000 R.P.M.

Para fixação do MDF, seguimos os mesmos parâmetros de fixação utilizado para o acrílico e a madeira de cerejeira, ou seja, através de grampos conforme mostrado na figura 5.9.



Figura 5.9 - Corpo de prova em MDF
Fonte: Elaborada pelos autores

Durante a usinagem do MDF, observou-se que a ferramenta de corte também se comportou dentro dos parâmetros esperados, de forma que a mesma executou o corte com perfeição conforme parâmetros pré-estabelecidos durante a programação de corte. Após a conclusão do corpo de prova, foi verificado as seguintes divergências dimensionais mostradas na tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Divergências entre as medidas nominais e usinadas do MDF

COTA	DIMENSÃO PEÇA PROJETA	DIMENSÃO PEÇA FABRICADA	ERRO
LARGURA	55 mm	54,9 mm	-0,1 mm
COMPRIMENTO	105 mm	104,8 mm	-0,2 mm
RAIO	10 mm	10 mm	0 mm
ESPESSURA	3 mm	3 mm	0 mm

Fonte: Elaborada pelos autores.

Na figura 5.10 está a execução do teste de usinagem do MDF e na figura 5.11 o resultado final.

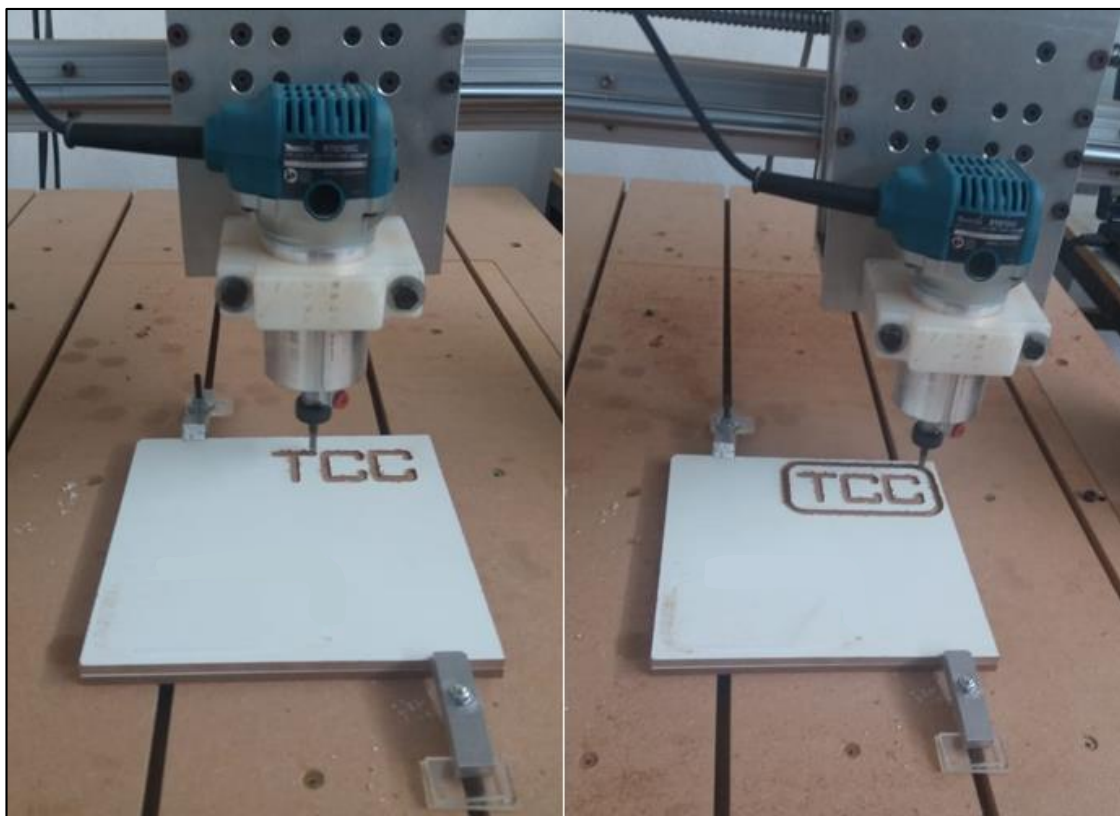


Figura 5.10 - Usinagem do MDF
Fonte: Elaborada pelos autores



Figura 5.11 - MDF usinado
Fonte: Elaborada pelos autores

5.4. Usinagem do Alumínio

O alumínio utilizado para o teste de usinagem tem espessura de x mm e os dados de corte utilizados foram:

- Profundidade de corte das extremidades: 0,1mm.
- Avanço: 100 mm/min.

- Velocidade de Rotação: 10000 R.P.M.

Para fixação do alumínio, seguimos os mesmos métodos de fixação, ou seja, através de grampos conforme mostrado na figura 5.12.

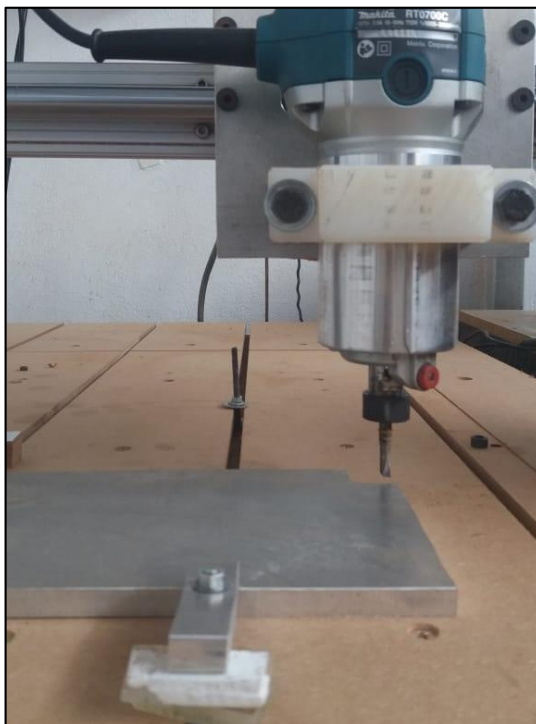


Figura 5.12 - Corpo de prova em alumínio.
Fonte: Elaborada pelos autores.

Para usinagem do alumínio, optamos somente em comprovar que a máquina cortava o mesmo de forma eficaz, no mais este material se destinará a outros fins. Com tudo, observou-se que a ferramenta de corte também se comportou dentro dos parâmetros esperados, de forma que a mesma executou o corte com perfeição conforme parâmetros pré-estabelecidos durante a programação de corte.

Na figura 5.13 pode ser visto a usinagem do material alumínio e na figura 5.14, a peça já usinada.



Figura 5.13 - Usinagem do alumínio
Fonte: Elaborada pelos autores



Figura 5.14 - Alumínio usinado
Fonte: Elaborada pelos autores

5.5. Resultados Gerais da Usinagem dos Materiais

Diante as informações obtidas após os resultados obtidos no comissionamento, pode ser afirmado que a fresadora, com as configurações de parâmetros de usinagem adequada, teve total eficiência na usinagem dos quatro materiais propostos neste trabalho. Não houve nenhuma parte da fresadora que se deformou ou rompeu e as variações das medidas nos materiais usinados foram maiores na madeira e MDF, erros estes os quais acredita-se que seja por estes materiais serem mais macios ou falta de fixação adequada, pois os recursos disponíveis eram limitados.

Afirma-se também que foi possível desenvolver uma fresadora de baixo custo, onde o custo total do projeto foi de R\$ 5439,20. O custo unitário de cada peça ou componente está no anexo 9.

6. CONCLUSÃO

Com o objetivo de realizar a fabricação de uma fresadora de baixo custo, pesquisamos e encontramos no mercado componentes padronizados que possibilitou uma grande redução nos custos, isso porque peças fabricadas sob medidas possuem um custo elevado. Diante de todos os recursos definidos, utilizamos o *software INVENTOR®* 2019 fabricado pela *Autodesk®* e disponível em nossa universidade para redesenhá-los com as mesmas medidas e características dos componentes escolhidos, o que possibilitou a realização da montagem através do *software* e, através do recurso de análise de elementos finitos simulamos e comprovamos que o conjunto ou estrutura será capaz de suportar aos esforços de 1630N em uma única direção, força essa resultante da transformação do torque do motor em força linear.

Comprovada a eficácia através do *software* e com todos os componentes em mãos de acordo com o projeto desenhado, pode-se concluir a montagem da fresadora CNC *Router*, onde durante essa etapa encontramos algumas dificuldades e foi preciso adquirir certas ferramentas para ajustes e alinhamentos da estrutura. Mas após conclusão de toda montagem e teste de movimentação, concluímos que a fresadora desenvolvida apresenta todas as características esperadas, evidenciando que a mesma atende os parâmetros de usinagem diante dos esforços exercidos durante a operação, comprovados na prática usinando acrílico, madeira, MDF e alumínio.

7. PROPOSTAS DE MELHORIAS FUTURAS

Durante os estudos e testes realizados na fresadora CNC, pode ser observado oportunidades incríveis de melhorias em no projeto, algumas foram realizadas e outras por questões financeiras ou por questões de tempo, não puderam ser concluídas. Porém, ficamos com a incumbência de relatarmos e estudarmos e avaliarmos como projetos de melhorias futuras. Temas estes que relataremos a seguir:

- Instalação de um motor *spindle* refrigerado a ar, que possibilitará um controle de velocidade de rotação através do *software MACH3®* e além do recurso de ligar e desligar através do computador. Para essa melhoria teremos que avaliar os

custos, pois um *spindle* possui custo elevado, necessita de um inversor de frequência e alimentação com tensão de 220 volts.

- Instalação de sensores fim de curso de acionamento mecânico possibilitando um sistema de segurança maior quanto aos limites de movimentação dos eixos, uma garantia à mais contra colisões por fim de curso.

- Enclausuramento da fresadora CNC com em materiais que garantam a segurança do operador sem impedir a visibilidade da tarefa que está sendo executada, além de proporcionar um isolamento acústico, pois o equipamento de acionamento da ferramenta (Tupia) produz ruídos muito altos e prejudiciais a saúde humana. Também não podemos esquecer de obedecer à todas as regras da norma NR12 que fala sobre instalação de máquinas.

- Instalação e configuração do *Probe* de zeramento de ferramenta no eixo “Z”, ferramenta que possibilitará o zeramento de forma precisa e segura quando houver a necessidade de mudança de ferramenta no processo de usinagem. Lembrando que a placa de interface que foi utilizada na fresadora CNC já possui entrada para utilização deste dispositivo.

- Controle manual remoto para ajuste de posicionamento dos eixos e zeramento de ferramentas de forma segura objetivando permitir a proximidade de operação manual por parte do operador.

- Pintura da máquina visando a proteção das superfícies metálicas e esteticamente proporcionando um visual melhor.

- Instalação de um aspirador de capacidade compatível com o volume de resíduo gerado durante o processo de usinagem de madeiras ou materiais que gerem poeira.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAL. **Propriedades físicas do alumínio.** Disponível em: <http://abal.org.br/aluminio/caracteristicas-quimicas-e-fisicas/>. Acesso em: 20 de Maio de 2019.

Acoplamento flexível. Disponível em: <https://pt.dhgate.com/product/xb-coupler-aluminium-plum-flexible-shaft/446513175.html>. Acesso em: 11 de Maio de 2019.

ALVES FILHO, Avelino. **“Elementos Finitos, A base da tecnologia CAE”**, 5ª Edição – Editora Érica. São Paulo, 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D1554 - Definitions os Terms Relating to Wood-Base Fiber and Particle Panel Material.** Philadelphia, 1974.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Informação e documentação – referências – elaboração: NBR6023:2005.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Plásticos — Chapas de poli(metacrilato de metila) — Tipos, dimensões e características - Parte 2: Chapas extrudadas. NBR ISO 7823-2:2012.** Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ATI BRASIL. **Fuso Trapezoidal.** Disponível em: <https://www.atibrasil.com.br>. Acesso em: 28 de Abr. de 2019.

AUTODESK®. **ARTCAM® 2018.** Disponível em: <https://help.autodesk.com/view/ARTC/2018/PTB/?guid=GUID-A65C8FFF-9DC1-499A-9560-C58704ED92C0>. Acesso em: 01 de Maio de 2019.

AUTODESK®. **INVENTOR® 2019.** Disponível em: <https://www.autodesk.com.br/products/inventor/features>. Acesso em: 01 de Maio de 2019.

BAPTISTA, André Luís de Brito. **Aspectos metalúrgicos na avaliação da usinabilidade de aços.** Rem: Rev. Esc. Minas, Ouro Preto, 2002.

BELMETAL. **Catálogo de Chapa de Acrílico.** Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/belmetal/chapas-acrilico.pdf>. Acesso em: 17 de Fev. de 2019.

BENADUCE, C. **Fabricação de Painéis de Média Densidade (MDF) a partir de Fibras de Eucalyptus grandis W. Hill Ex Maiden e Pinus caribaea Morelet var. hondurensis Barret e Golfari. Dissertação (M. S.) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1998.**

BORNEMANN. **Roscas Triangulares**. Disponível em: <https://www.bornemann-gewindetechnik.de/pt/produtos/roscas-triangulares>. Acesso em: 04 de Maio de 2019.

CAVALCANTE-NETO, J. B., '**Geração de malha e estimativa de erro para modelos tridimensionais de elementos finitos com trincas**'. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil. PUC-RIO, Brasil, 1998.

CONDIT, Reston e JONES, Douglas W. **Stepping Motors Fundamentals**, Microchip Application Note, 2004.

COPPERMETAL. **Propriedades mecânicas do alumínio 7075-T651**. Disponível em: https://www.coppermetal.com.br/produtos_aluminio_7075t651.html. Acesso em: 04 de Maio de 2019.

CRAVO, Edilson. **História do Motor de Passo**. Disponível em: <http://www.kalatec.com.br/definicao-de-motor-de-passo/>. Acesso em: 30 de Abr. de 2019.

CRISTO, Edinara Filipiak de. **Implementações e Técnicas de controle de motor de passo em aplicações CNC**, Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

Cruz, M.D. **Autodesk® INVENTOR® 2008: Teoria e pratica: Versões series e professional**. São Paulo, Érica, 2008.

Cruz, M.D. **Autodesk® INVENTOR® 2009: Prototipagem digital**. São Paulo: Érica, 2009.

CTISM. **Guias**. Disponível em: www.ctism.ufsm.br/institucional. Acesso em: 28 de Abr. de 2019.

DINIZ, A. E., MARCONDES, F. C., COPPINI, N. L. **Tecnologia da usinagem dos materiais**, (4. Ed.), São Paulo: Artliber Editora, 2003.

EICH, Fábio. **Dimensionamento dos Componentes de Transmissão para uma Router CNC**. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Horizontina, Horizontina, 2014.

Especificações de guia linear cilíndrica suportada com base de alumínio e pillow block. Disponível em: https://www.banggood.com/pt/SBR20-1200mm-Linear-Rail-Optical-Axis-Guide-with-2pcs-SBR20UU-Bearing-Blocks-p-1121217.html?rmmds=-search&cur_warehouse=CN. Acesso em: 11 de Maio de 2019.

FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. 3 ed. v.1, S.P: Editora Edgard Blücher Ltda, 1995. 751p.

FITPATRICK, Michael – **Introdução a Soldagem com CNC: Comando Numérico Computadorizado**. Porto Alegre, 2013.

Fonte 24 V. Disponível em: <https://www.fontek.com.br/produto/fonte-2415-360w-24v-15-a-metalica-i/2727> Acesso em: 17 de Maio de 2019.

FRANCESCHI, A., ANTONELLO, M. G. **Elementos de máquinas**. Santa Maria, RS: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria: Rede e-Tec Brasil, 2014.

GONÇALVES, R. **Artigo Científico – Investigação da Usinabilidade das ligas de alumínio**. Uberlândia. 2012.

GRIMBLEBY, Jonas B. **Stepping Motors**. University of Reading, 2008.

Guia Cilíndrica. Disponível em: <https://www.guiacnc.com.br/> Acesso em: 16 de Maio de 2019.

Guias lineares de Patins. Disponível em: <https://www.mectrol.com.br>. Acesso em: 16 de Maio de 2019.

HIWIN. **Catálogo de fuso de esferas HIWIN**. Disponível em: <https://www.hiwin.com/index.html>. Acesso em: 28 de Abr. de 2019.

HOUSEROLL. **Acoplamentos**. Disponível em: <http://www.houseroll.com.br/Acoplamentos.html>. Acesso em: 01 de Maio de 2019.

JARAGUÁ CNC. **O que é Router CNC?**. Disponível em: <http://www.jaraguacnc.com.br/o-que-e-Router-cnc.html>. Acesso em: 16 de Abr. de 2019.

JUVINALL, R.C.; MARSHEK, K.M. **Fundamentos do Projeto de Componentes de Máquinas**: 5. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2016

LAGUNATOOLS. **Fresadora CNC Router**. Disponível em: <https://www.lagunatools.com>. Acesso em: 16 de Abr. de 2019.

LUZ, G. **Propriedades mecânicas do aço carbono SAE 1020**. Disponível em: <https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/aco-sae-1020-propriedades-mecanicas.html>. Acesso em: 04 de Maio de 2019.

MACHADO, Álisson Rocha et al. **Teoria da Usinagem dos Materiais**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

MALONEY, T. M. **The family of wood composite materials**. Forest Products Journal, v. 46, n. 2, p. 19-26, Feb. 1996.

Mancais. Disponível em: <https://www.kalatec.com.br>. Acesso em: 16 de Maio de 2019.

MATT, Robert L. **Elementos de máquina em projetos mecânicos**. 5 ed., São Paulo, Pearson Education do Brasil, 2015.

MEIRELES “**Análise dinâmica de estruturas por modelos de elementos finitos identificados experimentalmente**”, Guimarães, 2007.

MELCONIAN, S. **Elementos de Máquinas**: 10. ed. São Paulo: Editora Érica, 2016

Metals Handbook. American Society for Metals - ASM, 9a ed., vol. 16. 1989.

Motores elétricos. Disponível em: <https://image.slidesharecdn.com/-motoreselctricos>. Acesso em: 30 de Abr. de 2019.

PAZOS, **Fernando**. **Automação de Sistemas e Robótica**. Rio de Janeiro, Editora Axcel Books do Brasil, 1ª edição, 2002.

PEREIRA, Athos Gleber. **Desenvolvimento e Avaliação de um Editor para Programação CN em Centros de Usinagem**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

Placa Controladora e Driver de Acionamento. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/placa-controladora-cnc-interface-mach3>. Acesso em 12 de Maio de 2019.

Placa de interface. Disponível em: <https://www.smartprojectsbrasil.com.br/none-35077445>. Acesso em: 12 de Maio de 2019.

Prazeres, P. G. C., 2005. ‘**Desenvolvimento de elementos finitos híbridos para análise de problemas dinêmicos usando superposição modal avançada**’. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil. PUC-RIO, Brasil.

Reddy, J. N. **An Introduction to The Finite Element Method**. 3rd. ed. [S.l.]: Mc Graw-Hill series in mechanical engineering, v. ISBN 0-07-246685-5, 2006

SMID, Peter. **CNC Programing Handbook**. 3. ed. New York: Industrial Press Inc., 2008. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/245371488/CNC-Programming-Handbook-Third-Edition>>. Acesso em: 16 Abril 2019

SOUZA, Adriano Fagali de; ULBRICH, Cristiane Brasil Lima. **Engenharia Integrada por Computador e sistemas CAD/CAM/CNC: princípios e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Artliber, 2013.

STOETERAU, Rodrigo Lima. **Projeto de Máquinas-Ferramentas Modernas**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2014.

TOP COMPONENTES. **O que é e para que servem os acoplamentos**. Disponível em: <http://www.topcomponentes.com.br/blog/2018/01/04/o-que-e-e-para-que-servem-os-acoplamentos/>. Acesso em: 01 de Maio de 2019.

TRENT, E.M.; WRIGHT, P.K. **Metal Cutting**. 4th Edition, Butterworths – Heinemann. 2000, 446 p.

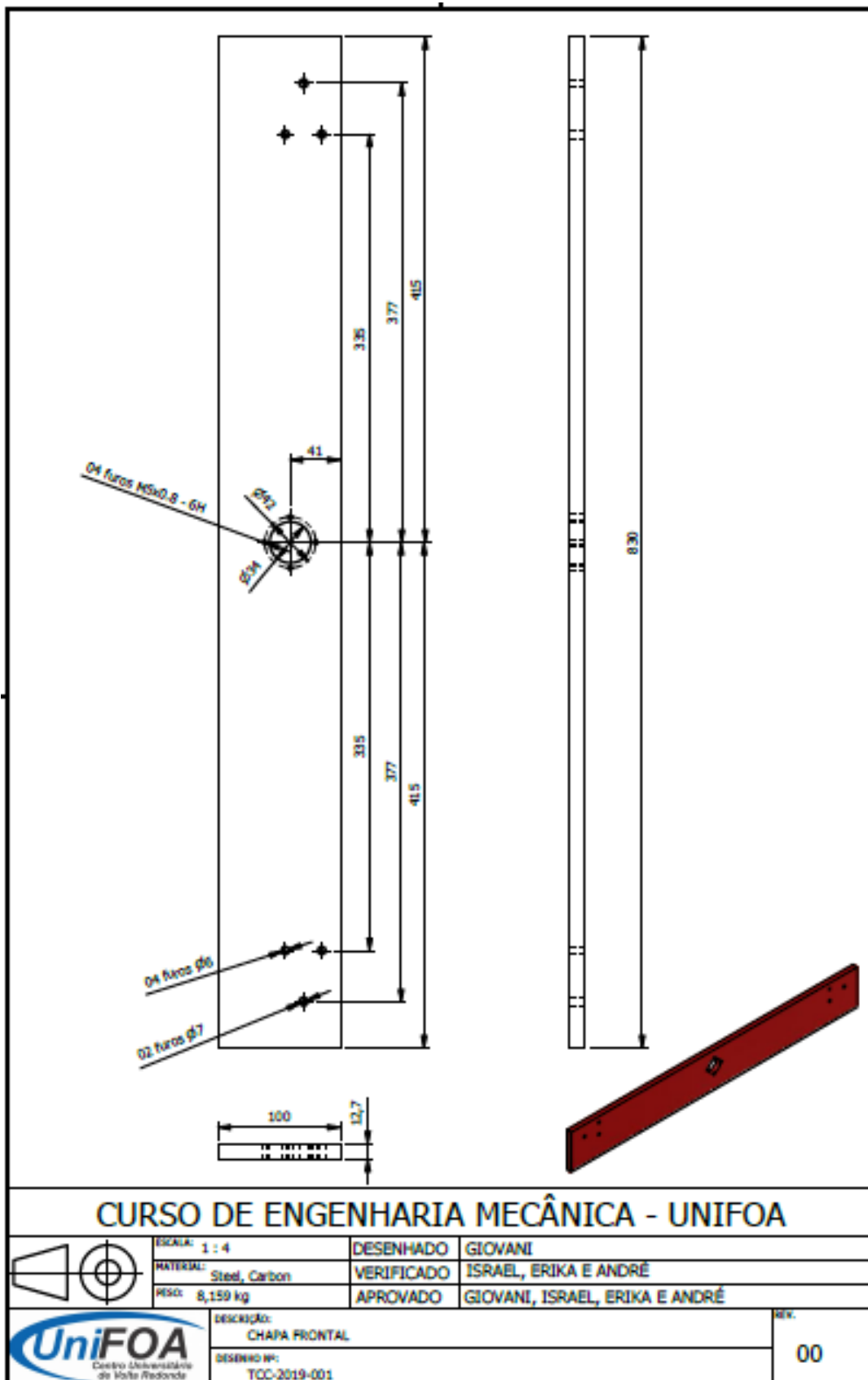
VESEL. **Acoplamento Rígido**. Disponível em: <http://www.vesel.com.br/acoplamento-rigido/>. Acesso em: 01 de Maio de 2019.

VESEL. **Acoplamentos Elásticos**. Disponível em: <http://www.vesel.com.br/acoplamentos-elasticos-multiflex/>. Acesso em: 01 de Maio de 2019.

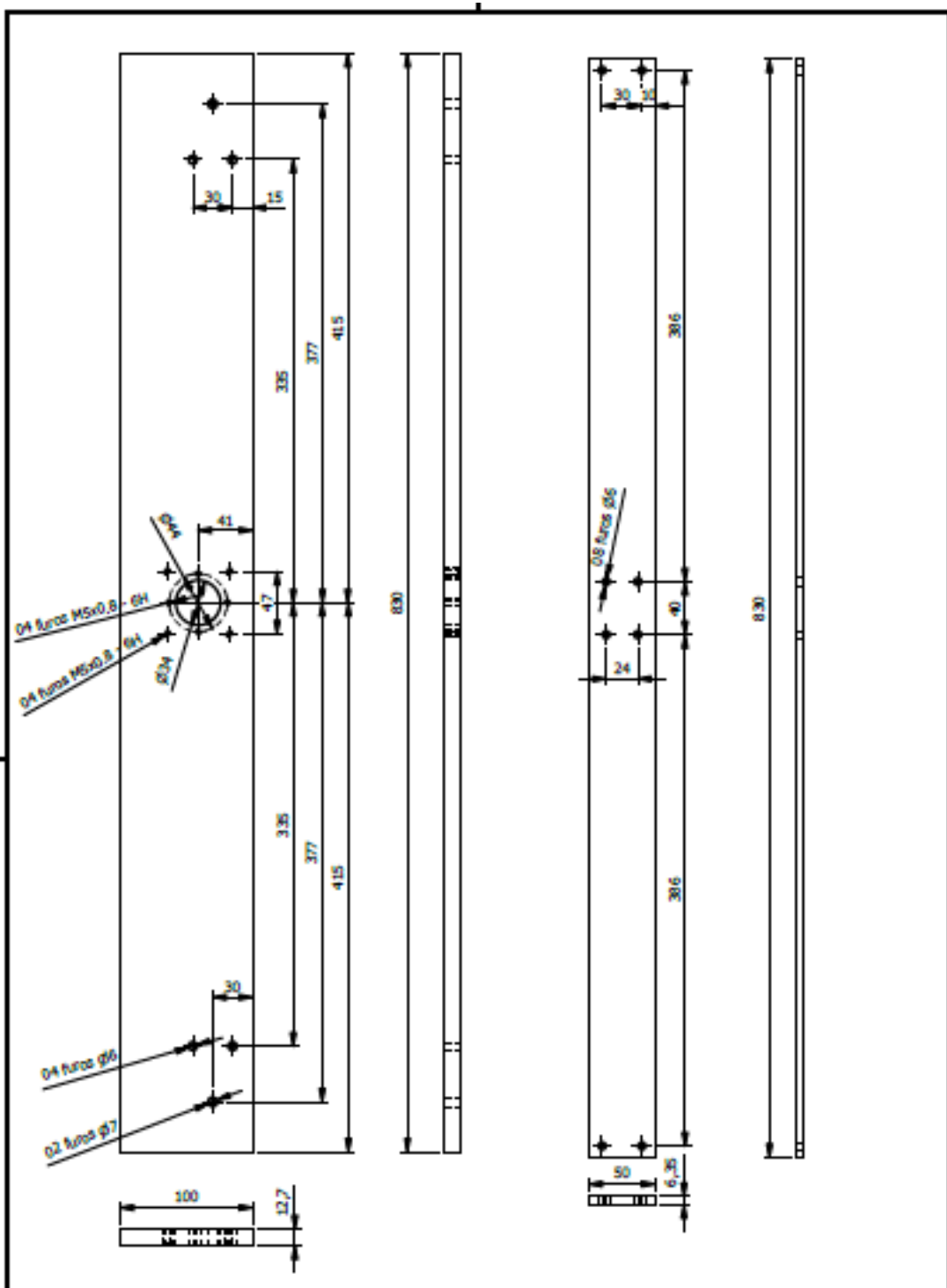
WOTION. **Especificações Motor de Passo Nema23**. Disponível em: <http://www.wotiom.com/produto/motor-de-passo-nema-23-15-kgf-cm-3a/> Acesso em: 29 de Abr. de 2019.

9. ANEXOS

ANEXO 1 - Desenho da chapa frontal



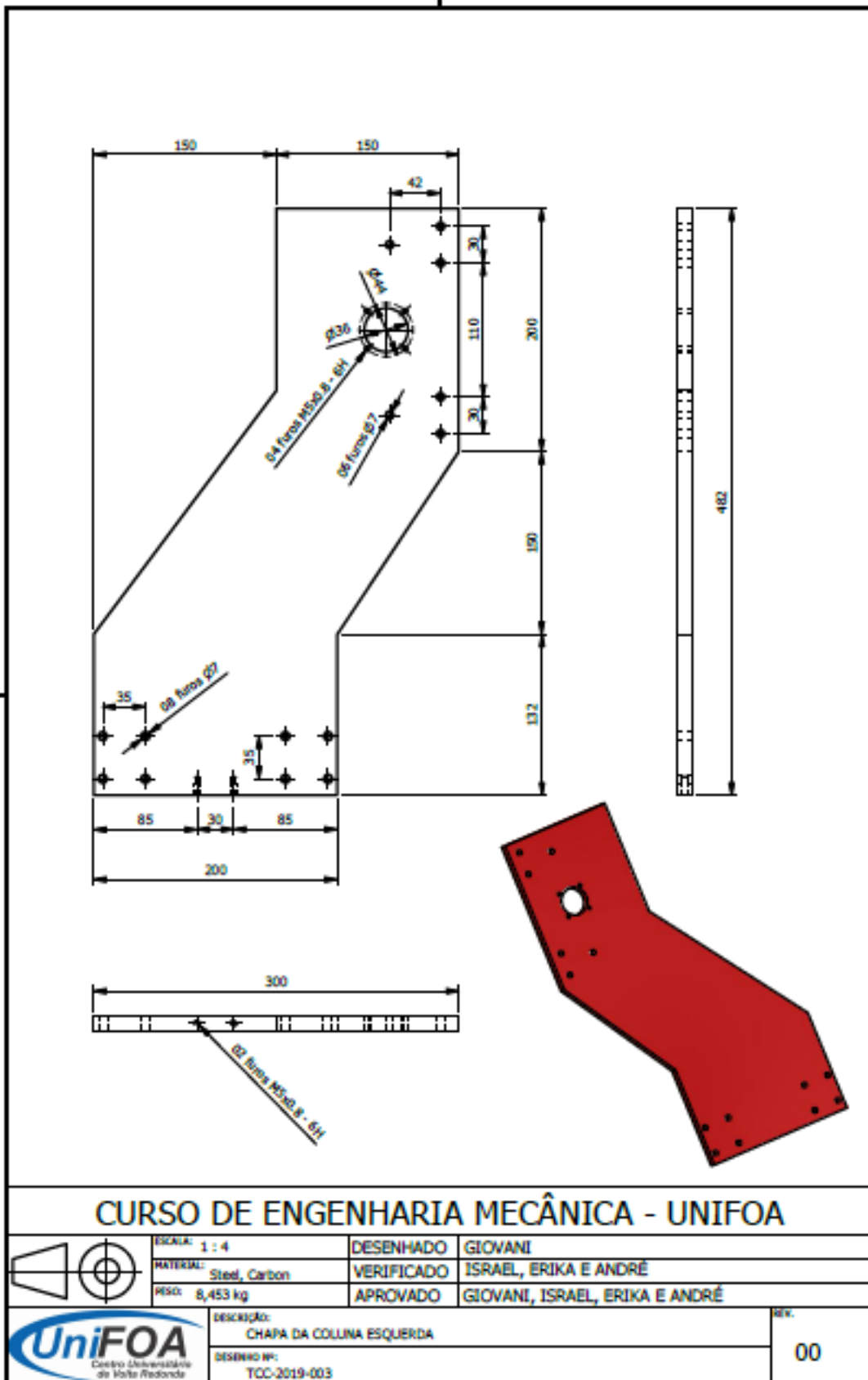
ANEXO 2 - Desenho da chapa traseira / chapa de movimento



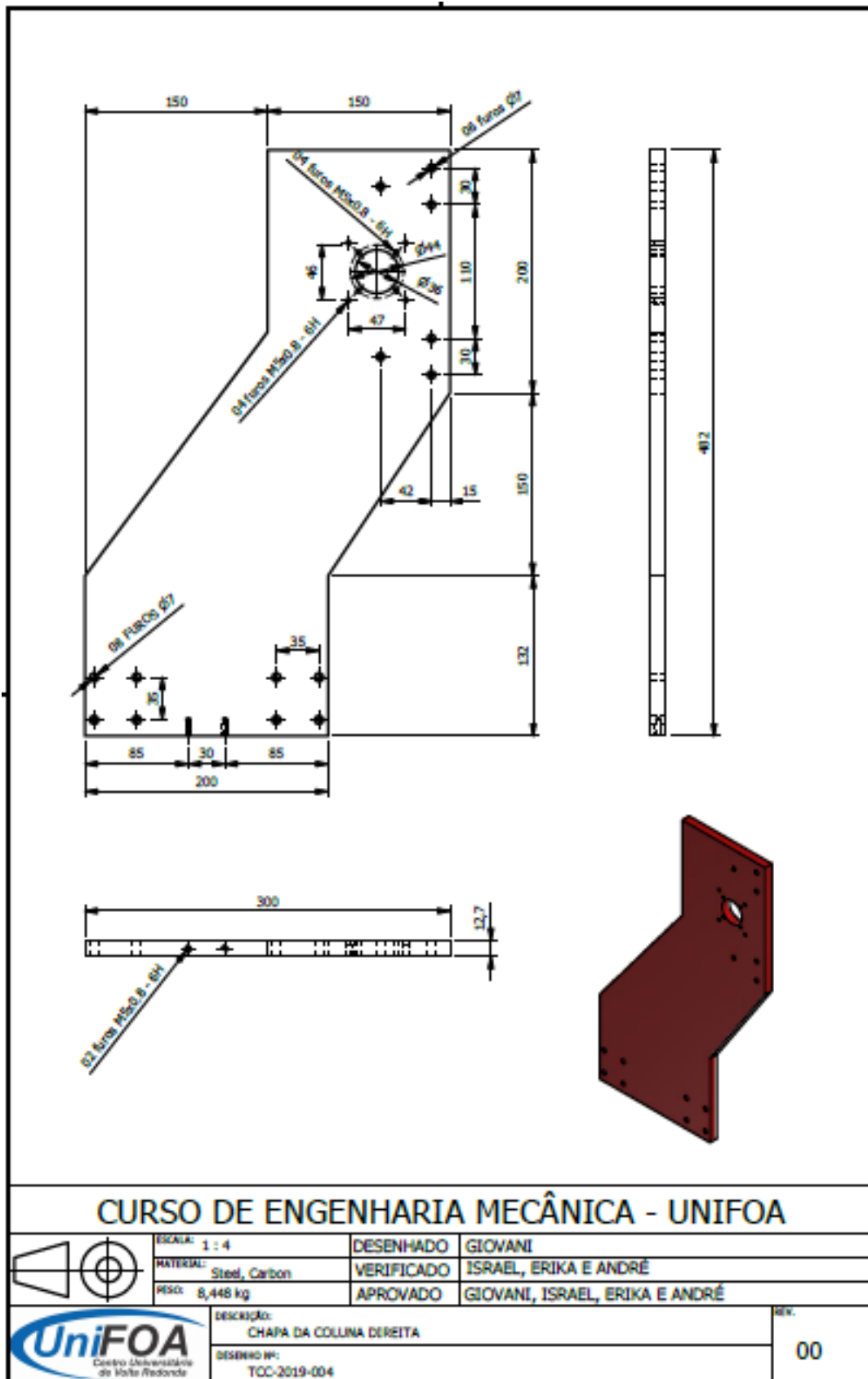
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA - UNIFOA

	ESCALA: 1 : 4	DESENHADO	GIOVANI
	MATERIAL: Steel, Carbon	VERIFICADO	ISRAEL, ERIKA E ANDRÉ
	PESO: 8,154 kg	APROVADO	GIOVANI, ISRAEL, ERIKA E ANDRÉ
	descrição:	CHAPA TRASEIRA/CHAPA DE MOVIMENTO	
	desenho nº:	TCC-2019-002	
			REV. 00

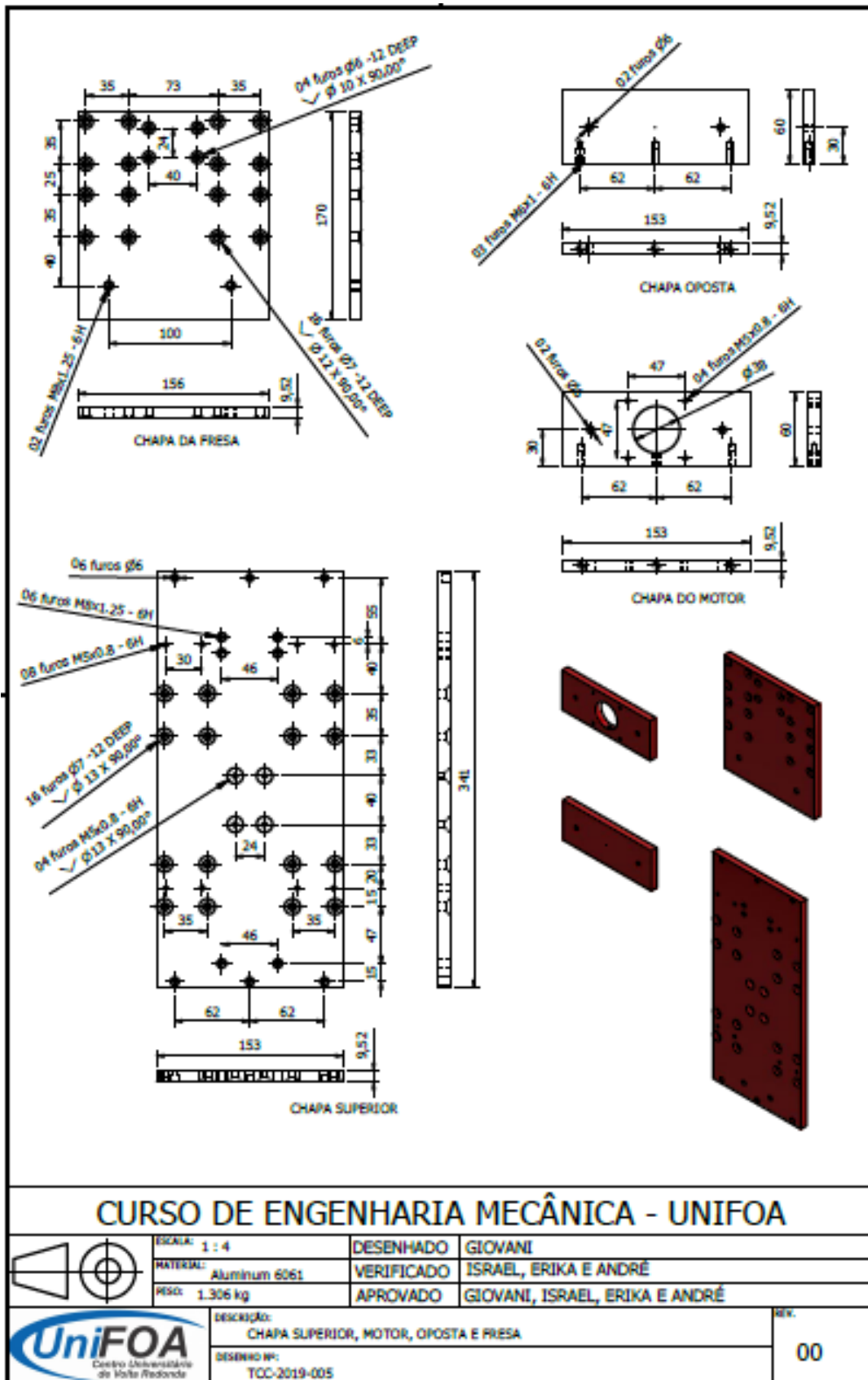
ANEXO 3 - Chapa da coluna esquerda



ANEXO 4 - Chapa da coluna direita



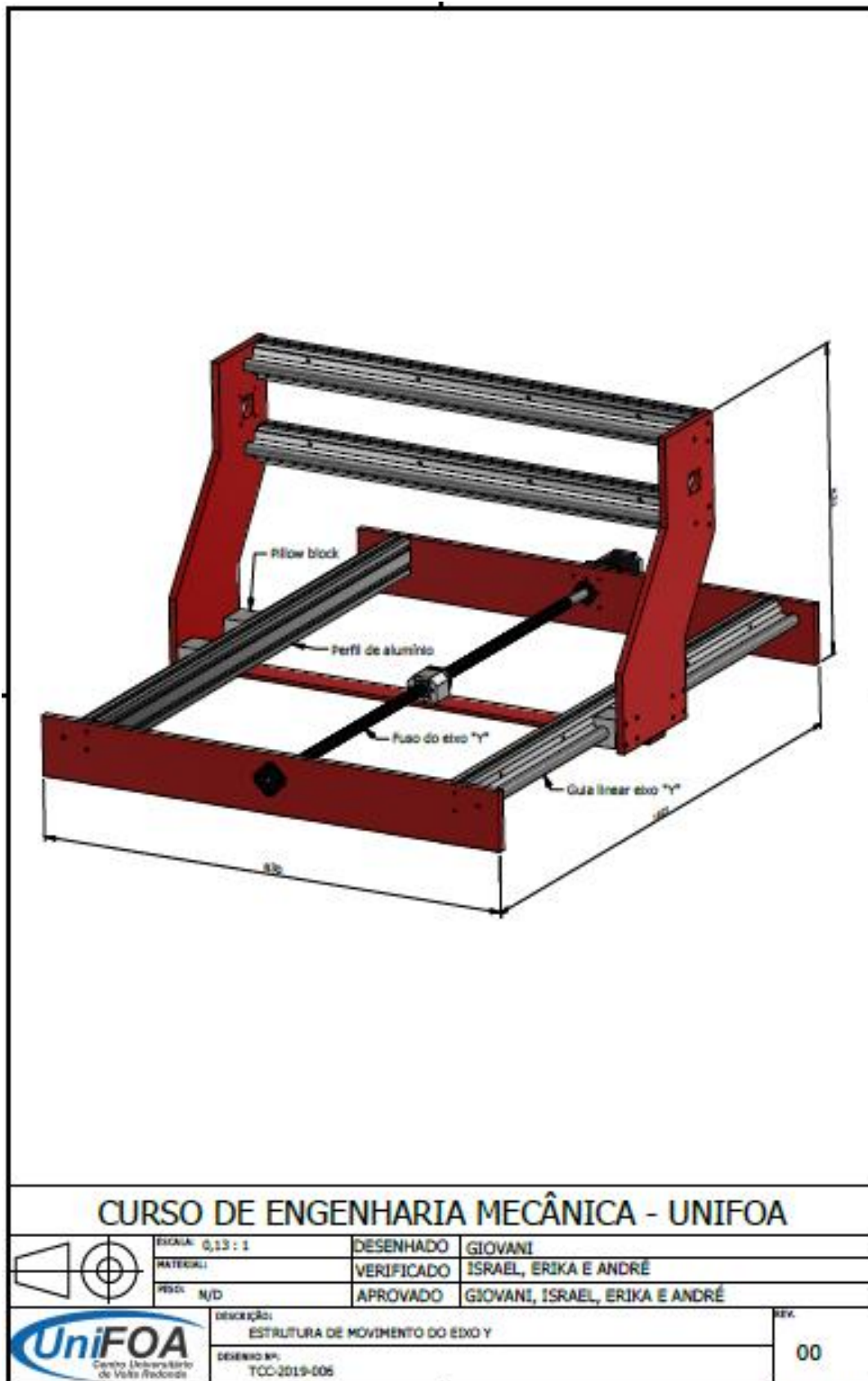
ANEXO 5 - Chapa superior, motor, oposta e fresa.



CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA - UNIFOA

	ESCALA: 1 : 4	DESENHADO	GIOVANI
	MATERIAL: Aluminum 6061	VERIFICADO	ISRAEL, ERIKA E ANDRÉ
	PESO: 1.306 kg	APROVADO	GIOVANI, ISRAEL, ERIKA E ANDRÉ
	descrição: CHAPA SUPERIOR, MOTOR, OPOSTA E FRESA		REV. 00
	DESENHO Nº: TCC-2019-005		

ANEXO 6 - Estrutura de movimento do eixo X



CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA - UNIFOA



ESCALA: 0,15 : 1

MATERIAL:

PROJ: N/D

DESENHADO GIOVANI

VERIFICADO ISRAEL, ERIKA E ANDRÉ

APROVADO GIOVANI, ISRAEL, ERIKA E ANDRÉ



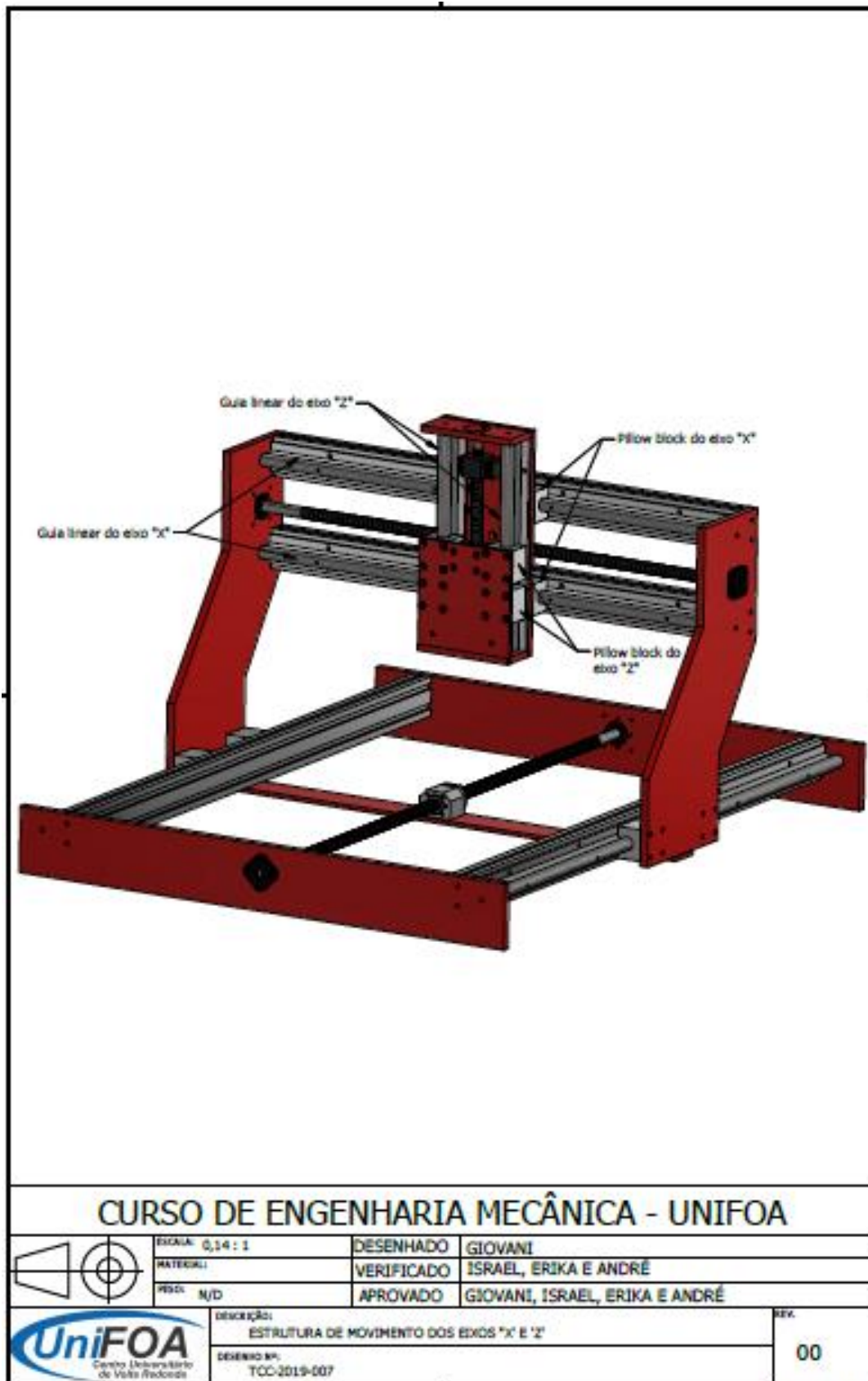
DESCRIÇÃO:
ESTRUTURA DE MOVIMENTO DO EIXO Y

DESENHO Nº:
TCC-2019-006

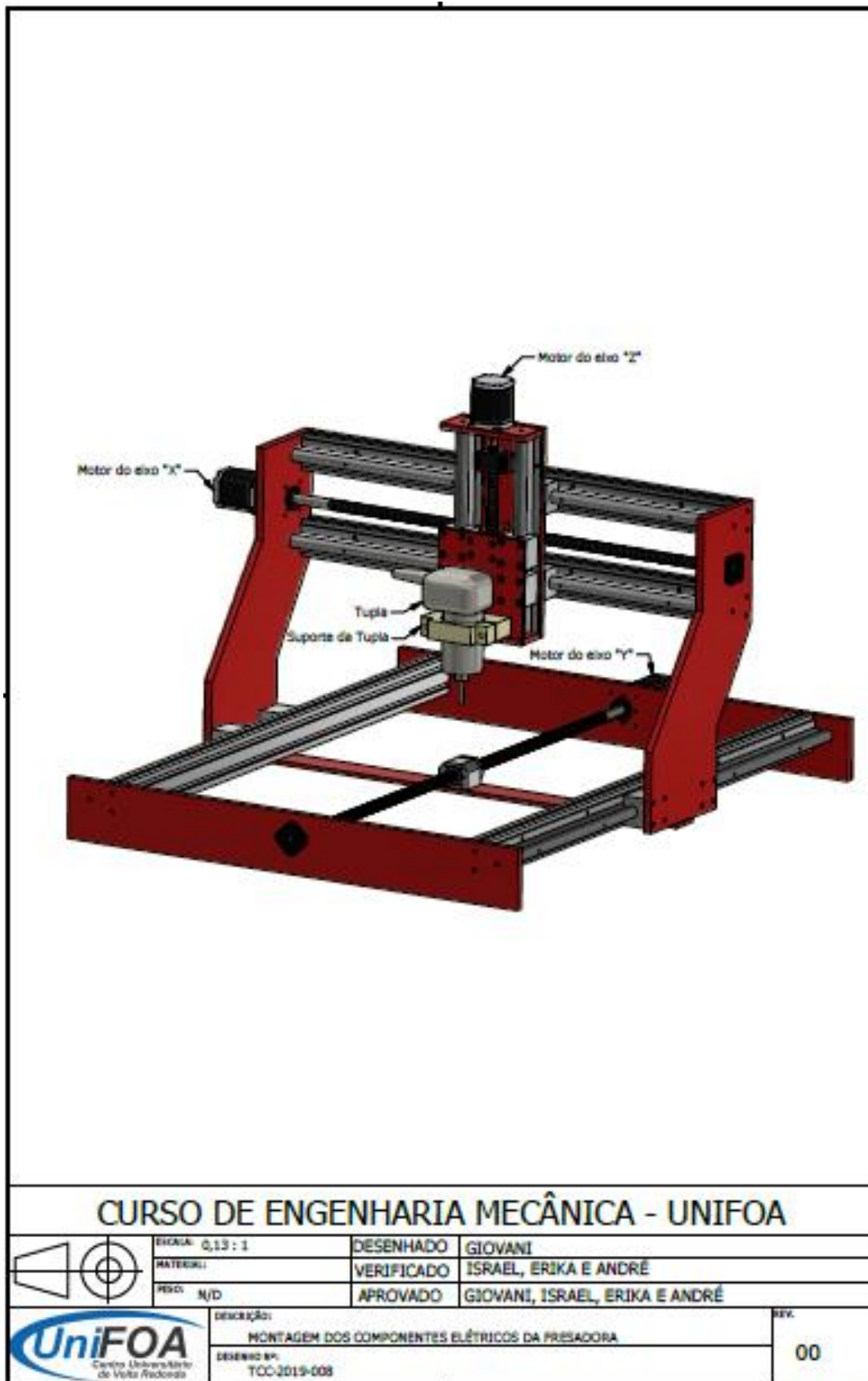
REV.

00

ANEXO 7 - Estrutura de movimento dos eixos "X" e "Z".



ANEXO 8 - Montagem dos componentes elétricos da fresadora.



ANEXO 9 - Custos dos materiais e componentes utilizados na fresadora

ITEM	DESCRIÇÃO	MEDIDAS/POTÊNCIA	Nº DESENHO/MODELO	QUANT.	MATERIAL	PREÇO/TOTAL
1	Acoplamento flexível Ø6,35mm x Ø10mm	Ø25mm x 30mm	N/A	3	ALUMINIO	R\$ 155,01
2	Botão sinaleiro verde	22MM	LED 22MM	1	ACRILICO	R\$ 6,00
3	Botão sinaleiro vermelho	22MM	LED 22MM	1	ACRILICO	R\$ 6,00
4	Cabo PP 3 vias de 1mm	1mmx15m	N/A	15	N/A	R\$ 43,20
5	Cabo PP 4 vias de 1mm	1mmx10m	N/A	10	N/A	R\$ 75,00
6	Caixa de aço para painel elétrico	200x300x400	N/A	1	AÇO	R\$ 125,00
7	Chapa da estrutura frontal	12,7mm X 100mm X 830mm	TCC-2019-001	1	AÇO CARBONO	DOAÇÃO
8	Chapa da estrutura lateral direita	12,7mm X 300mm X 482mm	TCC-2019-004	1	AÇO CARBONO	DOAÇÃO
9	Chapa da estrutura lateral esquerda	12,7mm X 300mm X 482mm	TCC-2019-003	1	AÇO CARBONO	DOAÇÃO
10	Chapa da estrutura traseira	12,7mm X 100mm X 830mm	TCC-2019-002	1	AÇO CARBONO	DOAÇÃO
11	Chapa de alumínio para estrutura do eixo Z	9,52mm x 30mm x 50mm	TCC-2019-006	1	ALUMINIO	R\$ 228,00
12	Chapa de movimentação do eixo "Y"	12,7mm X 50mm X 830mm	TCC-2019-005	1	AÇO CARBONO	R\$ 0,00
13	Chave Seccionadora 10a	60MM	690vca	1	CERAMICO	R\$ 23,00
14	Chave Seccionadora 20a	60MM	KP0-20-3P	1	CERAMICO	R\$ 46,90
15	Conector macho/fêmea 3 vias	N/A	3 VIAS	6	N/A	R\$ 120,00
16	Conector macho/fêmea 4 vias	N/A	4 VIAS	3	N/A	R\$ 60,00
17	Dijuntor Bifásico 20a	20A	N/A	1	N/A	R\$ 9,50
18	Esteira porta cabo + terminal 20x10	10mm x 20mm x 1000mm	20X10	2	PLASTICO	R\$ 98,00
19	Fio flexível 2,5mm	1mmx1m	N/A	1	N/A	R\$ 3,00
20	Fio flexível de 1,0mm	1mmx1m	N/A	1	N/A	R\$ 1,50
21	Fio flexível de 1,5mm	1mmx1m	N/A	1	N/A	R\$ 2,50
22	Fonte chaveada estabilizada 24v 15a 360w bivolt	24v 15a	N/A	1	N/A	R\$ 49,99
23	Fuso de esfera SFU1605 L1000mm com castanha e usinado p/ padrão BK12/BF12	Ø16mm x 1000mm	SFU1605	1	AÇO CARBONO	R\$ 499,00
24	Fuso de esfera SFU1605 L300mm com castanha e usinado p/ padrão BK12/BF12	Ø16mm x 300mm	SFU1605	1	AÇO CARBONO	R\$ 185,00
25	Fuso de esfera SFU1605 L800mm com castanha e usinado p/ padrão BK12/BF12	Ø16mm x 800mm	SFU1605	1	AÇO CARBONO	R\$ 375,00
26	Guia linear com eixo Ø20mm cromado e com suporte(base) de alumínio - L1000mm	37mm x 45mm x 1000mm	SBR20	2	AÇO CARBONO / ALUMINIO	R\$ 170,00
27	Guia linear com eixo Ø20mm cromado e com suporte(base) de alumínio - L300mm	37mm x 45mm x 300mm	SBR20	2	AÇO CARBONO / ALUMINIO	R\$ 52,00
28	Guia linear com eixo Ø20mm cromado e com suporte(base) de alumínio - L800mm	37mm x 45mm x 800mm	SBR20	2	AÇO CARBONO / ALUMINIO	R\$ 136,00
29	Mancal de rolamento BK12 E BF12	34mm x 43mm x 60mm	BK12 e BF12	2	AÇO CARBONO	R\$ 130,00
30	Mancal de rolamento FK12 E FF12	34mm x 43mm x 43mm	FK12 e FF12	1	AÇO CARBONO	R\$ 45,00
31	Motor de passo NEMA 23 - 15Kgf.cm	15Kgf.cm	AK23/15F6FN1.8	3	N/A	R\$ 488,70
32	Parafuso cabeça cilíndrica com sextavado interno M4x25	M4x25	DIN 912 - CLASSE 12,9	8	AÇO LIGA	R\$ 16,00
33	Parafuso cabeça cilíndrica com sextavado interno M5x20	M5x20	DIN 912 - CLASSE 12,9	26	AÇO LIGA	R\$ 65,00
34	Parafuso cabeça cilíndrica com sextavado interno M5x25	M5x25	DIN 912 - CLASSE 12,9	44	AÇO LIGA	R\$ 112,20
35	Parafuso cabeça cilíndrica com sextavado interno M5x40	M5x40	DIN 912 - CLASSE 12,9	20	AÇO LIGA	R\$ 50,00
36	Parafuso cabeça cilíndrica com sextavado interno M5x60	M5x60	DIN 912 - CLASSE 12,9	12	AÇO LIGA	R\$ 14,40
37	Parafuso cabeça cilíndrica com sextavado interno M6x20	M6x20	DIN 912 - CLASSE 12,9	16	AÇO LIGA	R\$ 7,20
38	Parafuso cabeça cilíndrica com sextavado interno M6x30	M6x30	DIN 912 - CLASSE 12,9	16	AÇO LIGA	R\$ 6,40
39	Parafuso cabeça cilíndrica com sextavado interno M6x40	M6x40	DIN 912 - CLASSE 12,9	12	AÇO LIGA	R\$ 6,00
40	Parafuso cabeça cilíndrica com sextavado interno M8x40	M8x40	DIN 912 - CLASSE 12,9	2	AÇO LIGA	R\$ 4,60
41	Parafuso cabeça escareada com sextavado interno M4x20	M4x20	DIN 912 - CLASSE 12,9	8	AÇO LIGA	R\$ 3,20
42	Parafuso cabeça escareada com sextavado interno M5x25	M5x25	DIN 912 - CLASSE 12,9	32	AÇO LIGA	R\$ 17,60
43	Parafuso cabeça sextavada M8x100	M8x100	DIN 912 - CLASSE 12,9	2	AÇO LIGA	R\$ 4,00
44	Perfil estrutural de alumínio modelo PF30-02	30mm X 60mm X 800mm	PF30-02	2	ALUMINIO	R\$ 169,60
45	Perfil estrutural de alumínio modelo PF30-02	30mm X 60mm X 1000mm	PF30-02	2	ALUMINIO	R\$ 212,00
46	Pillow block aberto SBR20UU com rolamento linear 20mm	39mm X 48mm X 50mm	SBR20UU	16	ALUMINIO	R\$ 608,00
47	Porca Retangular - M5	30/40/50 - Rosca: M5	PR40-XX	40	AÇO CARBONO	R\$ 70,00
48	Suporte castanha fuso esferas 16mm - SFU 1605	40mm X 40mm X 52mm	DSG16H	3	ALUMINIO	R\$ 119,70
49	Suporte espaçador p/ motor de passo NEMA 23	57x57x40	N/A	3	PLASTICO	R\$ 60,00
50	Suporte para tupia	110X110X30	TCC-2019-007	1	NYLON	R\$ 15,00
51	TB6600 driver motor de passo 2 fase 4a 9-40 Vdc	4a 9-40 Vdc	TB6600	3	ALUMINIO	R\$ 156,00
52	Tupia Laminadora 710w - Rt0700c - Makita - 110v	710 W - 110v	RTC700C	1	N/A	R\$ 589,00

TOTAL R\$ 5.439,20