

# **FAACZ**

**FACULDADES INTEGRADAS DE ARACRUZ**

**FAACZ – FACULDADES INTEGRADAS DE ARACRUZ**

**ENGENHARIA MECÂNICA**

**FÁBIO MOREIRA SALLES**

**JACKSON PEREIRA MOURA**

**RICHARD NOGUEIRA OLIVEIRA**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA FRESADORA**

**CNC DE TRÊS EIXOS DO TIPO ROUTER**

**ORIENTADOR: PROF. ME. VITAL PEREIRA**

**BATISTA JÚNIOR**

**ARACRUZ**

**2017**

FÁBIO MOREIRA SALLES  
JACKSON PEREIRA MOURA  
RICHARD NOGUEIRA OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA FRESADORA CNC DE TRÊS EIXOS DO TIPO  
ROUTER**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a  
FAACZ – Faculdades Integradas de Aracruz, como  
requisito parcial para obtenção de grau de bacharel  
em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Me. Vital Pereira Batista  
Júnior

ARACRUZ

2017

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a DEUS que permitiu a realização deste trabalho e também de todas as coisas ao longo de nossas vidas, não somente nestes anos cursando Engenharia Mecânica, mas em todos os momentos pois Ele é o maior mestre que podemos ter.

À FAACZ pelo ambiente criativo e amigável que nos proporcionou;

Ao Centro Integrado SESI/ SENAI/ IEL - Aracruz-ES e ao professor Wallace Nascimento, por ter nos apoiado na usinagem das peças;

Ao apoio que recebemos do Klayton Anderson Sabino nos laboratórios de mecânica da Faacz.

Ao nosso orientador Vital Pereira Batista Junior pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelos incentivos e correções;

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte do nosso trabalho, o nosso muito obrigado.

## RESUMO

Este trabalho se trata do desenvolvimento de uma Fresadora CNC do tipo *router* de 3 eixos, englobando o projeto, orçamento e fabricação de uma máquina com as seguintes características: capacidade de atender a pequenos e médios produtores e artesãos, ser economicamente mais viável que as máquinas presentes no mercado com as mesmas especificações, ter a capacidade de usinar materiais de baixa dureza, como por exemplo, madeira e alumínio. O projeto da fresadora está dividido em três partes: projeto mecânico, projeto eletroeletrônico e projeto de *software*. A primeira parte trata da especificação dos elementos de máquina e também a escolha dos materiais da estrutura. O projeto eletroeletrônico trata da escolha dos motores, drivers de potência, sensores, controladores e montagem do painel de comando de acordo com as normas NBR 5410, NBR 13759 e NR 12. O projeto de *software* visa a utilização de programas para controle de velocidade e direção dos motores através da plataforma Arduino, como também implementação de uma interface gráfica que permita a fácil interação do usuário com a máquina. Ao comparar o modelo fabricado com os modelos comercializados nacionalmente constatou-se maior custo-benefício, devido ao *layout* otimizado e uma estrutura mais leve proporcionando o uso de motores menores e aumentando também o rendimento destes.

**Palavras-chave:** Fresadora. CNC. Fresamento. Usinagem. Arduino.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - FRESADORA DE ELI WHITNEY .....	14
FIGURA 2- FRESADORA CNC "ROUTER" .....	15
FIGURA 3 - FUNCIONAMENTO DO FUSO .....	18
FIGURA 4 - ROLAMENTO LINEAR - BUCHA DE ESFERAS .....	19
FIGURA 5 - ROLAMENTO LINEAR - PILLOW BLOCK .....	20
FIGURA 6 - MICROCONTROLADOR ARDUINO .....	22
FIGURA 7 - EXEMPLO DE CHAVE MICRO-SWITCH.....	24
FIGURA 8 - EXEMPLO DO FUNCIONAMENTO DE UMA CHAVE MICRO-SWITCH .....	25
FIGURA 9 - MOTOR DE CORTE - SPINDLE.....	25
FIGURA 10 - PORCA CILÍNDRICA FLANGEADA .....	30
FIGURA 11 - DRIVER TB6560.....	32
FIGURA 12 - BUCHA DE ESFERAS LME 20UU .....	35
FIGURA 13 - GRÁFICO DE DESEMPENHO NEMA 23 .....	36
FIGURA 14 - PROCESSO DE CONTROLE - FRESADORA CNC.....	37
FIGURA 15 - UNIVERSAL G-CODE SENDER .....	39
FIGURA 16 - PAINEL DE COMANDO.....	40
FIGURA 17 - BOTÃO DE PARADA DE EMERGÊNCIA .....	41
FIGURA 18 - ESTEIRA PORTA-CABOS.....	42
FIGURA 19 - FRESA DE TOPO DE 2 CORTES COM HASTE PARALELA.....	43
FIGURA 20 - PARÂMETROS DE FRESAMENTO .....	43
FIGURA 21- TIPOS DE MONTAGEM DO FUSO.....	46
FIGURA 22 - DIAGRAMA DA CARGA AXIAL MÁXIMA .....	47
FIGURA 23 - DIAGRAMA (RPM CRÍTICO) .....	49
FIGURA 24 - PARTE INTERNA - PAINEL ELÉTRICO.....	59
FIGURA 25 - FLUXOGRAMA DA MONTAGEM ELÉTRICA .....	61
FIGURA 26 - PAINEL ELÉTRICO FINALIZADO .....	61
FIGURA 27 - MODELO 3D- FRESADORA CNC.....	62
FIGURA 28 – USINAGEM DA PARTE ESTRUTURAL.....	64
FIGURA 29 - FRESADORA CNC – MONTAGEM DA MÁQUINA.....	64
FIGURA 30 - GRÁFICO - ORÇAMENTO DIVIDO EM SETOR.....	69

## LISTA DE TABELAS

TABELA 2 - COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE ATUAÇÃO .....	17
TABELA 3 - COMPARAÇÃO ENTRE ACOPLAMENTOS.....	21
TABELA 4- PRINCIPAIS FUNÇÕES PREPARATÓRIAS.....	26
TABELA 5 - MATERIAIS UTILIZADOS EM MÁQUINAS-FERRAMENTAS .....	28
TABELA 6 - COMPARAÇÃO ENTRE OS PERFIS DE VELOCIDADE .....	31
TABELA 7 - CONFIGURAÇÃO DO DRIVER .....	34
TABELA 8 - ESQUEMA DE CONFIGURAÇÃO DO DRIVER .....	34
TABELA 9 - LIGAÇÃO DRIVER/MOTOR.....	34
TABELA 10 - COEFICIENTE DE FORÇA ESPECÍFICA .....	45
TABELA 11 - CARGA AXIAL MÁXIMA.....	48
TABELA 12 - DIAGRAMA DO RPM CRÍTICO .....	50
TABELA 13 - FORÇAS DE CORTE CALCULADAS .....	53
TABELA 14 - ESTRUTURA A SER MOVIMENTADA PELOS MOTORES DO EIXO Y .....	56
TABELA 15 - COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS .....	67
TABELA 16 – LISTA DE MATERIAIS (ESTRUTURA METÁLICA) .....	68
TABELA 17 – LISTA DE MATERIAIS (MOVIMENTAÇÃO).....	68
TABELA 18 - LISTA DE MATERIAIS - ELETRÔNICA.....	69

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CN	Comando Numérico
CNC	Comando Numérico Computadorizado
FIFO	First in First Out
ISO	International Organization for Standardization
LED	Light Emitting Diode
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
NBR	Nitrilo Butadieno
NC	Normally Closed
NO	Normally Opened
POM	Polióxido de metileno
PPS	Passo por segundo
PWM	Pulse Width Modulation
USB	Universal Serial Bus

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	12
1.2 OBJETIVOS.....	13
<b>1.2.1 OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>13</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
2.1 – BREVE HISTÓRIA DA FRESADORA.....	14
2.1 – FRESAMENTO .....	14
2.2 – COMPONENTES DE UMA MÁQUINA CNC .....	15
2.3 – PROJETO MECÂNICO.....	16
<b>2.3.1 Rigidez .....</b>	<b>16</b>
<b>2.3.1 Sistemas conversores de movimento .....</b>	<b>16</b>
<b>2.3.2 Guias Lineares .....</b>	<b>18</b>
<b>2.3.3 Rolamentos Lineares .....</b>	<b>18</b>
<b>2.3.4 Acoplamentos .....</b>	<b>20</b>
2.4 – PROJETO ELETROELETRÔNICO.....	22
<b>2.4.1 Controlador.....</b>	<b>22</b>
<b>2.4.2 Motores de movimentação .....</b>	<b>23</b>
<b>2.4.3 Drivers de Acionamento.....</b>	<b>24</b>
<b>2.4.4 Chaves “fim de curso”.....</b>	<b>24</b>
<b>2.4.5 Motor de Corte.....</b>	<b>25</b>
2.5 – PROJETO DE SOFTWARE .....	25
<b>2.5.1 - Código G .....</b>	<b>25</b>
<b>2.5.2 - Grbl.....</b>	<b>26</b>
<b>2.5.3 - Grbl Controller.....</b>	<b>27</b>
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>28</b>
3.1 PROJETO DA ESTRUTURA.....	28
<b>3.1.1 Materiais da Estrutura Mecânica .....</b>	<b>28</b>

<b>3.1.2 - Porca Cilíndrica Flangeada</b> .....	<b>29</b>
<b>3.1.3 – Seleção dos Acoplamentos</b> .....	<b>30</b>
3.2 – SELEÇÃO DOS MOTORES .....	30
<b>3.2.1 – Equações para o Dimensionamento dos motores de passo</b> .....	<b>30</b>
<b>3.2.2 - Cálculo do Momento de Inércia</b> .....	<b>31</b>
<b>3.3.1 – Driver TB6560</b> .....	<b>32</b>
<b>3.3.2 – Corrente e Tensão da Fonte de Alimentação</b> .....	<b>33</b>
<b>3.3.3 – Conexão dos Drivers</b> .....	<b>33</b>
3.4 – TRANSMISSÃO DE MOVIMENTO .....	35
<b>3.4.1 - Rolamentos Lineares</b> .....	<b>35</b>
<b>3.4.2 – RPM Nominal</b> .....	<b>36</b>
3.5 – PROCESSO DE CONTROLE .....	37
<b>3.5.1 – Softwares Utilizados</b> .....	<b>37</b>
3.6 – COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS CNC .....	39
3.7 – MONTAGEM ELÉTRICA .....	40
<b>3.7.1 -Painel de Comando</b> .....	<b>40</b>
<b>3.7.2 - Botão de Parada de Emergência</b> .....	<b>40</b>
<b>3.7.3 – Disjuntor</b> .....	<b>41</b>
<b>3.7.4 - Esteira Porta-Cabo</b> .....	<b>42</b>
3.8 – FORÇA DE CORTE .....	43
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>46</b>
4.1 – DIMENSIONAMENTO MECÂNICO .....	46
<b>4.1.1 – Carga Axial Máxima</b> .....	<b>46</b>
<b>4.1.2 – RPM Crítico</b> .....	<b>49</b>
<b>4.1.3 – Cálculo do RPM Nominal</b> .....	<b>51</b>
<b>4.1.4 – Cálculo da Força de Corte</b> .....	<b>51</b>
<b>4.1.5 – Seleção Do Fuso</b> .....	<b>54</b>
<b>4.1.6 – Escolha da Porca Cilíndrica Flangeada</b> .....	<b>54</b>
4.2 – DIMENSIONAMENTO ELETRÔNICO.....	55

<b>4.2.1 – Dimensionamento da fonte de alimentação.....</b>	<b>55</b>
<b>4.2.2 – Dimensionamento dos Motores de Passo.....</b>	<b>55</b>
4.3 – MONTAGEM DO PAINEL DE COMANDO ELÉTRICO .....	59
4.4 – MODELO 3D .....	62
4.5 – USINAGEM DA ESTRUTURA.....	63
<b>4.5.1 – Dificuldades Encontradas .....</b>	<b>65</b>
4.6 – COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS.....	66
4.7 – LISTA DE MATERIAIS .....	68
<b>4.7.1 – Lista de Materiais .....</b>	<b>68</b>
<b>4.7.2 – Lista de Materiais – Movimentação.....</b>	<b>68</b>
<b>4.7.3 – Lista de Materiais – Eletroeletrônica.....</b>	<b>69</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>70</b>
5.1 – SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS .....	71
<b>6 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>72</b>
<b>ANEXO A – CATÁLOGO – BUCHA DE ESFERAS .....</b>	<b>76</b>
<b>ANEXO B – CATÁLOGO – MOTOR DE PASSO.....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXO C – CATÁLOGO – PILLOW BLOCK SMA20UU .....</b>	<b>78</b>
<b>ANEXO D – CATÁLOGO – ACOPLAMENTOS ADS-K.....</b>	<b>79</b>
<b>ANEXO E – CATÁLOGO – CHAVE MICRO-SWITCH .....</b>	<b>80</b>
<b>ANEXO F – CATÁLOGO – PORCA CILÍNDRICA FLANGEADA.....</b>	<b>81</b>
<b>ANEXO G – DRIVER TB6560.....</b>	<b>82</b>
<b>ANEXO H – PRODUÇÃO E CONSUMO DE MÁQUINAS CNC NO MUNDO.....</b>	<b>83</b>
<b>APÊNDICE I – DESENHOS – PROJETO ESTRUTURAL.....</b>	<b>84</b>
<b>APÊNDICE J – DESENHOS – PROJETO ESTRUTURAL .....</b>	<b>85</b>
<b>APÊNDICE K – DESENHOS – PROJETO ESTRUTURAL .....</b>	<b>86</b>
<b>APÊNDICE L – DESENHOS – PROJETO ESTRUTURAL.....</b>	<b>86</b>
<b>APÊNDICE M – DESENHOS – PROJETO ESTRUTURAL .....</b>	<b>88</b>
<b>APÊNDICE N – DESENHOS – PROJETO ESTRUTURAL .....</b>	<b>89</b>
<b>APÊNDICE O – PROTÓTIPO DESENVOLVIDO.....</b>	<b>90</b>
<b>APÊNDICE P – PROTÓTIPO DESENVOLVIDO .....</b>	<b>91</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Desde as eras mais longínquas nas mais antigas sociedades, o ser humano busca automatizar o seu trabalho. A automação simplifica todo tipo de trabalho, seja ele físico ou mental. (CASSANIGA, 2005)

A automação permite a minimização da interferência do ser humano em determinada tarefa. Com a ascensão da tecnologia, o ser humano criou algo chamado Comando Numérico (CN), que se baseia no controle de uma máquina através de coordenadas numéricas.

Com a chegada dos sistemas computadorizados na indústria bem como a ascensão da informática, foi possível incorporar a tecnologia do CN ao computador, ocasionando em um sistema chamado de Comando Numérico Computadorizado (CNC), permitindo assim que sistemas de processamento adquirissem interface gráfica. (MACHADO, 1986).

No Brasil, o comércio de máquinas CNC para usinagem revela um considerável crescimento. Devido à enorme rivalidade na indústria, a busca por ferramentas automatizadas está crescendo rapidamente, no ano de 2003, a quantidade de máquinas CNC vendidas representava 33% do mercado de máquinas-ferramentas, no ano de 2013, o percentual ultrapassou 50%. (SIMON, 2015).

De acordo com a Garden Research (2015), no Brasil existe um déficit na produção de máquinas. Em 2014 o país consumiu 1014,6 milhões de dólares em máquinas CNC, já produção neste mesmo ano foi de 280 milhões.

É importante destacar que a tecnologia CNC pode ser aplicada em diferentes processos, isso deve-se pelo seu método de programação baseado em coordenadas cartesianas. É um processo mais popular em aplicações voltadas para operações de usinagem, porém existem diversos segmentos da indústria que utilizam esta tecnologia, podendo destacar, corte de tecido, operações de corte a laser e plasma, sistemas de medição, máquinas bordadoras, e impressão tridimensional. (SOUZA e ULBRICH, 2009).

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Em face à crescente evolução tecnológica, é impossível se pensar em um processo de fabricação rápido e de qualidade, sem considerar a existência de uma máquina CNC, de modo que haja a mínima intervenção humana.

Na busca para se tornar competitiva no mercado, uma empresa precisa ter uma linha de produção que seja capaz de entregar bons produtos em um tempo hábil para satisfazer os possíveis consumidores varejistas. Nem sempre atividades puramente manuais conseguem suprir uma linha de produção mantendo o padrão tempo-qualidade aceitável. Segundo Gonçalves (2007), um sistema onde existe grande necessidade da intervenção do operador, não pode ser considerado preciso. Uma possível solução para grande demanda de produtos precisos e confiáveis é a automatização da produção.

Para atender o mercado, empresas de pequeno e médio porte precisam investir quantidades razoáveis de dinheiro. Muitas vezes pequenos empresários e artesãos não possuem o capital necessário para ter em sua oficina uma máquina automatizada.

Nesse contexto, este trabalho visa dimensionar, projetar e construir uma Fresadora CNC de três eixos do tipo *router*. Este proporciona maior área útil em relação ao custo, e irá atender as necessidades de artesãos, pequenos e médio produtores, que utilizam como matéria prima principal madeira, alumínio, acrílico, resinas e plásticos de engenharia. Sendo estes com dimensões inferiores a 600x400mm, e altura menor que 100mm.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver uma fresadora CNC *router* de 3 eixos que atenda a pequenos e médios produtores e artesãos.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

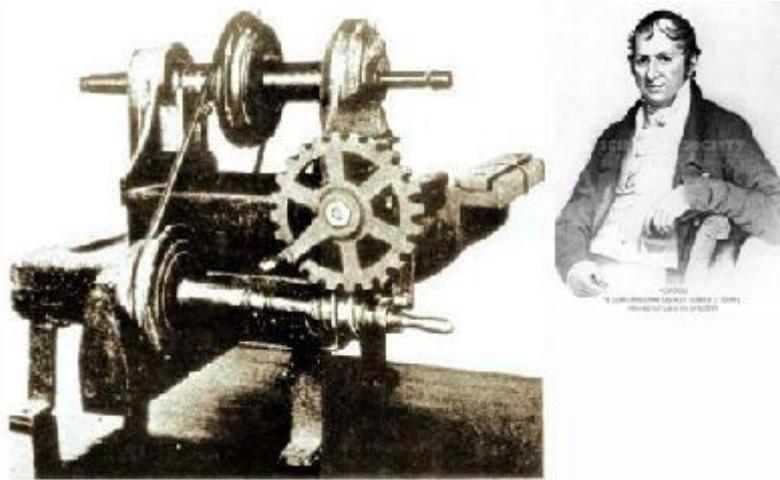
- Definir dimensões e especificações da máquina CNC de acordo com a necessidade de usinagem de materiais de baixa dureza e pequenas dimensões, inferiores a 600x400x100mm.
- Projetar a máquina através de *softwares* de desenho, utilizando softwares de desenho 2D e 3D.
- Dimensionar e fabricar uma fresadora CNC do tipo *router* e um painel de comando eletroeletrônico, segundo as normas ISO e NBR.
- Comparar a máquina CNC com os modelos semelhantes encontrados no mercado brasileiro.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 – BREVE HISTÓRIA DA FRESADORA

Inventada em 1818 pelo norte-americano Eli Whitney, a primeira fresadora foi construída a partir da necessidade de fabricação de peças para rifles. Eli queria fornecer cerca de 10.000 armas para o governo em apenas 2 anos. O modelo fabricado por Eli não dispunha de motor. O movimento do eixo principal era conseguido através do giro de um volante que trabalhava sobre um parafuso com rosca-sem-fim. (ROLT, 1965)

Figura 1 - Fresadora de Eli Whitney



Fonte: (ROLT, 1965)

### 2.1 – FRESAMENTO

O fresamento pode ser definido como um processo de usinagem amplamente utilizado para dar forma ou acabamento em peças através da remoção de material de sua superfície, na maior parte das operações. Nessa operação, a ferramenta (Fresa), se encontra em movimento de rotação, enquanto a peça está fixa numa plataforma. Nas fresadoras convencionais a ferramenta é sempre fixa num dos eixos cartesianos, geralmente o eixo Z, e a peça é fixa em uma plataforma móvel que se desloca em relação a ferramenta. Assim os movimentos de avanço são feitos pela peça. (BACCI, COELHO, *et al.*, 2009)

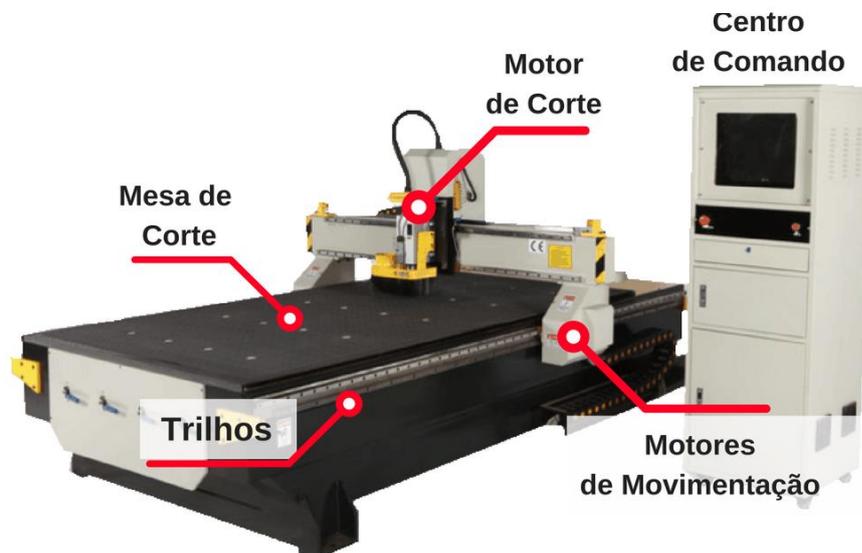
Em uma fresadora do tipo *router*, a ferramenta é fixa em um pórtico móvel, que movimenta por toda a área útil da máquina. Em geral, a área útil de uma fresadora convencional é significativamente menor que de uma *router*. Isso se deve ao fato de que as fresadoras convencionais são projetadas para trabalhar com materiais ferrosos como aços e ferros fundidos, necessitando assim de estruturas mais rígidas e resistentes. As *routers* são feitas para

trabalharem com materiais mais maleáveis, podendo assim simplificar estruturalmente o seu projeto. Ao oferecer uma área útil maior, têm-se a possibilidade de trabalhar com diversas gamas de chapas de madeira, acrílico, alumínio, plásticos etc. (STOETERAU, 2004)

## 2.2 – COMPONENTES DE UMA MÁQUINA CNC

Os elementos que transformam os comandos enviados pelo controlador em movimento mecânico, são de grande importância para uma correta execução do trabalho. Estes são fundamentais para proporcionar uma maior precisão e controle dos processos executados pelas Fresadoras CNC. Dentre estes componentes, é destacado os motores (responsáveis pela transformação de sinais elétricos em movimento), e os fusos (responsáveis pela transformação do movimento circular para o linear) que transmitem movimento para castanha e consequentemente à mesa ou eixo móvel da máquina. (SUH, 2008)

Figura 2- Fresadora CNC "Router"



Fonte: (GLORYLASER) Adaptado.

A figura acima mostra um exemplo de fresadora comercial do tipo *router*, os motores de movimentação são responsáveis por deslocar o motor de corte ao longo da mesa. Neste caso o elemento que transmitirá este movimento são as cremalheiras, que podem ser substituídas por outros mecanismos de transmissão, tais como: fusos, correias, patins, etc.

## 2.3 – PROJETO MECÂNICO

### 2.3.1 Rigidez

Rigidez é a propriedade do material que oferece resistência a sua deformação. A flexão quando ocorre a deformação em um corpo perpendicularmente em relação ao seu eixo e paralelo à força aplicada. Sofrer flexão leva a deslocar para mais ou para menos a posição da ferramenta durante as operações de usinagem. Quanto mais acentuada for, menos precisão o equipamento oferecerá.

*“Quem estudou a relação de proporcionalidade nos materiais foi Thomas Young (físico inglês, 1773-1829). Ele indicou que para cada material existe uma relação única entre tensão e deformação. Essa relação de proporcionalidade foi denominada **Módulo de Elasticidade**, também chamada de Módulo de Young. É indicada com a letra latina maiúscula ( $E$ ). O módulo de elasticidade é a medida de sua rigidez, isto é, quanto maior for o módulo de elasticidade, para uma mesma seção transversal, maior será a tensão normal necessária para deformá-lo.” (PINHEIRO e CRIVELARO, 2016)*

Segundo Stoeterau (2004), no projeto estrutural de uma fresadora, a rigidez tem uma importância muito maior que a capacidade de carga dos elementos sustentação (fusos, guias). Isto porque os esforços gerados durante a usinagem, são bem inferiores aos limites admissíveis desses materiais.

### 2.3.1 Sistemas conversores de movimento

Nas fresadoras CNC, a maioria dos acionamentos são de ação rotativa, essa fonte de movimento vem do motor de passo. Os deslocamentos destas máquinas, são normalmente de padrão linear, portanto é preciso um elemento que converta movimento rotativo do eixo do motor para o padrão linear. (MOREIRA, 2015)

A conversão rotativa para linear, pode ser feita através de diversos elementos de máquinas, como fusos, conjunto pinhão/cremalheira, correias, trilhos, cabos e etc. A Tabela 2 faz um comparativo das características dos principais métodos de atuação.

Tabela 1 - Comparação entre métodos de atuação

	Fusos de avanço	Fusos de esferas	Potência do fluido	Mecanismo de correia, cabo e corrente de transmissão	Cremlheira e pinhão	Roletes de came de desvio	Cilindros pneumáticos
Barato			○	●	○	●	
Baixo consumo de energia		●		●	●	●	
Baixa manutenção	●	●		○	○	○	●
Alta precisão		●					
Alta repetibilidade	○	●					
Alta eficiência		●			○	○	
Alta capacidade de carga		●	●				○
Tamanho compacto	●	●			●		○
Velocidade	●	●		●	●		●
Baixo ruído	●	○		○		○	
Flexibilidade de design	●	●			○		
Tolerância de contaminação	●	○	●				

● = sempre  
○ = na maioria dos casos

Fonte: (LEADSCREWS)

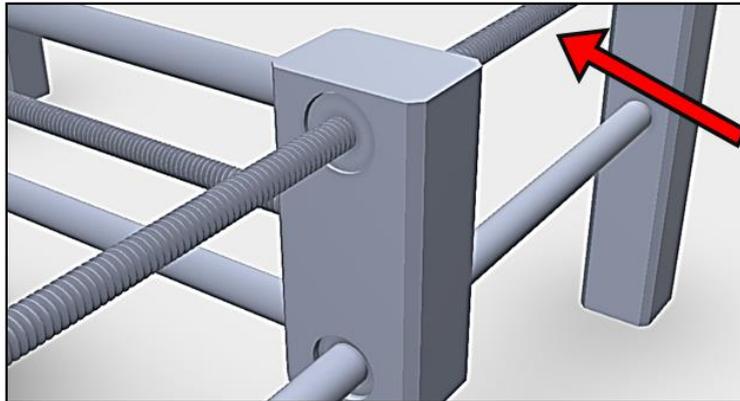
A utilização de fusos se mostra mais viável, quando se trata de repetibilidade e precisão, os fusos de esferas tem as melhores características, pois as folgas entre a porca cilíndrica flangeada e os filetes da rosca são mínimas, já a geometria trapezoidal permite um maior espaço porca/filete, diminuindo assim a precisão do elemento. (SANTOS, 2001)

De acordo com Santos (2001), os fusos esféricos possuem rendimento mecânico de até 98%, e um alcance de precisão de valores como 0,001 mm. Já os trapezoidais possuem rendimento mecânico de no máximo 50% e valores de precisão próximos a 0,01 mm. Além disso os fusos esféricos possuem uma vida útil mais longa, necessitam de menor potência de acionamento, atrito reduzido, construção simples, possibilitam maior velocidade de translação.

Para a transformação de movimento rotativo/linear, o fuso deve estar fixado de modo que permita apenas movimento de rotação, além de estar associado a castanha, que permite somente o movimento no sentido linear. Quando o fuso é girado, a castanha se desloca para frente ou para trás, dependendo do sentido de rotação. (WERNER, 2015).

A movimentação do fuso faz com que o carro transversal se desloque sem que o mesmo rotacione, conforme mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Funcionamento do Fuso



O fuso fará o carro se deslocar, sem que o mesmo rotacione.

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 2.3.2 Guias Lineares

As guias são elementos de fundamental importância nas máquinas sendo elas CNC ou convencionais, elas detêm grande influência sobre fatores como por exemplo o excesso de folgas e vibrações que conseqüentemente diminuem a precisão do equipamento. (NASCIMENTO, 2011)

*“(...) as guias são definidas como elementos estruturais que permitem que um componente deslize ao longo de outro num dado padrão. Em guias lineares, o padrão de movimento é retilíneo e geralmente restrito a um grau de liberdade”.*  
(STOETERAU, 2004)

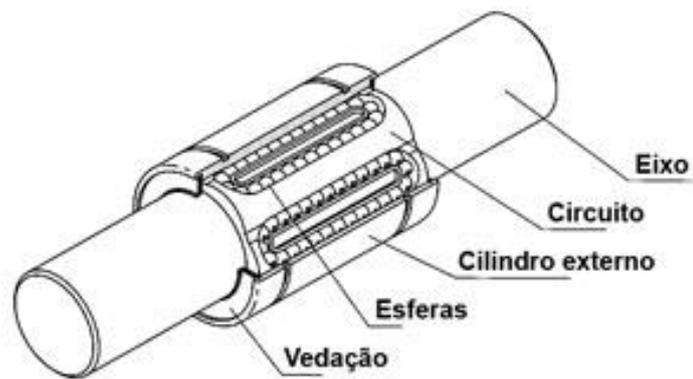
Segundo Nascimento (2011), estas guias são constituídas de barras rígidas que fazem a sustentação da máquina e também orientar o deslocamento, de modo a minimizar as folgas e o deslocamento seja de forma suave, com o mínimo de vibração.

### 2.3.3 Rolamentos Lineares

Para movimentação linear ao longo de eixos, são utilizados os chamados rolamentos lineares, tais elementos permitem avanços de alta performance e precisão com mínimo atrito, são normalmente empregados em máquinas que requerem alta precisão, como por exemplo: equipamentos de medição em 3D, equipamentos de gravação automáticos, sistemas de movimentação linear em máquinas, máquinas para afiação de ferramentas, máquinas de impressão, máquinas para embalar alimentos, etc. (SKF, 2016)

Diferente dos “*Pillow Blocks*” os rolamentos lineares do tipo buchas de esferas, são fabricados sem o mancal. São compostos de um cilindro externo, uma pista de esferas dispostas linearmente e anéis de vedação, esta bucha é acoplada nas guias lineares conforme mostrada na Figura 4.

Figura 4 - Rolamento Linear - Bucha de Esferas

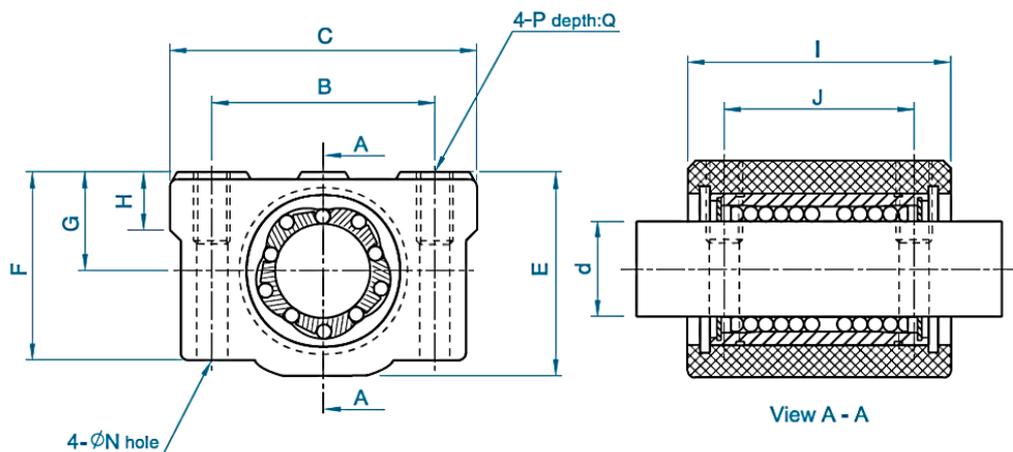


Fonte: (OBR, 2017)

### 2.1.3.1 Pillow Blocks

Afim de minimizar os erros relacionados as incertezas no alinhamento da máquina e no deslocamento nas fresadoras CNC, é comumente utilizado rolamentos lineares inseridos em mancais, que são comercialmente conhecidos por “*Pillow Blocks*”, estes mancais são facilmente fixados na estrutura e conferem um auto alinhamento, absorvendo também vibrações geradas no processo de usinagem. (MEYERS, 1951). A figura abaixo mostra uma vista frontal e outra lateral em corte de um *pillow block*.

Figura 5 - Rolamento Linear - *Pillow Block*



Fonte: (KALATEC, 2013)

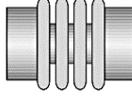
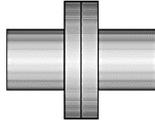
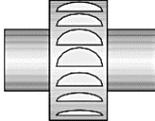
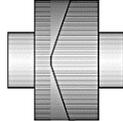
### 2.3.4 Acoplamentos

No projeto de máquinas CNC, é considerada uma tarefa de grande dificuldade o alinhamento do eixo do motor com o fuso, mesmo com técnicas refinadas de ajustagem e uma ótima fabricação, existe sempre a necessidade do uso de acoplamentos, que terão a finalidade de: unir os eixos, compensar o desalinhamento e transmitir movimento. (STOETERAU, 2004)

*“No projeto de máquinas-ferramentas e instrumentos de precisão, uma das tarefas consideradas mais difíceis é a de garantir o correto alinhamento entre eixo e acionamento. Independentemente dos cuidados no detalhamento do projeto, do uso de técnicas de ajustagem e uma fabricação esmerada, sempre haverá a necessidade de se compensar esse desalinhamento através do uso de acoplamentos.”* (STOETERAU, 2004)

A Tabela 2 mostra uma lista comparativa dos principais acoplamentos, quando se trata de máquinas CNC.

Tabela 2 - Comparação entre acoplamentos

Tipo	Acoplamentos Permanentes		
	Rígidos	Flexíveis	Por Atrito
<b>Requisitos</b>			
Custo	5	3	3
Rigidez	5	5	4
Erro de segmento	5	4	3
Compensação do desalinhamento	1	5	1
Tipo	Embreagens		
	Hidráulicos	Magnéticos	Por Forma
<b>Requisitos</b>			
Custo	2	1	3
Rigidez	3	4	4
Erro de segmento	2	4	4
Compensação do desalinhamento	2	3	3

Onde: 5 - melhor e 1 - pior.

Fonte: (STOETERAU, 2004)

## 2.4 – PROJETO ELETROELETRÔNICO

### 2.4.1 Controlador

O controlador é o elemento que tem como funcionalidade comandar toda a parte elétrica da máquina CNC, sendo responsável pela integração de sistemas CAD/CAM com o projeto, também são capazes de receber e interpretar comandos a serem enviados para os motores. Dentre os microcontroladores disponíveis, é destacado o **Arduino**.

O Arduino (Figura 6) funciona como um computador programável que permite o processamento de entrada e saídas entre os componentes e dispositivos que estiverem conectados a ele. Ele faz a interação entre o *hardware* e *software*, tal sistema é denominado computação física. (MCROBERTS, 2011). O Arduino foi criado para permitir versatilidade no projeto, sendo designado para o meio educacional, além de apresentar *hardware* e *software* livres. (VEGA, 2011)

Figura 6 - Microcontrolador Arduino



Fonte: (Arduino, 2017)

## 2.4.2 Motores de movimentação

Os motores de movimentação farão o deslocamento da ferramenta nos 3 eixos (X,Y e Z). Os fabricantes de máquinas CNC geralmente fazem uso de três diferentes tipos de motores de acionamento: motores de passo, conhecidos também como motores Passo-a-Passo, servomotores DC (corrente contínua) e servomotores AC (corrente alternada). (ALBERT, 2004).

Os motores de passo são dispositivos que convertem pulsos elétricos em movimentos mecânicos. Quando pulsos elétricos são aplicados em uma determinada sequência nos terminais, o rotor ou eixo de um motor de passo é rotacionado em pequenos incrementos angulares, denominados “passos”. A rotação dos motores é diretamente relacionada aos impulsos elétricos que são recebidos, bem como a sequência a qual tais pulsos são aplicados reflete diretamente na direção a qual o motor gira. A velocidade que o rotor gira é dada pela frequência de pulsos recebidos e o tamanho do ângulo rotacionado é diretamente relacionado com o número de pulsos aplicados. (BRITES e SANTOS, 2008)

Uma das características principais deste motor é a fácil implementação em sistemas eletrônicos (como o Arduíno por exemplo), favorecendo então a integração com o computador. (STOETERAU, 2004).

Uma outra característica é o número elevado de passos por revolução, o padrão de 1,8 graus por pulso é adotado pela maioria dos modelos comerciais, que representa 200 pulsos por volta. (CONSTANDINOU, 2013).

*“Um motor de passo pode ser uma boa escolha sempre que movimentos precisos são necessários. Eles podem ser usados em aplicações onde é necessário controlar vários fatores tais como: ângulo de rotação, velocidade, posição e sincronismo. O ponto forte de um motor de passo não é a sua força (torque), tampouco sua capacidade de desenvolver altas velocidades - ao contrário da maioria dos outros motores elétricos - mas sim a possibilidade de controlar seus movimentos de forma precisa. Por conta disso este é amplamente usado em impressoras, scanners, robôs, câmeras de vídeo, brinquedos, automação industrial entre outros dispositivos eletrônicos que requerem de precisão.”*  
(BRITES e SANTOS, 2008)

### 2.4.3 Drivers de Acionamento

No conjunto elétrico da máquina, cada motor deve receber corrente adequada às suas bobinas para funcionarem corretamente, sejam eles motores de movimentação ou de corte. O elemento responsável por este controle é chamado *driver*.

O *driver* é um circuito digital que são capazes de amplificar sinais de baixa potência, permitindo ativar ou desativar atuadores, podendo trabalhar com níveis maiores de energia do que a interface de saída pode fornecer. (PAZOS, 2002)

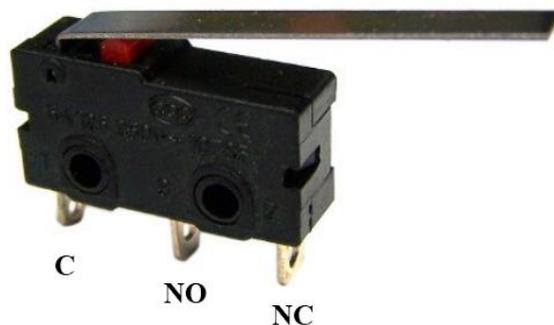
Para acionar um motor de passo, os *drivers* contam com um sistema de chaveamento que utiliza transistores, conhecidos como MOSFETs. (PAZOS, 2002).

### 2.4.4 Chaves “fim de curso”

As chaves de fim de curso têm como finalidade controlar o posicionamento e estabelecer limites físicos da máquina, é necessário a implementação de um elemento de segurança que impeça o motor de avançar além dos limites estabelecidos, dentre as chaves “fim de curso” disponíveis, as comumente utilizadas em máquinas de pequeno porte são as do tipo “*Micro-switch*”.

As chaves “*Micro-switch*” são responsáveis pela comunicação com o controlador, enviando um sinal que indica o término do curso da máquina, elas são capazes de estabelecer (ou interromper) a transmissão entre as partes de um circuito eletrônico através da manipulação de uma alavanca mecânica, (RAMÍREZ, 2015) conforme mostrado na Figura 7.

Figura 7 - Exemplo de Chave Micro-Switch

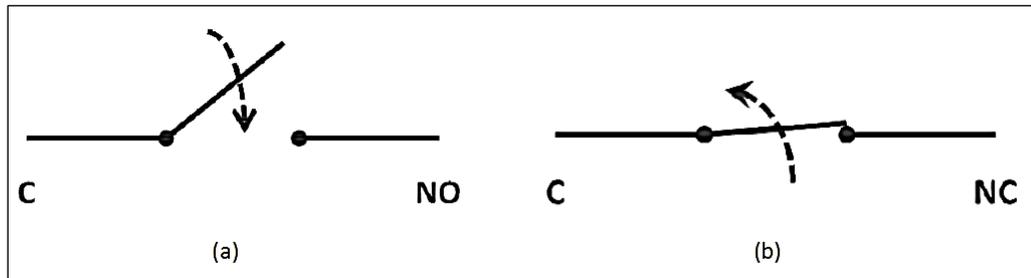


Fonte: (ELETRODEX)

Segundo Ramírez (2015), estas chaves possuem duas configurações, normalmente aberta e normalmente fechada.

- Normalmente aberta/Normally Opened (NO): Quando a chave está em seu ponto inicial (repouso), não há fluxo de corrente entre seus terminais, ao acionar a chave é fechado o contato, como visto na Figura 8a.
- Normalmente fechada/Normally Closed (NC): Quando a chave está em repouso existe fluxo de corrente, quando é acionada o fluxo cessa, como visto na Figura 8b.

Figura 8 - Exemplo do funcionamento de uma chave micro-switch



A configuração normalmente aberta é representada em (a) e normalmente fechada em (b).

Fonte: (RAMÍREZ, 2015)

### 2.4.5 Motor de Corte

Os chamados motores “*Spindle*” são motores de alta frequência e rotação com potências de 1,5Kw a 4,5Kw. Os motores giram a rotações de 18.000 a 24.000 RPM e são construídos com rolamentos cerâmicos de modo a proporcionar melhor performance. As aplicações são as mais diversas, sendo as mais típicas para fresamentos de madeira, plásticos, alumínio e mármore. (KALATEC, 2013)

Figura 9 - Motor de Corte - Spindle



Fonte: (KALATEC, 2013)

## 2.5 – PROJETO DE SOFTWARE

### 2.5.1 - Código G

Segundo (KRAMER, M. PROCTOR e MESSINA, 2000) a base da entrada de dados se dá por uma linguagem de programação chamada *RS-274* (G-Code), que é de amplo uso em

equipamentos CNC. Este código fará o controle da máquina, executando diversos tipos de tarefas, essas funções são chamadas funções preparatórias. As principais funções preparatórias são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3- Principais Funções Preparatórias

<i>Código</i>	<i>Descrição</i>
<i>G00</i>	Deslocamento de aproximação (avanço rápido)
<i>G01</i>	Avanço controlado retilíneo (velocidade programada)
<i>G02</i>	Interpolação circular sentido horário (velocidade programada)
<i>G03</i>	Interpolação circular sentido anti-horário (velocidade programada)
<i>G17</i>	Configura o plano de trabalho em XY
<i>G18</i>	Configura o plano de trabalho em XZ
<i>G19</i>	Configura o plano de trabalho em YZ
<i>G53</i>	Coordenadas referentes ao zero máquina
<i>G54 a G56</i>	Coordenadas referentes ao zero peça (configurado para cada código)
<i>G20</i>	Coordenadas em polegadas
<i>G21</i>	Coordenadas em milímetros
<i>G90</i>	Coordenadas absolutas
<i>G91</i>	Coordenadas incrementais

Fonte: Adaptado de (SOUZA e ULBRICH, 2009)

### 2.5.2 - Grbl

Grbl é um firmware de controle, tendo este nome dado pelo indiano Simen Svale Skogsrud (2012), seu funcionamento consiste em dois módulos de execução simultaneamente, primeiro o programa principal recebe através da porta serial as linhas de comando, em formato de código G, estas linhas são interpretadas e decompostas em blocos de dados, cada bloco contém informações de um trajeto em linha reta, aceleração e velocidade. (FACHIM, 2013)

Estes blocos são colocados em um *buffer*, tipo FIFO (First in First Out), de no máximo 16 blocos. Se o bloco for aceito é retornado uma mensagem “OK”, e caso o buffer estiver cheio, uma mensagem contendo o código de erro retornará.

O Grbl é projetado para ser simples, portanto não é solução definitiva para todos os tipos de fresamento CNC, porém é ponto de partida para construção de qualquer equipamento CNC que se utiliza de plano cartesiano (fresadoras, cortadoras a laser, impressoras, etc.). Devido a sua simplicidade o Grbl foi adaptado para centenas de projetos. (SPILLING, 2014)

### **2.5.3 - Grbl Controller**

Grbl Controller é o interpretador *open source* de código G criado para plataforma Arduino, é escrito na linguagem de programação “C”. O Grbl funciona através de um computador conectado com Arduino pela porta USB e converte o código G em sinais de controle de motor de passo e emite estes através de pinos de saída dedicados. (SPILLING, 2014)

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 PROJETO DA ESTRUTURA

#### 3.1.1 Materiais da Estrutura Mecânica

Normalmente as estruturas de máquinas-ferramentas são fabricadas em ferro fundido e aço, as máquinas destinadas a indústria de ultra precisão (como a indústria ótica e nano robótica) apresentam uma longa tradição no uso de estruturas de granito, pelo baixo coeficiente de dilatação térmica. (STOETERAU, 2004)

Este artigo não visa dimensionar um equipamento ultra preciso, a dilatação térmica não afetará significativamente a precisão do equipamento. O material escolhido então deve ter as principais características: baixo custo, boa resistência mecânica e peso reduzido.

Existe então uma série de materiais a serem utilizados na fabricação de máquinas ferramentas.

Tabela 4 - Materiais utilizados em máquinas-ferramentas

MATERIAL	$\nu$	E (GPa)	$\rho$ (mg/m <sup>3</sup> )	a (mm/m/°C)	K (W/m/°C)	C <sub>p</sub> (J/kg/°C)	$\sigma$ (MPa)		
							Comp.	Tração	Flexão
AÇO CARBONO	0,29	200	7,9	11,7	60	465	---	270	---
AÇO INOX (18-8)	0,31	190	7,6	17,2	16,2	500	---	310	---
ALUMÍNIO (6061)	0,33	68	2,7	23,6	167	896	---	255	---
BRONZE (C24.000)	0,34	111	8,0	19,9	120	375	---	125	---
FERRO FUNDIDO	0,21	100	7,1	11	52	420	---	270	---
GRANITO	0,10	19	2,6	6	1,6	820	300	---	20
LATÃO (C26.000)	0,32	106	8,4	17,1	355	415	---	275	---
METAL DURO	---	550	14,5	5,1	108	---	5000	---	2200
POLÍMEROS	VÁRIOS TIPOS PODEM SER UTILIZADOS								

Fonte: (STOETERAU, 2004)

O material escolhido foi o Alumínio 6061. O alumínio tem um custo satisfatório, como também um peso muito reduzido quando comparado com aço, diminuindo assim os esforços que os motores farão para movimentar a estrutura metálica.

Baseando numa forma facilitada de construção, montagem e principalmente redução do custo final do projeto, a estrutura proposta é bastante simplificada. Uma estrutura complexa, e pesada acarreta significativos adicionais de custos a máquina. Quanto mais peso sobre os elementos de transmissão, maior será a robustez dos motores, guias e fusos para que ocorra a movimentação com precisão e eficiência. Ter uma relativa facilidade na sua fabricação, também reduz os gastos principalmente na compra de material e durante o processo de usinagem do mesmo.

Dessa forma pode-se usar de materiais já em tamanhos padrões de fabricação, necessitando de algumas operações básicas de usinagem, como: furos, roscas e chanfros.

Tendo como base um pórtico que necessita movimentar-se linearmente ao longo dos três eixos cartesianos X, Y e Z, o material deve oferecer resistência, leveza e ser de baixo custo. Por isso o alumínio atende as especificações.

Para que a estrutura possa ter sustentação, a escolha de quatro pilares fundamentais para o posicionamento do pórtico, retira a necessidade de construí-lo em cima de trilhos, pois estes são de valor mais elevado. Usando assim guias lineares para oferecer movimento apenas no sentido linear dos eixos. Cada pilar possui encaixes para rolamentos radiais para os fusos, e suportes para encaixe das guias lineares. É feito de alumínio maciço, garantindo rigidez e resistência.

O pórtico baseia-se em dois suportes também de alumínio maciço. Em seu interior estão rolamentos lineares fixados em mancais com flanges, além da porca cilíndrica flangeada também fixada em seu interior. As guias lineares do eixo X estão instaladas em suas faces como também o fuso do eixo X.

O carro do eixo Z é baseado em chapas de alumínio. Estas chapas são furadas de modo e receber os mancais de rolamentos lineares (Pillow Blocks). O motor Spindle, é fixado numa outra chapa, que também é dotada de rolamentos lineares. Este faz o percurso linear vertical, o qual aproxima a ferramenta do material a ser usinado.

Dessa forma, a maior parte dos materiais pode ser adquirida já próxima ou exatamente em seus comprimentos e bitolas finais, facilitando o processo de fabricação. Despendendo menos tempo e recursos para sua produção. Conforme mostrado no Apêndice O.

### **3.1.2 - Porca Cilíndrica Flangeada**

Porca cilíndrica flangeada é basicamente um elemento que fará a transmissão do movimento rotativo do fuso em movimento linear, este componente deverá ser fabricado com materiais com baixo coeficiente de atrito (Bronze, nylon ou poliacetal).

Figura 10 - Porca Cilíndrica Flangeada



Fonte: (ABSAAC)

### 3.1.3 – Seleção dos Acoplamentos

Dependendo da dimensão do desalinhamento, não será possível corrigi-lo apenas com o acoplamento, necessitando assim de um reprojeto ou um retrabalho na montagem do equipamento.

Dentre os acoplamentos citados na - Comparação entre acoplamentos Tabela 2, os permanentes rígidos e de fricção não são recomendados, pois estes não permitem uma compensação angular no caso de um desalinhamento e também podem induzir a erros de segmento. Sendo assim a opção mais viável e barata é o acoplamento do tipo flexível.

## 3.2 – SELEÇÃO DOS MOTORES

### 3.2.1 – Equações para o Dimensionamento dos motores de passo

Os motores de passo devem ser dimensionados para fornecer torque o suficiente para movimentação da estrutura metálica sem sobrecargas e também devem exercer força para as operações de usinagem.

O torque necessário para que ocorra movimentação do motor é definido pela equação abaixo: (HANNIFIN, 2003)

(1)

$$T = 2\pi \times J \times A_c$$

Em que “T” (N.m), corresponde ao Torque, “J” (kg.m<sup>2</sup>) corresponde ao momento de inércia do sistema e “Ac” (rot/seg<sup>2</sup>) corresponde à aceleração dos motores.

### 3.2.2 - Cálculo do Momento de Inércia

O valor do momento de inércia será o somatório de todos momento de inércia, da carga, do fuso, do acoplamento e do motor.

(2)

$$\Sigma J = J(\text{fuso}) + J(\text{carga}) + J(\text{motor}) + J(\text{acoplamento})$$

Para determinar a inércia do fuso, pode-se utilizar a equação abaixo: (HANNIFIN, 2003)

(3)

$$J_F = 762xD^4xL$$

Onde “D” (m) é o diâmetro do fuso e “L” (m) é o tamanho do fuso.

Para calcular o momento de inércia da carga, em um sistema de parafuso é utilizado a Equação 4: (HANNIFIN, 2003)

(4)

$$J_w = (W \cdot p^2) / (4 \cdot 10^7)$$

Sendo o momento de inércia da carga “Jw” (Kg.m<sup>2</sup>), a massa da estrutura “W” (Kg) e o passo do fuso “p” (mm).

Os motores de passo normalmente trabalham com um perfil de velocidade trapezoidal, porém para movimentos mais curtos, onde há pouco deslocamento, o perfil de velocidade fica mais próxima ao triangular.

A Tabela 6 mostra a comparação dos perfis de velocidade trapezoidal e triangular:

Tabela 5 - Comparação entre os perfis de velocidade

	<i>Triangular</i> 	<i>Trapezoidal</i> 	<i>Variação trap/tri.</i>
Velocidade Máxima	2D/t	5D/t	75%
Taxa de Aceleração	4D/t <sup>2</sup>	4,5D/t <sup>2</sup>	112,5%
Pico de Potência	Jx8D <sup>2</sup> /t <sup>3</sup>	Jx6,75D <sup>2</sup> /t <sup>3</sup>	84%

Fonte: (HANNIFIN, 2003)

Para efeito de cálculo, é escolhido o perfil de aceleração que demandará maior torque dos motores, no caso é o trapezoidal. A aceleração poderá ser determinada pela Equação abaixo:

(5)

$$A_c = 4,5D/t^2$$

Em que “D” é o número de rotações no tempo “t” em segundos.

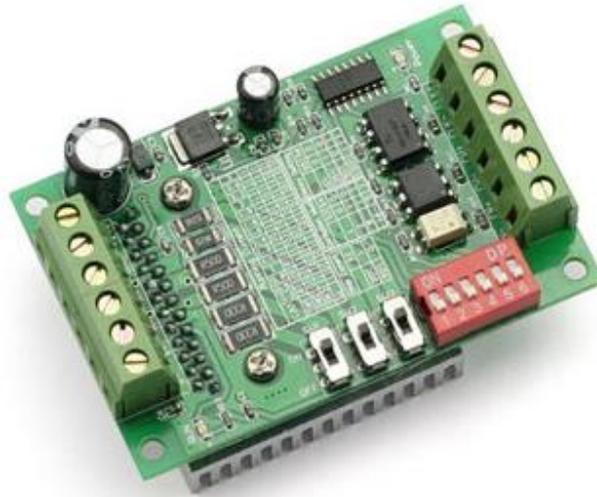
### 3.3 – SELEÇÃO DOS DRIVERS E FONTE DE ALIMENTAÇÃO

#### 3.3.1 – Driver TB6560

Para o controle dos motores de passo, foram escolhidos os drivers de potência do tipo **TB6560**, estes trabalham com uma corrente máxima de 3,5A (RMS) e possuem configuração de micro passo variável (**1, 1/2, 1/8 e 1/16**).

Também contam com um sistema de proteção contra sobrecarga de corrente e temperatura, protegendo assim os periféricos eletrônicos que irão estar conectados a ele, e podem trabalhar com motores que utilizam a configuração bipolar.

Figura 11 - Driver TB6560



Fonte: (SAINSMART)

### 3.3.2 – Corrente e Tensão da Fonte de Alimentação

O manual do fabricante especifica uma corrente de trabalho de 16 a 24V (DC), para motores de passo *Nema 23*, e a corrente de trabalho pode ser calculada pela Equação 6:

(6)

$$\text{Corrente de Saída} = \text{Corrente(motores)} * \text{número(motores)} + 2A$$

### 3.3.3 – Conexão dos Drivers

O Driver possui uma série de pinos, que serão conectados com o Arduino e com os motores de passo, cada pino possui uma função já definida de acordo com catálogo do fabricante, sendo elas:

- STEP+ , STEP- : É a ligação dos pulsos de 5V.
- DIR+ , DIR- : Terminal responsável pela direção de rotação do motor.
- ENA+ , ENA- : Estes terminais controlam a entrada do motor.
- GND : É ligado na fonte de alimentação no terminal negativo (DC).
- A+ , A- : É ligado na primeira fase do motor.
- B+ , B- : É ligado na segunda fase do motor.
- VCC+ : É ligado na fonte de alimentação no terminal positivo (DC).

O motor selecionado requer 2,1A de corrente para funcionar na configuração bipolar, de acordo com catálogo presente no Anexo B, a configuração a ser utilizada será de ½ micropasso. Como o motor roda 1,8° em cada passo, serão necessários 200 passos para completar um giro completo (360°). Com a configuração de ½ micropasso, o motor dará 400 passos para completar uma volta.

Assim será necessário configurar o driver para funcionar com 2A e ½ micropasso. Seguindo a tabela do fabricante (Anexo G), as chaves necessárias para esta configuração serão:

Tabela 6 - Configuração do Driver

CONTROLE CHAVE/POSIÇÃO			
CHAVE	POSIÇÃO	CHAVE	POSIÇÃO
SW1	ON	S2	ON
SW2	OFF	S3	ON
S3W	ON	S4	OFF
S1	OFF	S5	OFF
S6	ON	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

As configurações foram seguidas de acordo com a tabela abaixo, as configurações de “*Stop Current*” e “*Decay Setting*” foram de 20 e 50%.

Tabela 7 - Esquema de configuração do driver

Running Current														
(A)	0.3	0.5	0.8	1	1.1	1.2	1.4	1.5	1.6	1.9	2	2.2	2.6	3
SW1	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	ON						
SW2	OFF	OFF	ON	ON	ON	OFF	ON	OFF	OFF	ON	OFF	ON	ON	ON
SW3	ON	ON	OFF	OFF	ON	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON	ON	ON
S1	ON	OFF	ON	OFF	ON	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	OFF

Stop Current	
	S2
20%	ON
50%	OFF

Excitation Mode		
Step	S3	S4
whole	OFF	OFF
half	ON	OFF
1/8	ON	ON
1/16	OFF	ON

Decay Setting		
	S5	S6
0%	OFF	OFF
25%	ON	OFF
50%	OFF	ON
100%	ON	ON

Fonte: (TOSHIBA)

Para fazer a ligação dos drivers com os motores o modelo de ligação é proposto pelo fabricante no catálogo presente no Anexo C. A ligação escolhida é a do tipo **bipolar em série**.

Tabela 8 - Ligação Driver/Motor

Ligação bipolar série	
Fios do motor	Terminal do driver
Vermelho	A+
Verde	A-
Amarelo	B+
Azul	B-
Branco / Preto*	Nenhuma conexão

\*isolar separadamente

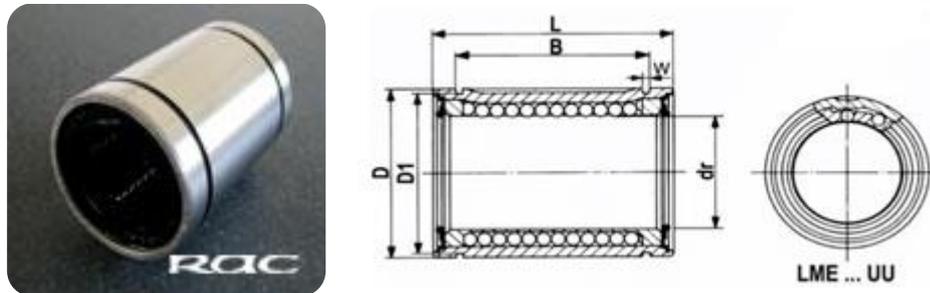
Fonte: (NEOYAMA)

## 3.4 – TRANSMISSÃO DE MOVIMENTO

### 3.4.1 - Rolamentos Lineares

Para a movimentação linear da estrutura, serão utilizados dois tipos de rolamentos lineares, os “*Pillow Blocks*” e as “Buchas de Esferas”. A bucha de esfera escolhida é do tipo “LME 20UU”, estes rolamentos são do tipo fechado, o cilindro externo é feito de aço cromo com alto teor de carbono, temperado e retificado. O recirculador é produzido com poliacetal (POM) e apresenta vedações de borracha de Nitrilo Butadieno (NBR). As especificações do fabricante estão presentes no ANEXO A.

Figura 12 - Bucha de Esferas LME 20UU



Fonte: (RACML, 2014)

### 3.4.2 – RPM Nominal

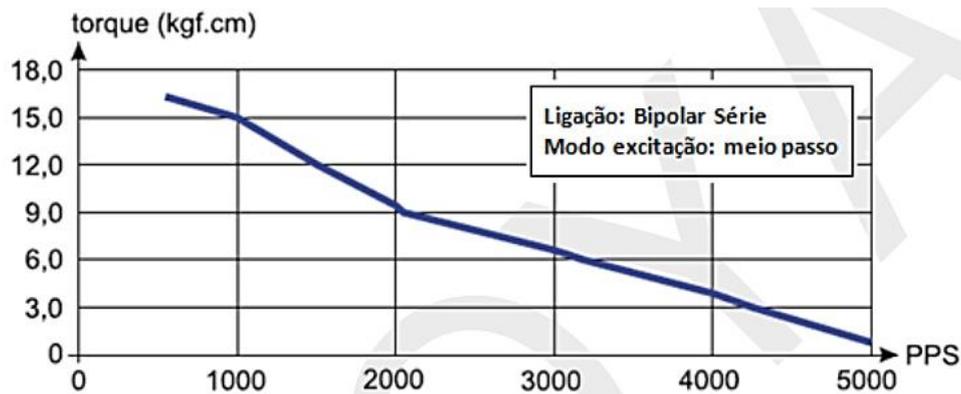
De acordo com o fabricante o RPM Nominal de uma máquina CNC poderá ser calculado de acordo com a *Equação 7*: (ALBERT, 2004)

(7)

$$RPM = \frac{PPS * 60}{PPR}$$

Onde PPS é o número de passos por segundo do motor, e PPR é o número de passos por revolução do motor. O PPS é um parâmetro regulável no momento da usinagem, a relação Torque x PPS é informada no catálogo do fabricante do motor.

Figura 13 - Gráfico de Desempenho Nema 23

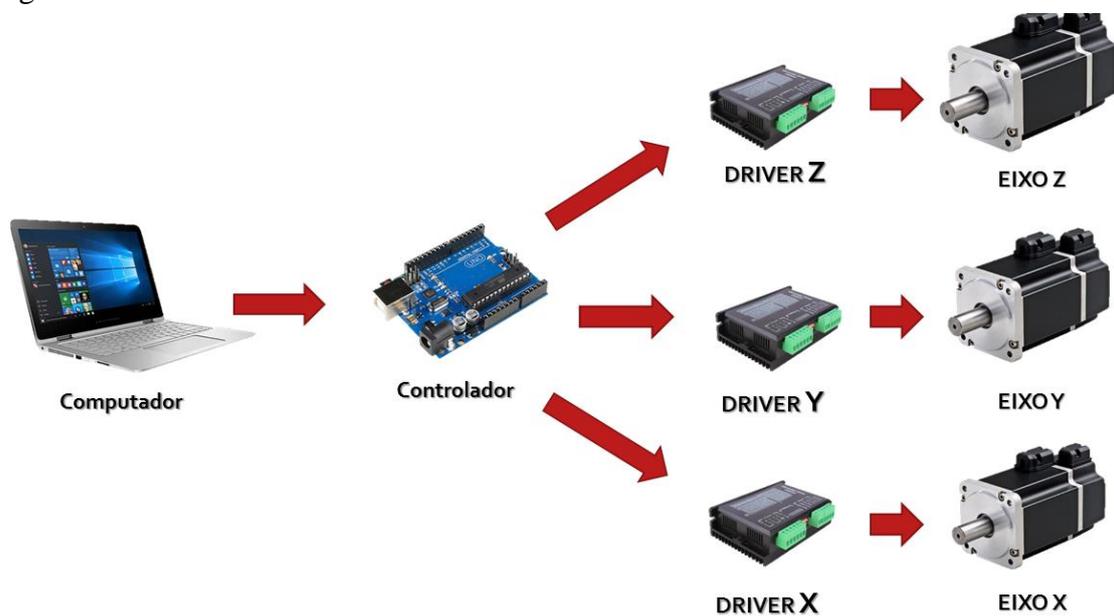


Fonte: (NEOYAMA)

### 3.5 – PROCESSO DE CONTROLE

O processo de controle da Fresadora CNC, será feito de acordo com a Figura 14. O computador através de um software controlador (*HSMEExpress, ArtCAM, InkScape, etc.*) ficará encarregado de processar o desenho e transforma-lo em G-Code, os parâmetros de usinagem como velocidade, passe, aceleração, serão todos controlados pelo computador, o Arduino apenas receberá as informações e as transmitirá através dos drivers para os motores de cada eixo.

Figura 14 - Processo de Controle - FRESADORA CNC



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 3.5.1 – Softwares Utilizados

Ter uma interface amigável para o controle da fresadora é uma das premissas desse projeto. No mercado existem diversos softwares e controles para máquinas CNC. Cada qual possui suas vantagens, sendo que a maioria necessita de um investimento para a compra de licenças para sua operação. Como a intenção principal é reduzir os custos, todo o software apresentado é baseado no Arduino. Sendo assim, sua utilização é livre, e a maior parte deles é *open-source*.

O GRBL é a peça fundamental entre a comunicação do Arduino e o computador. Este *firmware* deve ser instalado no Arduino através do uso IDE de desenvolvimento. Para poder ser configurado, é necessário um programa no computador que faça a comunicação com ele. O *Universal G-Code Sender* é um programa também *open-source* muito versátil, apresentando uma tela de configuração e controle extremamente simples e intuitiva.

Através do comando “\$\$” digitado na caixa de texto “*Command*” e localizado na aba “*Commands*”, pode-se acessar as variáveis de configuração do GRBL. Esses valores correspondem a importantes características de operação da fresadora. Seus valores devem ser preenchidos com atenção e cuidado, pois afetarão diretamente a performance e precisão da máquina.

Pode-se destacar algumas variáveis como:

- Passos/milímetro – Seu valor corresponde a quantos passos os motores devem dar para que o pórtico da fresadora se desloque um milímetro linearmente.
- Velocidade de avanço – É a velocidade em milímetros/minuto em que os movimentos de posicionamento irão ocorrer.
- Aceleração – A aceleração em milímetros/segundo ao quadrado é responsável por garantir que os motores saiam da inércia de forma suave sem perder o torque.

Depois de configurado, então o programa está pronto para operação. Os valores preenchidos são salvos diretamente no Arduino. Sempre que houver a inicialização da fresadora os valores estarão como configurados anteriormente.

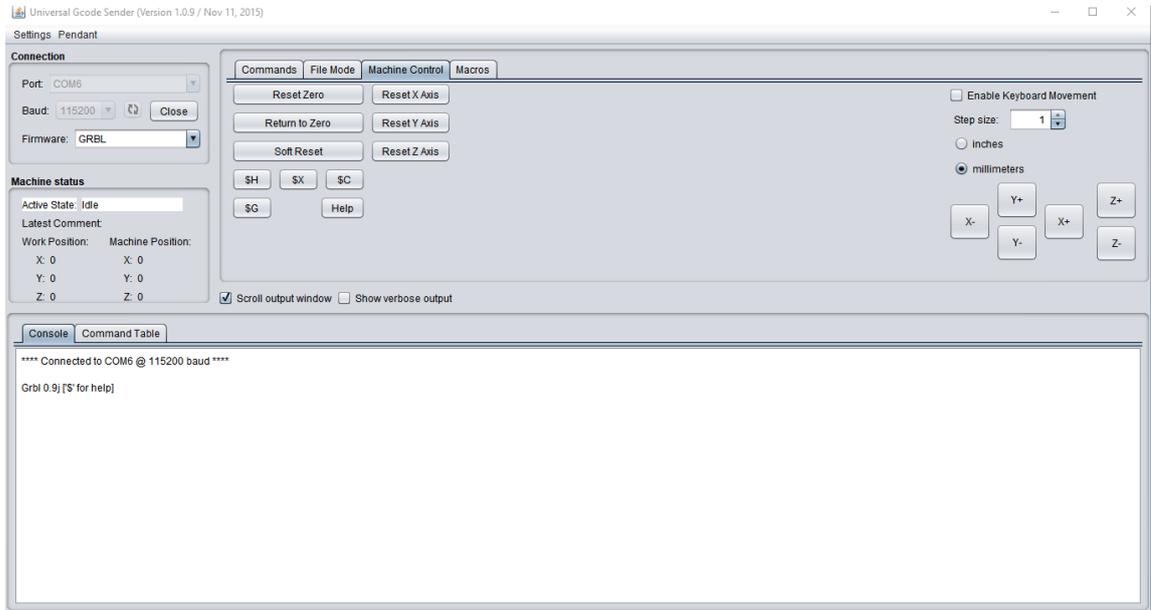
Para gerar o arquivo em código G são utilizados dois programas: o CAD e o programa que converterá o arquivo CAD para G-Code. Há softwares que fazem a rasterização de imagens, um exemplo é *InkScap* que é livre para o uso. Esse processo é caracterizado por converter as formas presentes na imagem em vetores, assim é possível gerar códigos G através apenas de fotos.

De posse do arquivo CAD ou vetores gerados por imagens, então é aplicado o software que irá converte-las em G-Code. Um exemplo de programa é o “*HSMExpress*” muito utilizado em diversas indústrias. Várias etapas de configurações são necessárias devem ser seguidas, a começar por definir o ponto zero da ferramenta em relação ao desenho. Este ponto será de onde a máquina começará todo o processo de usinagem do material. Aconselha-se defini-lo próximo ao início do desenho.

A seleção da ferramenta de corte, é escolhida também nesse processo. Com base nisso a velocidade de avanço de corte também é definida. Para velocidades altas de avanço na fase de corte, é recomendado utilizar passes menores. Esses passes são caracterizados pela profundidade que é retirada o material. Feito isso então é gerado o *G-Code*.

Usando ainda o *Universal G-Code Sender*, basta selecionar o arquivo de código gerado, definir o zero da fresadora e executar o programa clicando no botão “Send”. Então o processo de usinagem é iniciado.

Figura 15 - Universal G-Code Sender



Fonte: Autor.

### 3.6 – COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS CNC

Para avaliar os resultados adquiridos no trabalho é necessário fazer comparação com os modelos existentes no mercado. As máquinas foram escolhidas através dos seguintes fatores:

- Dimensões próximas - Área útil e tamanho da máquina
- Faixa de custo – Entre 2 a 10 mil reais.
- Número de Eixos – 3 Eixos.
- Sistema de Movimentação – Guias e Fusos.
- Funcionalidade – Usinagem e gravação de peças em alumínio.

## 3.7 – MONTAGEM ELÉTRICA

### 3.7.1 -Painel de Comando

As instalações elétricas de máquinas operatrizes têm de seguir diversos critérios definidos pelas normas NBR 5410, NR 12 e NBR 13759. Dentre estes estão a obrigatoriedade de armazenar os componentes elétricos em um painel especial, devidamente protegido e fabricado de acordo com os padrões de qualidade. O painel elétrico será muito importante para proteção dos componentes contra partículas geradas no processo de usinagem, cavacos, água, óleo, etc.

A norma NBR 5410 e NR 12 estabelece alguns parâmetros para circuitos elétricos com tensão nominal inferior a 1000V dentre estes parâmetros estão a obrigatoriedade de itens como disjuntor, Botão de Parada de Emergência, dentre outros.

Figura 16 - Painel de Comando



Fonte: (WEG)

### 3.7.2 - Botão de Parada de Emergência

O botão de parada de emergência é obrigatório e deverá ser bem posicionado de forma que o operador tenha fácil acesso ao mesmo em caso de emergência, não deverá ser utilizado como forma primária de acionamento da máquina e deverá ser instalado corretamente de forma que

seja a prova de falhas. Conforme a NBR 13759:1996 este elemento terá que garantir a interrupção imediata do movimento da máquina.

Figura 17 - Botão de Parada de Emergência



Fonte: (WEG)

### 3.7.3 – Disjuntor

Esses dispositivos de proteção devem poder interromper qualquer sobrecorrente inferior ou igual à corrente de curto-circuito presumida no ponto em que o dispositivo for instalado. É de grande importância para a segurança dos componentes elétricos. Existem diversos tipos de disjuntores. O utilizado no projeto foi do tipo bipolar 32A – 110/220V.

A escolha deste se deve pelo fato da tensão de trabalho ser compatível com a de uma residência doméstica comum, visando a possível utilização para pequenos produtores onde terão acesso a fontes de tensão convencionais.

### 3.7.4 - Esteira Porta-Cabo

A esteira porta-cabo é um elemento que tem papel essencial em equipamentos móveis que são alimentados eletricamente, também é necessária para organização dos cabos, evitando assim acidentes e o risco de a máquina danificar algum fio no ato do movimento. Estes condutores muitas das vezes tem valor maior do que da própria esteira, a aquisição desta para um projeto de máquina CNC é de extrema importância. Também é destacado a possibilidade de falha por conta da falta deste equipamento, acarretando em prejuízo financeiro de produção pelo tempo da manutenção corretiva.

Figura 18 - Esteira Porta-Cabos



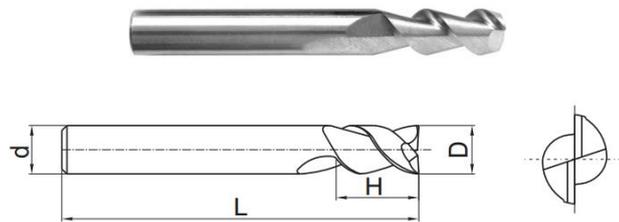
Fonte: (FESMA, 2017)

### 3.8 – FORÇA DE CORTE

A força de corte no processo de fresamento depende de uma série de fatores e variáveis. Para fazer este cálculo e compara-lo com a carga axial máxima que o fuso suporta, deve-se estabelecer alguns parâmetros.

Para isso foi determinado um tipo de fresa comum no mercado, específica para usinagem de alumínio e usinagem de topo.

Figura 19 - Fresa de Topo de 2 Cortes com Haste Paralela



Fonte: (ZCC.CT)

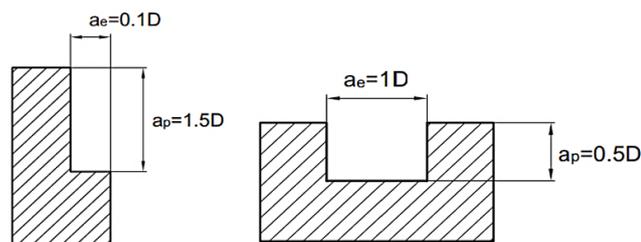
Para calcular a força de corte, deve-se saber a abertura do ângulo da área de contato da fresa com peça a ser usinada. Este valor é diretamente proporcional ao diâmetro da ferramenta e o coeficiente  $a_e$ . O ângulo pode ser descoberto a partir da *Equação 8*. (SANTOS e ARAÚJO, 2003)

(8)

$$\Phi = \arcsen\left(\frac{2a_e}{D}\right) \text{ rad}$$

Os valores de  $a_e$  e  $a_p$ , foram cedidos pelo fabricante, estes valores se relacionam com os diâmetros das fresas, conforme a figura abaixo:

Figura 20 - Parâmetros de Fresamento



Fonte: (ZCC.CT)

O parâmetro  $Z_c$ , determina o número de dentes que estarão em contato com a peça a ser usinada dentro do arco de contato da fresa com a peça. Este valor é diretamente proporcional ao número de dentes da fresa. (SANTOS e ARAÚJO, 2003)

(9)

$$Z_c = Z * \frac{\Phi}{360}$$

Com estes valores, é possível determinar o quanto a ferramenta avança no momento que cada dente completa uma volta, representado por  $F_z$ . Esse valor pode ser calculado de acordo com a *Equação 10*.

(10)

$$F_z = \frac{V_f}{Z * n}$$

Em que  $V_f$  é o avanço da mesa em **mm/min**,  $Z$  é o número de dentes da ferramenta e  $n$  é o RPM da fresa. A unidade de  $F_z$  será mm/dente.

Será também necessário calcular a espessura média do cavaco, segundo Porto (2004) este valor pode ser obtido pela seguinte equação:

(11)

$$H_m = \frac{360}{\Phi} * \frac{F_z}{\pi} * \frac{ae}{D} * \text{sen}(Kr)$$

Onde  $H_m$  é a espessura média do cavaco em **mm/dente**. O ângulo de direção do gume principal é representado pelo fator  $Kr$ . No projeto de fresadoras com 3 eixos a ferramenta de corte só poderá fazer usinagem em 90° com a peça a ser usinada. Para máquinas com 4 ou 5 eixos, poderá haver inclinação da ferramenta de corte, assim o expoente  $Kr$  pode assumir outros valores.

A força de corte (N) poderá ser calculada através da *Equação 12*. O comprimento do gume ativo, representado pela letra  $b$ , no fresamento de topo será igual ao fator  $a_p$ , que pode ser calculado através da Figura 20. (SANTOS e ARAÚJO, 2003)

(12)

$$F_c = K_c * b * Z_c * H_m^{1-mc}$$

Onde  $K_c$  é um coeficiente que varia de acordo com cada material, e o fator  $1-mc$  é chamado de *Expoente de Kienzle*. O valor de  $K_c$  é obtido segundo a tabela abaixo:

Tabela 9 - Coeficiente de força específica

Material	Resistência à Tração e Dureza (MPa)	Coeficiente de Força Específica $K_c$ (MPa)				
		0.1 (mm/dente)	0.2 (mm/dente)	0.3 (mm/dente)	0.4 mm/dente)	0.6 (mm/dente)
<b>Aço Baixo Carbono (com ligas especiais)</b>	520	2200	1950	1820	1700	1580
<b>Aço Baixo Carbono</b>	620	1980	1800	1730	1600	1570
<b>Aço Duro</b>	720	2520	2200	2040	1850	1740
<b>Aço Ferramenta</b>	670	1980	1800	1730	1700	1600
<b>Aço Ferramenta</b>	770	2030	1800	1750	1700	1580
<b>Aço Cromo-Manganês</b>	770	2300	2000	1880	1750	1660
<b>Aço Cromo-Manganês</b>	630	2750	2300	2060	1800	1780
<b>Aço Cromo-Molibdênio</b>	730	2540	2250	2140	2000	1800
<b>Aço Cromo-Molibdênio</b>	600	2180	2000	1860	1800	1670
<b>Aço Níquel Cromo-Molibdênio</b>	940	2000	1800	1680	1600	1500
<b>Aço Níquel Cromo-Molibdênio</b>	352HB	2100	1900	1760	1700	1530
<b>Aço Inoxidável Austenítico</b>	155HB	2030	1970	1900	1770	1710
<b>Ferro Fundido</b>	520	2800	2500	2320	2200	2040
<b>Ferro Fundido Meehanite</b>	46HRC	3000	2700	2500	2400	2200
<b>Ferro Fundido Duro</b>	360	2180	2000	1750	1600	1470
<b>Ferro Fundido Cinzento</b>	200HB	1750	1400	1240	1050	970
<b>Latão</b>	500	1150	950	800	700	630
<b>Ligas Leves (Al-Mg)</b>	160	580	480	400	350	320
<b>Ligas Leves (Al-Si)</b>	200	700	600	490	450	390
<b>Ligas Leves (Al-Zn-Mg-Cu)</b>	570	880	840	840	810	720

Fonte: (SANTOS e ARAÚJO, 2003)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

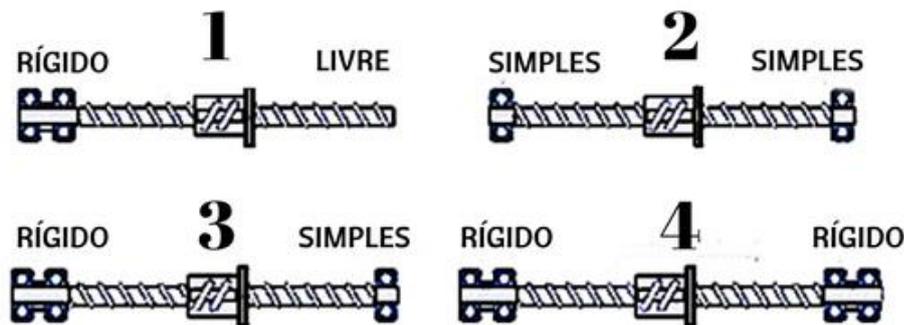
### 4.1 – DIMENSIONAMENTO MECÂNICO

#### 4.1.1 – Carga Axial Máxima

Quando o fuso está sujeito a ação de cargas axiais, alguns pontos devem ser observados, para evitar que ocorra flambagem do fuso devido a ação destas cargas. A Carga Axial Máxima mostrará a carga em que o fuso começará a sofrer deformação. Esse fator depende diretamente do diâmetro do fuso, elementos de apoio (mancais ou rolamentos) e comprimento livre ( $L_e$ ).

A Tabela 11 fornece um diagrama determina a Carga Axial Máxima em função do comprimento livre do fuso. As montagens são representadas pelos números 1,2,3 e 4, de acordo com a Figura 21. A norma estabelece um fator de segurança mínimo igual a 2. Logo a carga axial admissível será no mínimo a metade da Carga Axial Máxima.

Figura 21- Tipos de Montagem do Fuso

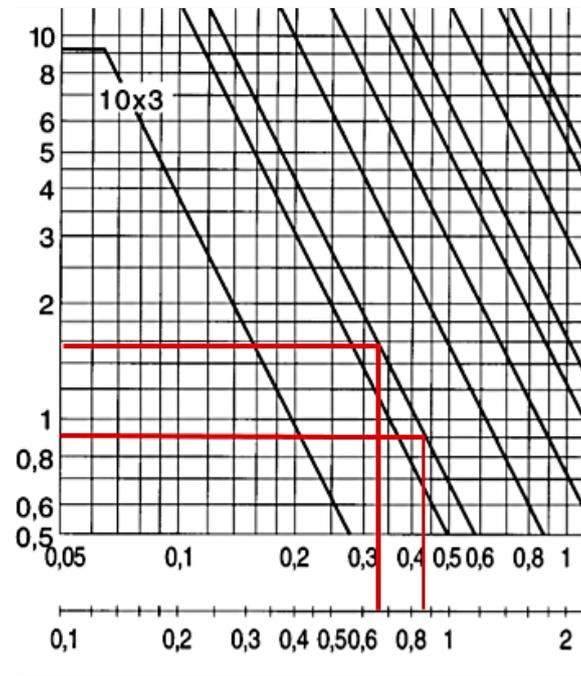


Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o projeto de máquinas CNC, rolamentos do tipo rígido não são utilizados, o esquema de montagem de acordo com a Figura 21, será do tipo 2. No projeto há um tamanho livre de 853mm para o fuso de eixo Y, e 559mm para o fuso de eixo X. E ambos os fusos escolhidos foram do tipo **TR14x4**.

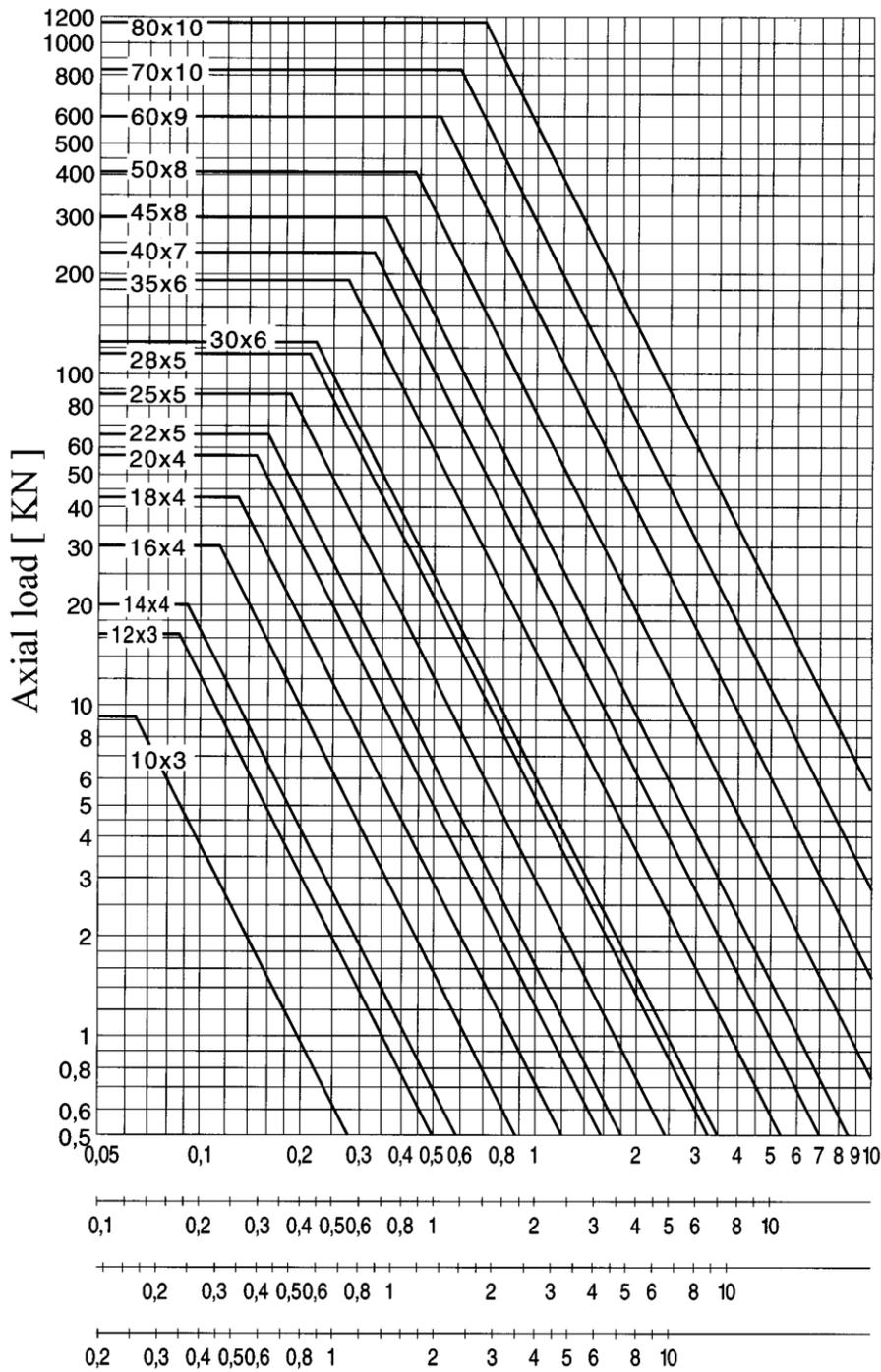
Analisando o diagrama, determinou-se uma Carga Axial Máxima de 0,9kN para o fuso do eixo Y e 1,6kN para o fuso do eixo X.

Figura 22 - Diagrama da Carga Axial Máxima



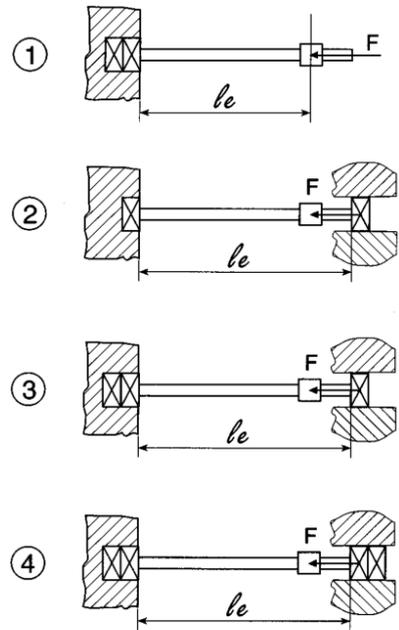
Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 10 - Carga Axial Máxima



Fonte: (AMETRIC)

free length ' $l_e$ ' for constraint type

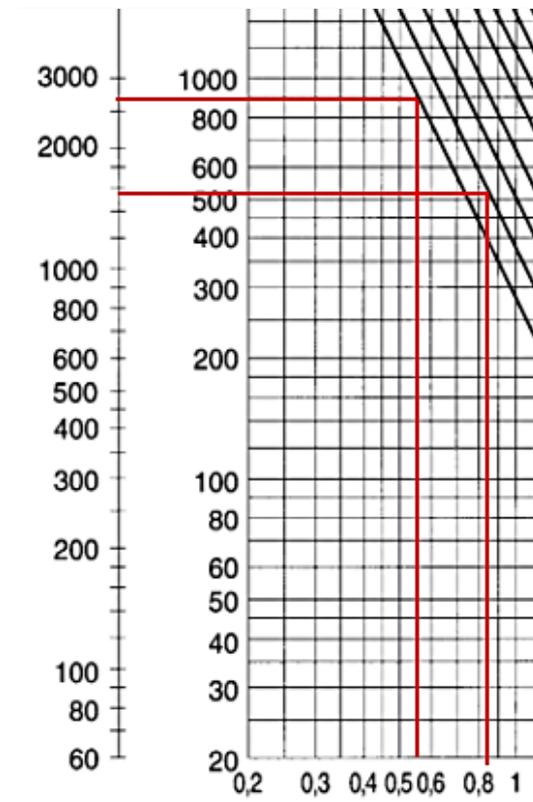


- ① free length  $l_e$  [m]
- ② free length  $l_e$  [m]
- ③ free length  $l_e$  [m]
- ④ free length  $l_e$  [m]

#### 4.1.2 – RPM Crítico

O número de rotações por minuto (RPM) crítico é a velocidade em que o fuso começa a apresentar vibração. Esta rotação nunca deverá ser atingida, pois as vibrações causam sérios problemas operacionais. O RPM Crítico depende do diâmetro do fuso, dos elementos de apoio e do comprimento livre ( $L_g$ ). A numeração dos tipos de montagem é a mesma descrita pela Figura 21. No projeto há um tamanho livre de 853mm para o fuso de eixo Y e 559mm para o fuso de eixo X, ambos terão 14mm de diâmetro. O diagrama não contempla todas as medidas dos diâmetros estabelecidos pela norma ISO 2902. Para maior segurança no projeto a análise será feita com diâmetro de 12mm.

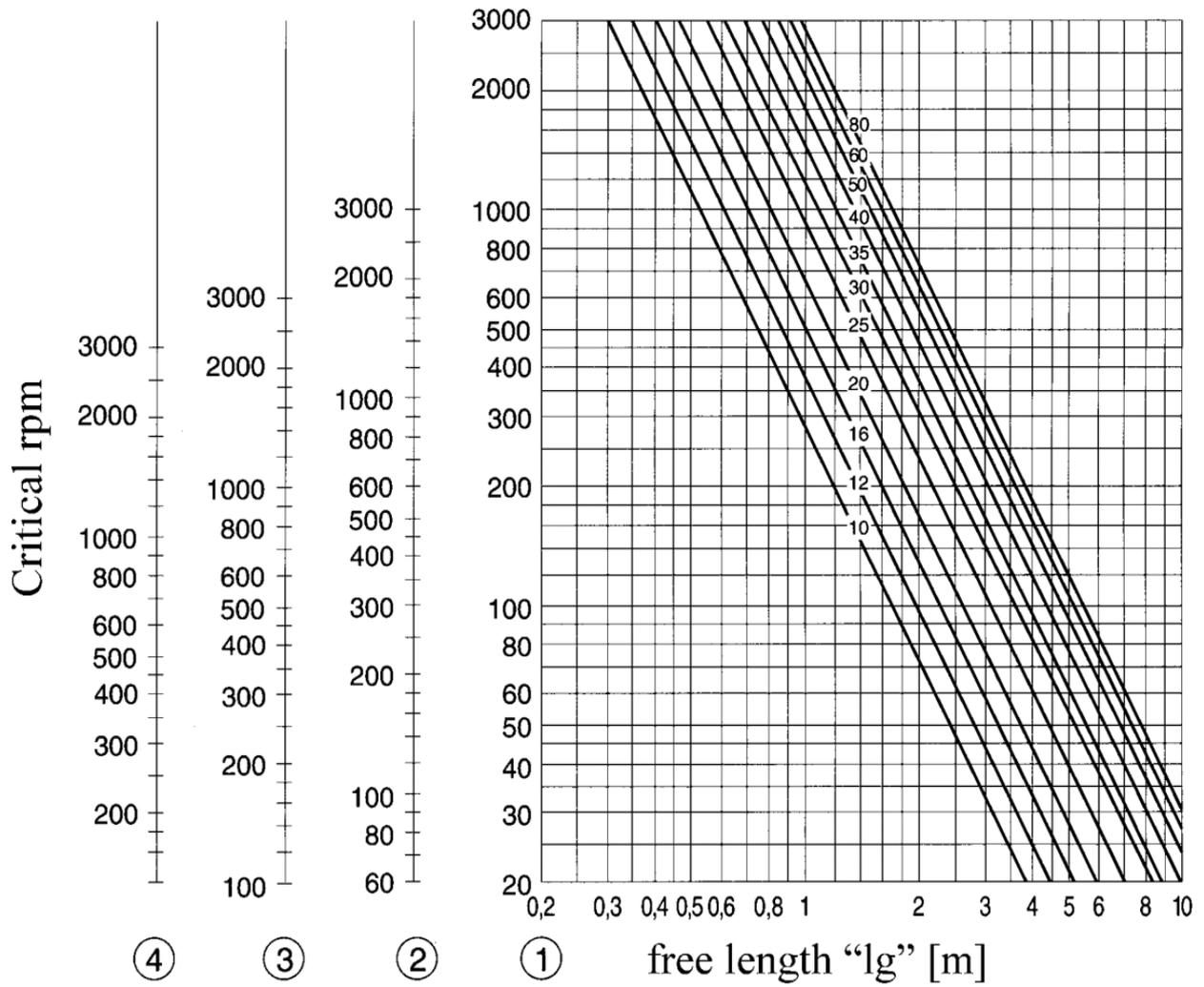
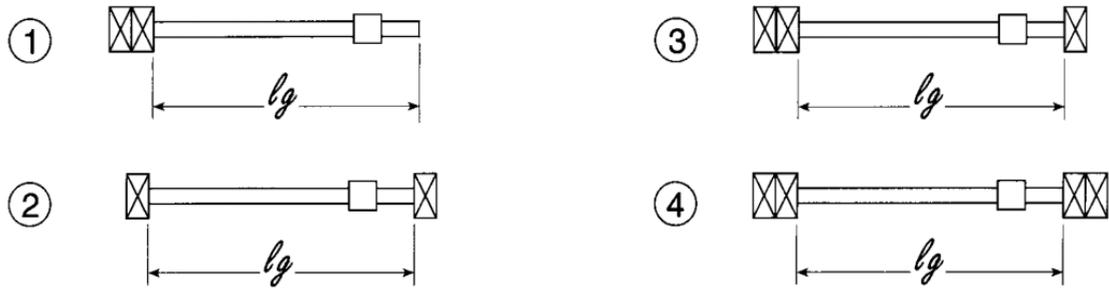
Figura 23 - Diagrama (RPM Crítico)



Fonte: Adaptado de (AMETRIC)

A partir do diagrama pôde ser observado que o RPM crítico do fuso de eixo X e Y, que serão respectivamente **2750** e **1600 RPM**.

Tabela 11 - Diagrama do RPM Crítico



Fonte: (AMETRIC)

#### 4.1.3 – Cálculo do RPM Nominal

O RPM nominal será calculado de acordo com as especificações do fabricante de acordo com a *Equação 8*:

(8)

$$RPM = \frac{PPS * 60}{PPR}$$

Para a configuração de ½ micropasso o número de PPR (Passos por revolução) será de 400, pois normalmente os motores de passo executam 200 passo para dar uma volta, dividindo esse valor por 2 tem-se então 400 PPR. O PPS é dado pelo fabricante, como mostrado na Figura 13. Foi escolhida uma base de 2000 PPS, valores acima disso fazem o torque do motor cair drasticamente. O número de rotações por minuto será de **300**. Portanto o fuso irá trabalhar dentro dos limites de segurança para o número de rotações.

#### 4.1.4 – Cálculo da Força de Corte

Deve-se calcular a força de corte, pois ela está diretamente relacionada com a carga axial que será exercida nos eixos, como citado anteriormente a força de corte pode ser calculada pela equação abaixo:

$$F_c = K_{c1.1} * b * Z_c * hm^{1-mc}$$

Primeiramente deve-se o ângulo do arco de contato da ferramenta com a peça, de acordo com a *Equação 8*.

$$\Phi = \arcsen\left(\frac{2a_e}{D}\right) \text{ rad}$$

$$\Phi = 11,53696^\circ$$

Os valores de  $a_e$  são dados pelo fabricante das fresas e variam de acordo com o diâmetro, conforme exemplificado na Figura 20. Com o valor de  $\Phi$  será possível determinar  $Z_c$  que indica o número de dentes da fresa em contato com a ferramenta.

$$Z_c = Z * \frac{\Phi}{360}$$

A fresa indicada possui apenas 2 dentes, então aplicando os valores calculados tem-se:

$$Z_c = 0,064094$$

Também será necessário calcular o  $f_z$  que representa o número de avanço por dente. Para isso deve-se utilizar a Equação 10:

$$F_z = \frac{V_f}{z * n}$$

O avanço da mesa ( $V_f$ ) é estipulado pelo programador, como fator base foi utilizado como o padrão **550mm/min**. O número de rotações foi calculado anteriormente, a máquina operará com 300 RPM.

E  $Z$  é o número de dentes, que neste caso é 2. Calculando  $F_z$  então tem-se:

$$F_z = \frac{550}{2 * 300}$$

$$F_z = 0.916 \text{ mm/dente}$$

Para determinar o Expoente de Kienzle (1-mc) e o  $K_c$  foi utilizada a tabela descrita anteriormente.  $K_c$  então será de 320MPa, e o Expoente de Kienzle de acordo com a Tabela XX é 0,75.

Agora será necessário calcular a espessura média do cavaco ( $H_m$ ), isto será feito através da Equação 11.

$$H_m = \frac{360}{\Phi} * \frac{F_z}{\pi} * \frac{ae}{D} * \text{sen}(Kr)$$

O ângulo de direção do gume principal é representado pelo fator  $K_r$ , a fresadora proposta não possui ajuste na inclinação da ferramenta, esta irá operar sempre a  $90^\circ$  com a peça a ser usinada. Aplicando os valores obtidos na fórmula tem-se:

$$H_m = \frac{360}{11,53} * \frac{0.916}{\pi} * \frac{Ae}{D} * \text{sen}(90^\circ)$$

A relação  $\frac{Ae}{D}$  permanecerá sempre a mesma, portanto o fator  $H_m$  será constante. Assim de acordo com as informações cedidas pelo fabricante foi possível calcular esta relação.

$$\frac{Ae}{D} = \frac{0,15\text{mm}}{1,5\text{mm}} = 0,1$$

$$H_m = 0,910 \text{ mm/dente}$$

O comprimento do gume ativo, representado pela letra  $b$ , no fresamento frontal será igual ao fator  $A_p$ , indicado pelo fabricante. Com estes valores, será possível calcular a força de corte, segundo a *Equação 12*.

$$F_c = K_c * b * Z_c * Hm^{1-mc}$$

A partir das equações mostradas foi possível criar uma tabela para a força de corte de acordo com as fresas presentes no mercado. As forças de corte foram inferiores que a carga axial máxima do fuso Y (0,9 kN). Logo a fresa escolhida bem como o fuso, atendes as especificações do projeto.

Tabela 12 - Forças de Corte Calculadas

<b>CÓDIGO - FRESA</b>	<b>D (mm)</b>	<b>ae</b>	<b>ap</b>	<b>Fc (N)</b>
<b>AL-2E-D1.0</b>	1,00	0,1	1,5	<b>40,25</b>
<b>AL-2E-D1.5</b>	1,50	0,15	2,25	<b>60,37</b>
<b>AL-2E-D2.0</b>	2,00	0,2	3	<b>80,50</b>
<b>AL-2E-D2.5</b>	2,50	0,25	3,75	<b>100,62</b>
<b>AL-2E-D3.0</b>	3,00	0,3	4,5	<b>120,75</b>
<b>AL-2E-D4.0</b>	4,00	0,4	6	<b>161,00</b>
<b>AL-2E-D5.0</b>	5,00	0,5	7,5	<b>201,25</b>
<b>AL-2E-D6.0</b>	6,00	0,6	9	<b>241,50</b>
<b>AL-2E-D8.0</b>	8,00	0,8	12	<b>322,00</b>
<b>AL-2E-D10.0</b>	10,00	1	15	<b>402,50</b>
<b>AL-2E-D12.0</b>	12,00	1,2	18	<b>483,00</b>
<b>AL-2E-D16.0</b>	16,00	1,6	24	<b>644,00</b>
<b>AL-2E-D20.0</b>	20,00	2	30	<b>805,00</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.1.5 – Seleção Do Fuso

A seleção do fuso se deu com base nos principais fatores: preço, precisão e resistência mecânica. Primeiramente as duas opções viáveis eram o fuso esférico, que permite uma menor folga fuso/castanha, ou o fuso trapezoidal, que tem precisão menor. Levando em consideração a proposta do trabalho de produzir uma máquina que tem como ponto chave a otimização do custo em relação as máquinas existentes no mercado atual, o preço foi fator importante, já que fusos esféricos são caros, podendo chegar a custar dez vezes mais. Portanto a melhor opção de custo/precisão foi o fuso trapezoidal.

O fuso escolhido foi do tipo **TR14x4**, este fuso se mostrou suficiente para atender uma velocidade máxima de **1500 mm/min**. Este deverá suportar a carga calculada da estrutura metálica de 90N e a força de corte calculada anteriormente. Sendo necessário então 2 fusos para o eixo Y ( $\text{Ø}14\text{mm}$  x 932mm), um fuso para o eixo X ( $\text{Ø}14\text{mm}$  x 659mm) e um fuso para o eixo Z ( $\text{Ø}14\text{mm}$  x 254).

#### 4.1.6 – Escolha da Porca Cilíndrica Flangeada

A seleção da porca cilíndrica flangeada se deu com base no material em seria fabricada. Diversos materiais estão disponíveis no mercado, como por exemplo: o bronze, o poliacetal entre outros. O bronze apresenta excelentes características de resistência e uma ótima durabilidade. O poliacetal é um tipo de plástico que vem ganhando espaço na indústria devido a ter uma boa resistência e apresentar menor custo e peso.

Os dois materiais atendem bem a situação proposta. Ambos boa durabilidade, no entanto um fator fundamental precisa ser levado em consideração, o preço. O valor de uma peça feita em bronze custa cerca de duas vezes mais que a mesma peça feita em poliacetal. Apesar do bronze durar um pouco mais que o seu concorrente, se justifica o fato do adquirir as porcas cilíndricas flangeadas de poliacetal. Seu valor menor ajuda a manter o projeto no mais baixo custo possível.

## 4.2 – DIMENSIONAMENTO ELETRÔNICO

### 4.2.1 – Dimensionamento da fonte de alimentação

Como o projeto possui **4 motores** de passo do tipo Nema 23 do tipo bipolar, segundo o manual do fabricante presente no Anexo B, a corrente de trabalho de cada motor é **2,1A**. Desenvolvendo a Equação 7 tem-se:

$$\text{Corrente de Saída} = 2,1A * 4 + 2A$$

$$\text{Corrente de Saída} = 10,4A$$

Então será necessária uma fonte de alimentação cuja tensão de saída seja entre 16 e 24V (DC) e a corrente mínima de trabalho seja 10,4A.

### 4.2.2 – Dimensionamento dos Motores de Passo.

O dimensionamento será feito para os motores do **eixo Y**, que farão maior esforço comparado aos outros motores. Isso se dá pelo fato de movimentarem toda estrutura. Estes também estarão acoplados aos fusos de maior comprimento.

Primeiro será calculado o momento de inércia total, que será o somatório de todos os momentos de inércia que o motor terá que vencer.

Para determinar o momento de inércia do motor é necessário consultar o catálogo do fabricante:

Figura 12 - Datasheet Nema 23 - Inércia

Folga máx. axial	0.03 mm – carga = 700 g
Detent torque	400 gf.cm
Inércia do rotor	370 g.cm <sup>2</sup>
Quantidade de fios	6
Peso	0.98 Kg

Fonte: Adaptado (NEOYAMA)

A Inércia do rotor será de **370 g.cm<sup>2</sup>**, ou **37.10<sup>-6</sup> Kg.m<sup>2</sup>**.

No projeto é previsto o fuso de 14 mm de diâmetro e 932 mm de comprimento, com 4 mm de passo. O diâmetro em metros será então de **14.10<sup>-3</sup>m** e o comprimento de **0,932m**. Colocando os dados e resolvendo a *Equação 3*:

$$J_F = 762xD^4xL$$

$$J_F = 2,72 x 10^{-5} \text{ kg.m}^2$$

O momento de inércia do fuso será então de  $2,72 x 10^{-5} \text{ kg.m}^2$ . Fazendo-se os cálculos do momento de inércia da carga, que pode ser calculado de acordo com a *Equação 4*.

$$J_w = (W.p^2)/(4.10^7)$$

O peso da estrutura será calculado de acordo com a lista de materiais da estrutura que serão movidos pelo eixo Y da máquina CNC.

Tabela 13 - Estrutura a ser movimentada pelos motores do eixo Y

Solidos Alumínio	Quantidade	Peso Total (Kg)	Total (Kg)
Chapa Spindle	1,00	0,3951	<b>13,54</b>
Chapa 12.7	2,00	0,6445	
Chapa de tras Z	1,00	0,5893	
Suporte Eixo X	2,00	2,3921	
Castanha Flange	2,00	0,0428	
Solidos Aço	Quantidade	Peso Total (Kg)	
Guia Eixo X	2,00	2,8817	
Fuso Eixo X	1,00	0,5592	
Fuso Eixo Z	1,00	0,2105	
Guia Linear Z	2,00	1,0831	
Solidos Poliacetal	Quantidade	Peso Total (Kg)	
Mancal Castanha	2,00	0,1459	
Solidos Poliacetal	Quantidade	Peso Total (Kg)	
Castanha	2,00	0,1405	
Itens Diversos	Quantidade	Peso Total (Kg)	
Nema 23 15Kgf	2,00	1,38	
Spindle 400 W	1,00	0,915	
Suporte Spindle	1,00	0,285	
Pillow Block	8,00	1,88	

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A carga total a ser movida por um único motor de passo do eixo Y será a metade da carga total calculada (13,5Kg). Porém pelo posicionamento do carro o esforço irá variar para cada motor. Para efeito de cálculo será considerado o pior caso. Onde apenas um motor será responsável por mover toda a carga da estrutura e dos motores.

O “W” será então 13,5 Kg, o passo do fuso “p” é de 4mm. Desenvolvendo a Equação 4:

$$J_w = (W.p^2)/(4.10^7)$$

$$J_w = 3,6.10^{-6} \text{ kg.m}^2$$

Então o torque total será o somatório dos torques calculados, o momento de inércia dos acoplamentos está de acordo com catálogo no Anexo D. O valor é de **1.10<sup>-5</sup> kg.m<sup>2</sup>**

$$\Sigma J = J(\text{fuso}) + J(\text{carga}) + J(\text{motor}) + J(\text{acoplamento})$$

$$\Sigma J = (1.10^{-5} + 0,18.10^{-5} + 2,72.10^{-5} + 3,7.10^{-5}) \text{ kg.m}^2.$$

$$\Sigma J = 7,6.10^{-5} \text{ kg.m}^2$$

Contudo considerando os desalinhamentos, folgas e o rendimento mecânico do fuso trapezoidal, pode-se considerar um aumento no momento de inércia total de aproximadamente 60%.

$$\Sigma J = 7,6.10^{-5} \text{ kg.m}^2 * 1,6$$

$$\Sigma J = 12,16.10^{-5} \text{ kg.m}^2$$

Para saber o número de rotações do motor em uma determinada faixa de tempo, é necessário consultar o catálogo do fabricante, como mostrado na Figura 13.

A velocidade máxima de trabalho é estimada na faixa de 2000 PPS (Passo por segundo), onde os motores trabalham com aproximadamente **9 Kgf.cm**.

Como a configuração utilizada é ½ micro passo, e os motores dão 200 passos/volta. Para revolução na configuração ½ serão necessários 400 passos. Então é possível determinar a velocidade de cada passo na equação abaixo:

(6)

$$\text{Rotação por segundo} = \text{Passo por segundo} / \text{Passo por revolução}$$

$$\text{Rotação por segundo} = 2000/400$$

$$\text{Rotação por segundo} = 5,0 \text{ rev/s}$$

O tempo de cada volta então será de aproximadamente **0,2** segundos e o número de rotações em um segundo é de **5**. Aplicando os valores na *Equação 5*:

$$A_c = 4,5D/t^2$$

$$A_c = 562,5 \text{ rev/s}^2$$

Substituindo os valores encontrados na *Equação 2*:

$$T = 2\pi \times J \times A_c$$

$$T = 2\pi \cdot 12,16 \cdot 10^{-5} \cdot 562,5$$

$$T = 2\pi \cdot 12,16 \cdot 10^{-5} \cdot 562,5$$

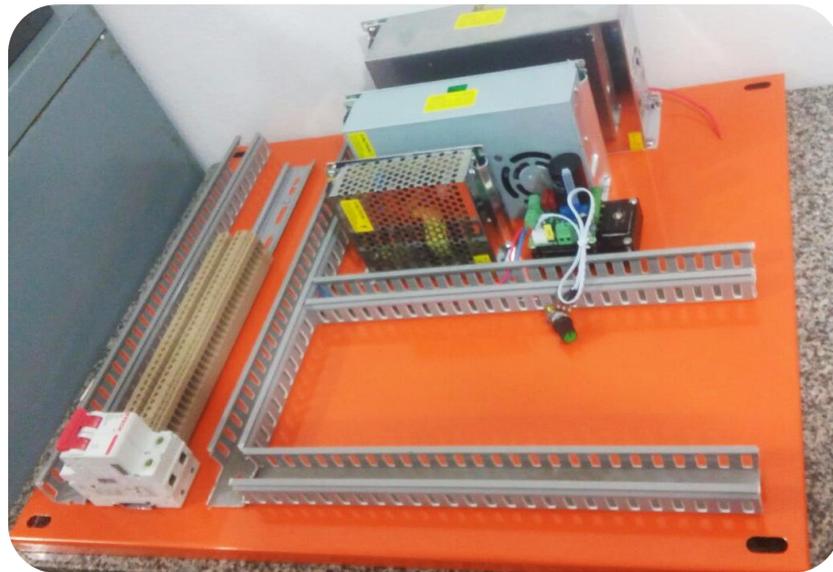
$$\mathbf{T = 0,424 N.m}$$

De acordo com catálogo do fabricante, o motor na configuração bipolar-série possui torque de 15 kgf.cm, que corresponde a **1,470 N.m**. Portanto o motor escolhido atinge o torque necessário para movimentar o fuso.

### 4.3 – MONTAGEM DO PAINEL DE COMANDO ELÉTRICO

Confeccionar um painel de comando é uma das etapas principais de uma máquina automatizada. Devido a seus grandes números de componentes elétricos e eletrônicos, é necessário organizá-los de forma a prevenir acidentes e possibilitar manutenções mais rápidas e precisas. A figura abaixo mostra a parte interna do painel elétrico montado.

Figura 24 - Parte Interna - Painel Elétrico



Fonte: Autor.

De acordo com a norma NBR 5410 instalações de baixa tensão devem atender a vários princípios de segurança, podendo destacar: proteção contra sobre corrente. De acordo com a NR-12 para a segurança do operador, a máquina deve possuir um sistema que interrompa a ação do equipamento instantaneamente em caso de emergência.

Seguindo essas diretrizes, o painel foi montado atendendo aos requisitos das normas. Como componentes de segurança foram instalados:

- Disjuntores, para proteção contra sobrecorrente.
- Botão de parada de emergência, fixado numa posição que seja de fácil localização em caso de necessidade.
- Botoeira e contator.
- Sensores fim de curso, prevenindo danos à máquina.

A organização interna dos equipamentos se deu da seguinte forma:

A tensão principal vem através de fios ligados a rede elétrica. Esses fios chegam no disjuntor principal, em sequência avançam para o contator. O contator é acionado através da botoeira de partida. Antes de passar pela botoeira os cabos são primeiro levados ao botão de parada de emergência. Após esse processo o contator é acionado, e assim as fontes de alimentação são ligadas.

Equipamentos de tensão alternada ou tensão contínua acima de 36V (volts) encontram-se posicionados na mesma repartição, tais como: Fontes e controlador de velocidade do motor *Spindle*.

Foram utilizadas 3 fontes: 12v para coolers e *leds* de indicação, 24v para os motores de passo e 48v volts para o motor *Spindle*. Da fonte de 24v saem os cabos de alimentação para os 4 drivers TB6560 que acionam os motores de passo. Da fonte de 48v saem os cabos para o controlador de velocidade do motor *Spindle*, e dele seguem para os bornes.

A saída dos drivers está interligada aos bornes, de forma a facilitar a conexão com os motores. O Arduino encontra-se logo abaixo dos drivers na mesma repartição, a partir dele surgem os fios que levam sinal aos drivers, executando o acionamento dos mesmos. Os sensores fim de curso, bem como botões de pausa e continuação da operação, estão diretamente conectados ao Arduino.

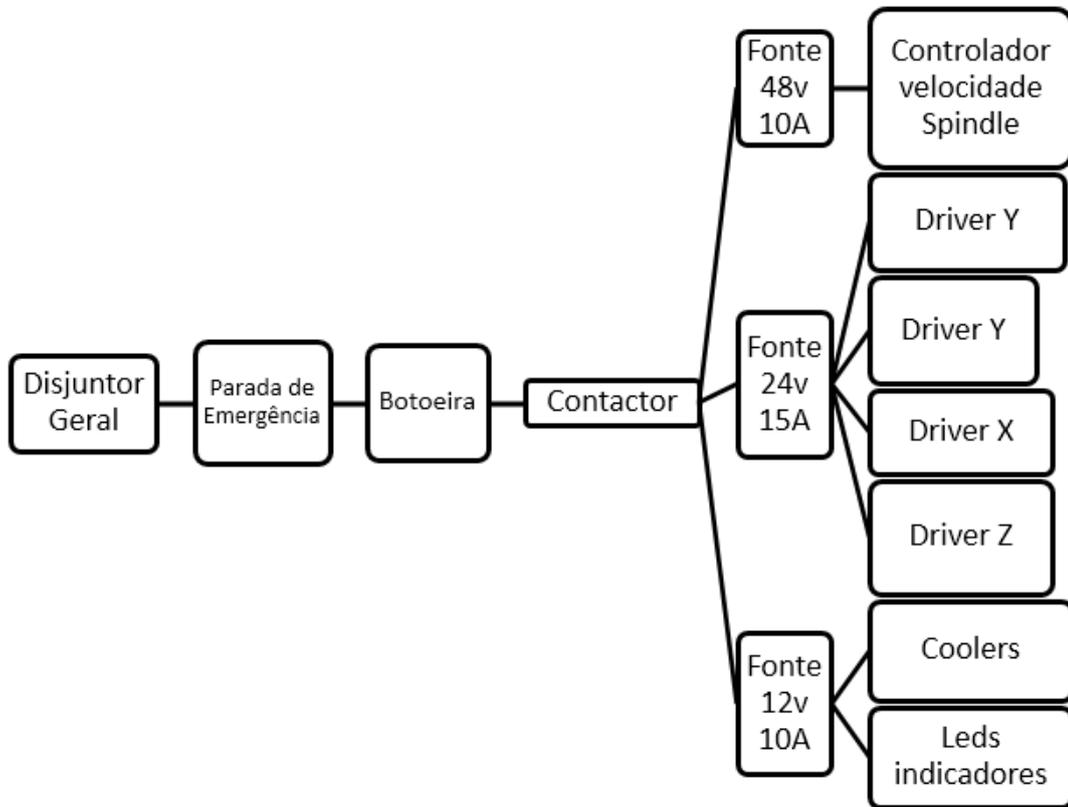
Na parte inferior da montagem, encontra-se toda a parte elétrica de comunicação com o meio externo. Há um trilho com os bornes que recebem toda a fiação do painel. O disjuntor geral e o contator também estão fixados juntos aos bornes.

Para refrigeração dos equipamentos, estão instalados dois coolers de alta potência de 30W (Watts) cada. Enquanto um admite ar para o painel, o outro faz a retirada do ar quente.

Na tampa, estão instalados todos os botões e *leds* de indicação necessários ao usuário para uma correta utilização da máquina. Encontram-se os botões de acionamento, a botoeira, o botão de parada de emergência, os botões de pausa e continuação da operação, e por fim um potenciômetro para controle manual da velocidade do motor de corte *Spindle*.

Abaixo é representado o fluxograma do esquema de montagem elétrica dos componentes do painel.

Figura 25 - Fluxograma da Montagem Elétrica



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 26 - Painel Elétrico Finalizado

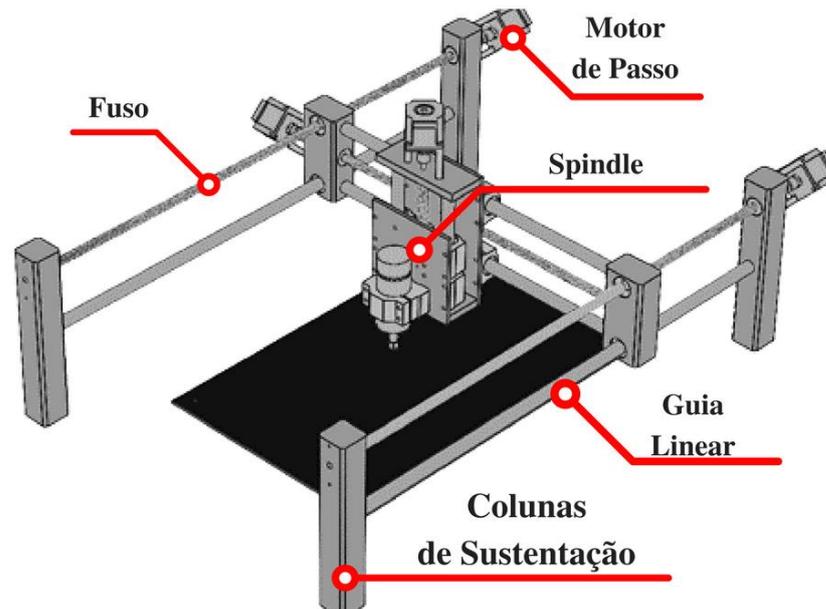


Fonte: Autor.

#### 4.4 – MODELO 3D

Para desenho do projeto da estrutura foi utilizado o programa *SolidWorks*, seguindo as dimensões citadas anteriormente. A figura abaixo representa o modelo de montagem da Fresadora CNC.

Figura 27 - Modelo 3D- Fresadora CNC



Fonte: Elaborado pelo autor.

A estrutura da fresadora CNC *router* é composta por 4 colunas principais que sustentam todos os outros elementos da estrutura. Elas são construídas de alumínio maciço. Suas dimensões são de 50mm de largura e 300mm de altura.

As guias lineares escolhidas têm 20mm de diâmetro. Sua escolha se dá em base de obter-se a maior rigidez possível na estrutura. Dessa forma o projeto encontra condições de manter uma maior precisão durante sua operação.

O motor de corte *Spindle* encontra-se fixo no pórtico da máquina. Um carro composto por chapas parafusadas em mancais de rolamento linear (*Pillow Blocks*), faz com o que este deslize suavemente pelas guias.

O carro está fixo no eixo horizontal da fresadora. Duas guias fazem sua sustentação. Essas guias estão acopladas a dois suportes móveis que deslizam no sentido longitudinal da fresadora. Estes

são construídos também em alumínio maciço, visando encaixar adequadamente os rolamentos lineares e radiais, além de garantir mais rigidez a estrutura.

Os fusos foram detalhados e construídos de acordo com as dimensões especificadas nos cálculos. A opção de usar dois elementos no eixo longitudinal se deve ao fato de que padronizar os componentes apresenta vantagens construtivas. Como a força para deslocar o pórtico nesse eixo é maior que nos outros, o dimensionamento do motor seria maior, e conseqüentemente os drivers, acoplamentos e até mesmo o fuso teria de ser mais robusto. Dessa forma, a escolha por padronizar a montagem se revela mais vantajosa para o projeto.

#### 4.5 – USINAGEM DA ESTRUTURA

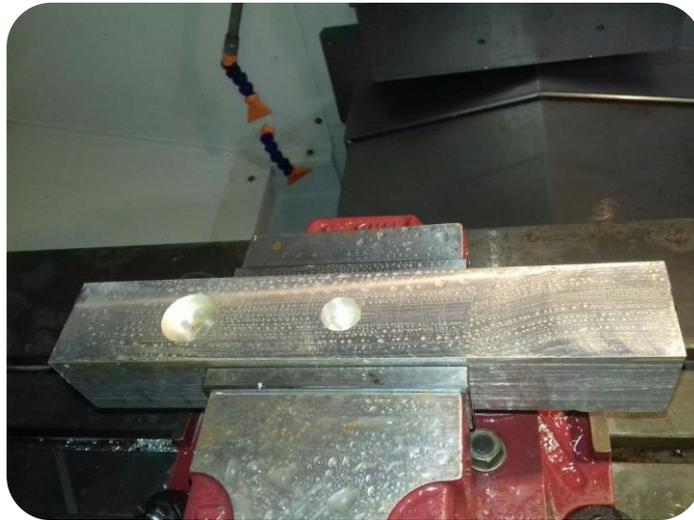
A usinagem das peças foi realizada no Centro Integrado SESI/ SENAI/ IEL - Aracruz-ES em uma fresadora CNC (isso garantiu exatidão na construção das peças, visto que a máquina tem precisão de 0.001 mm). Contou-se com a contribuição do professor Wallace Nascimento (Instrutor I – Mecânica).

Usou-se o Software *Mastercam* CAD/CAM para gerar o G-Code. Inseriu-se no programa os tamanhos das fresas e as ações que elas iriam realizar. Em algumas peças operou-se a fresadora manualmente devido à pouca complexibilidade, julgou-se então desnecessário o uso do G-code. Foram utilizadas ferramentas como: relógio comparador, relógio apalpador, e ferramentas de corte (Fresas e Brocas).

O relógio comparador foi utilizado para ajustar a morsa. Com ajuste fino feito por ele, garantiu-se que a peça ao ser presa não tivesse ângulo no sentido cartesiano  $x$  e  $y$ . O relógio apalpador se mostrou de suma importância para a confecção das peças, com precisão de 0,001mm, possibilitando encontrar o centro e o ponto zero tocando nas extremidades da peça. Foram utilizadas as fresas de 50 mm, 40 mm, 16 mm, 12 mm e também brocas de 9 mm, 5 mm e 4 mm.

Depois da usinagem na fresadora, foram abertas as roscas com macho M5 e M6, de acordo com o projeto.

Figura 28 – Usinagem da parte estrutural



Fonte: Autor.

Figura 29 - Fresadora CNC – Montagem da Máquina



Fonte: Autor.

#### 4.5.1 – Dificuldades Encontradas

As peças compradas continham as medidas próximas do projeto final, com poucos milímetros de sobra para realizar as operações de desbaste. Foi preciso cautela para conseguir remover as marcas da serra e outras imperfeições e deixar as peças nas medidas corretas.

Outra dificuldade encontrada foi o diâmetro da fresa não estar exato no programa. Teve-se que refazer o *G-Code*. O diâmetro da fresa inserido no programa *Mastercam* foi de 16mm, a fresa faria um desbaste interno com 30mm de diâmetro. Ao realizar a medição utilizando um micrometro com resolução de 0,01mm. Constatou-se que o diâmetro desejado era de 15.96 mm, ligeiramente menor do que o diâmetro pretendido, foi necessário refazer o *G-code* com a medida exata da ferramenta.

## 4.6 – COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS

O mercado de máquinas CNC no Brasil é ainda está crescendo, os modelos atuais possuem um alto custo e um baixo aproveitamento da área útil. O Gráfico 1 representa um exemplo de comparação entre as máquinas disponíveis no mercado.

Gráfico 1 - Comparativo de Preços - Modelo X (proposto) e modelos do mercado.

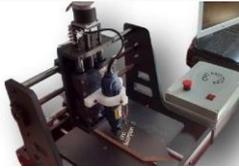
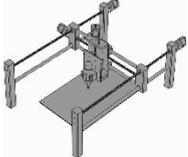


Fonte: Elaborado pelo autor.

O gráfico acima mostra a vantagem do “Modelo X” (modelo proposto) em relação aos modelos comercializados em território nacional. É importante ressaltar que não foi levado em consideração a mão de obra para montagem do modelo proposto, bem como as tarifas para comercialização de um produto como este. Os modelos escolhidos têm como base características próximas (área, motores, material) ao do modelo proposto, para maior fidelidade da comparação.

Quando é observado somente o custo, o “Modelo X” se mostra otimizado em relação aos modelos comercializados. Em uma outra abordagem pode-se comparar a relação de custo/área útil. Observando a Tabela 14, é possível ver a diferença ainda maior no custo/benefício do “Modelo X”. Apesar de nem todas as máquinas possuírem as mesmas características, é notado uma grande área útil com custo reduzido.

Tabela 14 - Comparação entre modelos

<b>COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS EXISTENTES NO MERCADO</b>				
<b>MODELO</b>	<b>CNC DS-DW3030</b>	<b>ROUTER CNC RC1007</b>	<b>FRESADORA SMALL MILL EM AÇO</b>	<b>PROTÓTIPO DESENVOLVIDO</b>
<b>IMAGEM</b>				
<b>FABRICANTE</b>	DSTECDIGITAL	DISTRITECNC	CNC MOTION	-
<b>CUSTO</b>	R\$ 12 500	R\$ 5 700	R\$ 3 700	R\$ 3200
<b>DIMENSÕES</b>	300X300X45mm	500x500x60mm	300x300x80mm	600x400x100mm
<b>CUSTO/ÁREA</b>	138 880 R\$/m <sup>2</sup>	22 800 R\$/m <sup>2</sup>	41 100 R\$/m <sup>2</sup>	13.333 R\$/m <sup>2</sup>

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 4.7 – LISTA DE MATERIAIS

### 4.7.1 – Lista de Materiais

A partir dos dimensionamentos descritos foi possível fazer o Modelo 3D, bem como a lista de materiais necessários para fabricar a estrutura metálica da Máquina CNC.

Tabela 15 – Lista de Materiais (Estrutura Metálica)

<i>Lista de materiais estruturais</i>			
<i>Peça</i>	<i>Especificações técnicas</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Valor</i>
<i>Barra – Alumínio</i>	50x50x300	4	
<i>Barra - Alumínio</i>	70x50x150	2	
<i>Barra Chata</i>	158x158x5	1	
<i>Barra Chata</i>	158x230x5	1	R\$ 394,00
<i>Espaçador</i>	56x50	4	
<i>Barra Chata</i>	170x158x12.7	1	
<i>Parafusos</i>	Diversos	1	R\$ 63,70
<i>Perfil U e barra chata</i>	2"	1	R\$ 48,60
<b>Total</b>			<b>R\$ 506,30</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 4.7.2 – Lista de Materiais – Movimentação

Tabela 16 – Lista de Materiais (Movimentação)

<i>Lista de Materiais Eletroeletrônica</i>		
<i>Peça</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Valor</i>
<i>Pillow Block 20mm</i>	3	R\$ 384,36
<i>Fusos eixo Y</i>	2	R\$ 266,30
<i>Fuso eixo X</i>	1	R\$ 76,68
<i>Fuso eixo Z</i>	1	R\$ 53,97
<i>Guia eixo Y</i>	2	R\$ 78,92
<i>Guia eixo X</i>	2	R\$ 52,92
<i>Guia Eixo Z</i>	2	R\$ 19,88
<i>Acoplamento motor de passo</i>	4	R\$ 72,00
<i>Espaçador Nema 23</i>	4	R\$ 78,00
<i>Rolamento linear com flange</i>	2	R\$ 50,00
<i>Castanha com flange</i>	2	R\$ 72,00
<i>Castanha com mancal</i>	2	R\$ 96,00
<i>Rolamento 10x30x9</i>	6	R\$ 23,40
<i>Rolamentos 8x16x5</i>	2	R\$ 20,00
<b>Total</b>		<b>R\$ 1.344,43</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.7.3 – Lista de Materiais – Eletroeletrônica

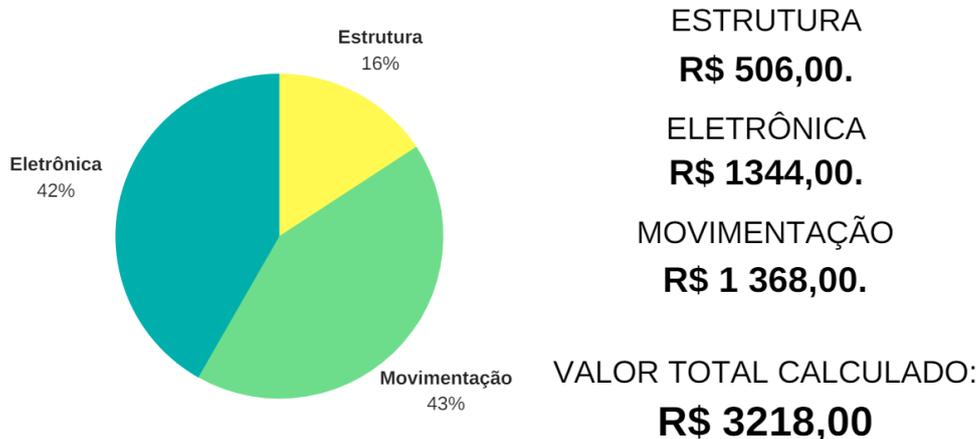
Tabela 17 - Lista de Materiais - Eletrônica

<i>Lista de Materiais Eletroeletrônica</i>		
<i>Peça</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Valor</i>
<i>Spindle 400w</i>	1	264,46
<i>TB6560 12v a 36v - 3A</i>	8	189,10
<i>Arduino Kit CNC</i>	1	63,71
<i>Suporte Alumínio Spindle</i>	1	93,83
<i>Controle de velocidade Spindle</i>	1	52,61
<i>Painel de comando 60x50x20</i>	1	212,00
<i>Fontes 48v,24v e 12v</i>	1	221,00
<i>Esteira porta cabos 10x20</i>	2	20,17
<i>Botão com Led</i>	2	19,41
<i>Botão para de emergência</i>	1	18,44
<i>Materiais elétricos</i>	1	189,40
<i>Terminais</i>	1	6,00
<i>Prensa cabos</i>	2	11,50
<i>Espiraduto + Terminais</i>	1	7,00
<b>Total</b>		<b>1368,63</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Somando então todos os valores obtidos foi possível construir um orçamento dividido em setores.

Figura 30 - Gráfico - Orçamento Divido em Setor



Fonte: Elaborado pelo autor.

É destacado que um dos pontos que diminuiu o custo da máquina foi o melhor aproveitamento da estrutura, sendo que o setor de eletrônica e movimentação apesar de tomar maior parte dos custos de construção da máquina, são indispensáveis, abrindo assim poucas brechas para melhorias. Porém com a estrutura mais otimizada foi possível utilizar motores menores e também elementos de movimentação menos robustos. A estrutura afeta diretamente todos os setores da máquina, uma estrutura mal dimensionada trará grande impacto no custo final.

## 5 CONCLUSÃO

O trabalho realizado encontrou êxito em suas etapas. A fresadora CNC *router* de três eixos atendeu a todas as expectativas iniciais. A máquina foi projetada através de *software* de desenho CAD 3D, que possibilitou a fabricação automática de sua estrutura através de um centro de usinagem automatizado. Isso refletiu diretamente precisão dos elementos fabricados.

No projeto mecânico, os componentes estruturais e de transmissão se mostraram eficazes em suas funções. A parte estrutural de alumínio é de fácil fabricação, requerendo processos de pouca complexidade na sua usinagem. Isso proporcionou um tempo de fabricação e montagem da máquina bastante reduzidos, impactando diretamente no custo da mão de obra. O sistema de transmissão está fundamentado nas normas ISO 2901,2902 para fusos, e ISO 10285 para rolamentos lineares. Todos estes podem ser substituídos por outros fabricados de acordo com a mesma norma. A forma como o projeto eletroeletrônico foi concebido, trouxe inúmeros benefícios. O Painel de comando é totalmente modulável, podendo-se substituir qualquer elemento interno com rapidez, além ser compatível com componentes de diversos fabricantes. Isso facilita muito as futuras manutenções. O painel atende a todos os requisitos de segurança estabelecidos pelas normas NBR 5410 , NBR 13759 e NR 12.

O projeto de *software* utilizando o Arduino como plataforma principal de comando, torna possível a utilização da máquina por pessoas sem grande instrução ou treinamento. Também é importante ressaltar ao usuário a possibilidade de uso de diversos *softwares*, tanto comerciais como livres, para geração do G-Code.

Com base nos gráficos e tabelas, fica claro que a máquina se mostrou viável e satisfaz as condições impostas. Apesar do orçamento não levar em conta fatores como mão de obra ou lucro do fabricante, ainda é possível construir um modelo otimizado, tanto na parte estrutural, como também na manutenibilidade. Isto porque a máquina CNC projetada possui um menor número de elementos de construção (parafusos, flanges, rolamentos...). O “Modelo X” também tem como objetivo ser facilmente montado pelo comprador, proporcionando a capacidade de vender a máquina desmontada através da internet, diminuindo o volume de pacotes.

É necessário destacar que pequenos e médios produtores precisam de equipamentos como estes para competir com grandes empresas. Apostar em uma máquina simplificada de forma que o próprio operador possa vir a fazer a manutenção, é um ponto chave quando se trata de pequenas empresas.

## 5.1 – SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

- Implementação de um quarto eixo possibilitando a usinagem de peças em 3D por completo através da revolução do material.
- Desenvolvimento de um controlador próprio para aperfeiçoamento e inclusão de funções de controle manual independente de *software*.
- Inclusão de sistemas de malha fechada para controle preciso de posicionamento aumento a precisão da máquina.
- Análise e ensaios de precisão para avaliar o desempenho do protótipo construído.

## 6 REFERÊNCIAS

- ABSAAC. FBN Flanged Bronze Nut. **ABSSAC**. Disponível em: <<http://www.abssac.co.uk/p/Bronze+Nuts+POWERSCREW/FBN+Flanged+Bronze+Nut/122/#.WSYb6ZLyvIU>>.
- ALBERT, A. **Understanding CNC Routers**. FPInnovations. [S.l.]. 2004.
- AMERICAN METRIC®CORPORATION, AMETRIC. PROFILE FOR METRIC TRAPEZOIDAL THREADS TO ISO STANDARD 2901. **AMETRIC**. Disponível em: <<https://www.ametric.com/images/document/ThreadedRods.pdf>>. Acesso em: 15 Junho 2017.
- ARDUINO. **Store Arduino**, 2017. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/homepage/arduino-uno-rev3>>. Acesso em: 17 Fevereiro 2017.
- BACCI, M. D. S. et al. **Teoria da Usinagem dos Materiais**. 1ª Ed. ed. São Paulo - Brasil: EDGARD BLÜCHER LTDA, 2009.
- BRITES, F. G.; SANTOS, V. P. D. A. **Motor de Passo**. Universidade Federal Fluminense. Niterói. 2008.
- CASSANIGA, F. A. **Fácil Programação do Controle Numérico**. 2ª ed. ed. São Paulo: [s.n.], 2005.
- CNI/COMP. **Avaliação de Conformidade: Conhecendo e Aplicando na sua empresa**. 2ª. ed. [S.l.]: [s.n.], 2002.
- CONSTANDINOU, T. G. Stepper Motors Uncovered. **Elektor Electronics**, 13 Dezembro 2013. Disponível em: <<https://spiral.imperial.ac.uk:8443/bitstream/10044/1/4320/1/e03c054.pdf>>. Acesso em: 17 Fevereiro 2017.
- ELETRODEX. **Eletrodex Eletrônicos**. Disponível em: <<http://www.eletrodex.com.br/chave-micro-switch-kw11-3z-5-3t-31-5mm.html>>. Acesso em: 11 Março 2017.
- FACHIM, A. **Projeto de Fresadora CNC com Plataforma Livre Arduino**. UFRGS. Porto Alegre. 2013.
- FESMA. FESMA Tecnologia em Polímeros LTDA, 2017. Disponível em: <<http://www.fesma.com.br/>>. Acesso em: 14 out. 2017.
- GARDEN RESEARCH. World Machine-Tool Output. **Garden**, 2015.
- GLORYLASER. Glorylaser Fresadoras CNC. Disponível em: <<http://glorylaser.com.br/product.asp?Cid=95>>. Acesso em: 02 out. 2017.
- GONÇALVES, E. L. Z. **Formação do profissional em pequenas e microempresas no mercado nacional para trabalhar com tecnologia a CNC**. CEFET. Rio de Janeiro. 2007.
- HUGHES, A. **Electric Motors and Drives - Fundamentals, Types and Applications**. School of Electronic and Electrical Engineering - University of Leeds. Oxford, p. 431. 2006.

KALATEC, A. ROLAMENTO LINEAR PILLOW BLOCK FECHADO – SMA<sub>xx</sub>-UU. **Kalatec Automação**, 2013. Disponível em: <[http://kalatec.com.br/rolamentos/SMA-Rolamento\\_linear\\_Pillow\\_Block.pdf](http://kalatec.com.br/rolamentos/SMA-Rolamento_linear_Pillow_Block.pdf)>. Acesso em: 13 Março 2017.

KRAMER, T. R.; M. PROCTOR, F.; MESSINA, E. **The NIST RS274NGC Interpreter - Version 3**. National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg, p. 121. 2000.

LEADSCREWS. **LeadScrews - BallScrews & BallSplines**. Disponível em: <[http://www.thomsonlinear.com/downloads/screws/LeadScrews\\_BallScrews\\_BallSplines\\_ctpt.pdf](http://www.thomsonlinear.com/downloads/screws/LeadScrews_BallScrews_BallSplines_ctpt.pdf)>. Acesso em: 03 Abril 2017.

LYRA, P. V. A. **Desenvolvimento de uma Máquina Fresadora CNC Didática**. Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Distrito Federal, p. 90. 2010.

MACHADO, A. **Comando numérico aplicado às máquinas-ferramenta**. São Paulo: Cone Editora, 1986.

MATSUMOTO, H. [S.l.].

MCROBERTS, M. **Arduino Básico**. São Paulo: Editora Novatec, 2011.

MEYERS, G. L. **Pillow block**. US2580119 A, 25 Dezembro 1951. Disponível em: <<https://www.google.ch/patents/US2580119>>. Acesso em: 13 Março 2017.

MOREIRA, A. F. L. **Máquina-Ferramenta CNC para Gravação**. Universidade do Minho - Escola de Engenharia. [S.l.], p. 171. 2015.

NASCIMENTO, T. E. D. **Estudo de Máquinas CNC**. UFSJ. São João del-Re - MG. 2011.

O MUNDO DA USINAGEM. "AGILIDADE ASSEGURA MILHÕES EM INVESTIMENTOS". **O Mundo da Usinagem**, São Paulo, v. 4, 2006. Disponível em: <<http://www.omundodausinagem.com.br/pdf/28.pdf>>.

OBR. **OBR Equipamentos Industriais**, 2017. Disponível em: <[http://www.obr.com.br/catalogos/OBR\\_rolamentos.pdf](http://www.obr.com.br/catalogos/OBR_rolamentos.pdf)>. Acesso em: 15 Março 2017.

PARKER HANNIFIN. **Tecnologia Eletromecânica**. Jacareí: [s.n.], 2003.

PAZOS, F. **Automação de sistemas e robótica**. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2002.

PINHEIRO, A. C. D. B.; CRIVELARO, M. **Fundamentos de Resistência dos Materiais**. 1ª Ed. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

PORTO, A. J. V. **Usinagem de ultraprecisão**. [S.l.]: Editora Rima, 2004.

RACML. **RAC - Movimentos Lineares Ltda**, 2014. Disponível em: <<http://www.racml.com.br/catalogos/rolamento-linear-lme.pdf>>. Acesso em: 04 Maio 2017.

RAMÍREZ, E. F. F. **Curso de Arduino Básico**. Universidade Federal de Londrina. Londrina. 2015.

ROLT, L. T. C. **A Short History of Machine Tools**. Cambridge, Massachusetts: [s.n.], 1965. Disponível em: <[www.vetorcnc.com/fresadora-historia-51/](http://www.vetorcnc.com/fresadora-historia-51/)>.

SAINSMART. New CNC Router Single Axis 3A TB6560 Stepper Motor Drivers Board For axiscontrol. **https://www.sainsmart.com**. Disponível em: <<https://www.sainsmart.com/new-cnc-router-single-axis-3a-tb6560-stepper-motor-drivers-board-for-axiscontrol.html>>. Acesso em: 22 Abril 2017.

SANTOS, A. V. D.; ARAÚJO, B. **Usinagem em altíssimas velocidades**. [S.l.]: Erica, 2003. 114 p.

SANTOS, D. R. D. **Fuso de esferas recirculantes e guias lineares - Mecatrônica Atual**. São Paulo: Abril, 2001.

SHIGLEY, J. E. **Projeto de Engenharia Mecânica**. 8ª Edição. ed. Porto Alegre - RS: AMGH Editora, 2011.

SIMON, A. T. As máquinas-ferramenta de usinagem instaladas no parque industrial brasileiro. **Inventário MM**, Março 2015. Disponível em: <<http://www.arandanet.com.br/assets/revistas/mm/2015/marco/index.php>>. Acesso em: 26 Fevereiro 2017.

SKF. **SFK**, 2016. Disponível em: <<http://www.skf.com/pt/products/linear-motion/linear-guides-and-tables/linear-ball-bearings/linear-ball-bearing-lbc-d/index.html>>. Acesso em: 26 Janeiro 2017.

SOUZA, A.; ULBRICH, C. **Engenharia Integrada por Computador e sistemas CAD/CAM/CNC**. São Paulo: Artliber, 2009.

SPILLING, T. **Self-Improving CNC Milling Machine**. University of Oslo. [S.l.]. 2014.

STOETERAU, R. L. **Introdução ao Projeto de Máquina-Ferramentas Modernas**. Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina. 2004.

STOETERAU, R. L. **Introdução ao Projeto de Máquina-Ferramentas Modernas**. Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, p. 114. 2004.

SUH, S. E. A. **Theory and Design of CNC Systems**. [S.l.]: Espanha: Editora Springer, v. (Springer Series in Advanced Manufacturing), 2008.

VEGA, A. S. D. L. **Tutorial sobre introdução a projetos utilizando o kit de desenvolvimento Arduino**. FURB. Blumenau. 2011.

WEG. WEG S.A. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-comando-e-sinalizacao-linha-csw-50009820-catalogo-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 24 set. 2017.

WERNER, G. **Desenvolvimento de uma Fresadora CNC para Usinagem em 5 Eixos**. CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES. Lajeado. 2015.

ZAPMAKER Website. **Zapmaker**, 2013. Disponível em: <<http://zapmaker.org/projects/grbl-controller-3-0/grbl-controller-main-screen-options/>>. Acesso em: 12 Fevereiro 2017.

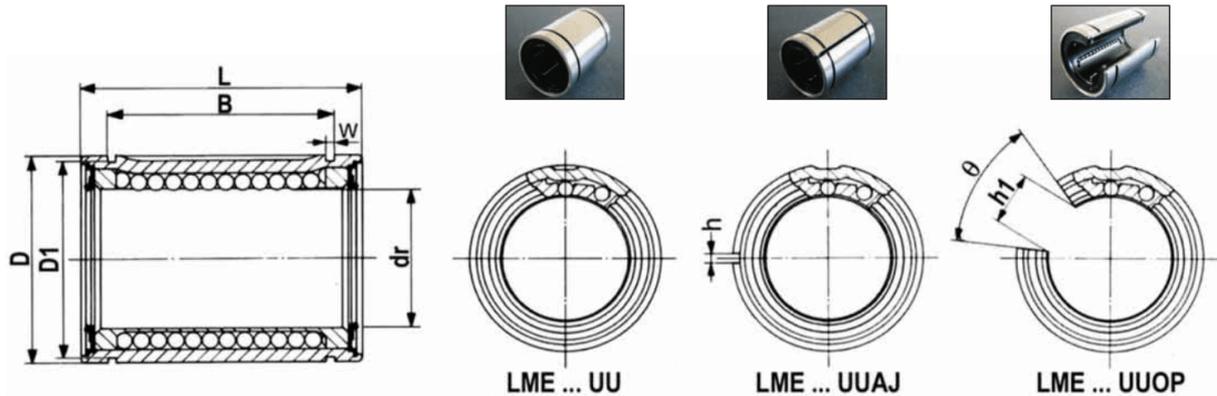
ZCC.CT. Fresas de Metal Duro. **Wolfbrasil**. Disponível em:  
<[http://www.wolfbrasil.com.br/catalogos/catalogo\\_fresas\\_metal\\_duro.pdf](http://www.wolfbrasil.com.br/catalogos/catalogo_fresas_metal_duro.pdf)>. Acesso em: 12  
Junho 2017.

# ANEXO A CATÁLOGO – BUCHA DE ESFERAS

# RAC

## Movimentação Linear

### BUCHAS DE ESFERAS - STANDARD



Buchas de Esferas

Ø Eixo (mm)	Código do Rolamento Linear (Bucha de Esferas)											D	
	Standard	Nº de circuitos	Massa (g)	Ajustável	Nº de circuitos	Massa (g)	Aberto	Nº de circuitos	Massa (g)	dr Tolerância (µm)	Tolerância (µm)		
5	LME 5UU	4	11	LME 5UUAJ	4	11	-	-	-	5	12	0	
8	LME 8UU	4	20	LME 8UUAJ	4	20	-	-	-	8	16	-8	
12	LME 12UU	4	41	LME 12UUAJ	4	41	LME 12UUOP	3	30	12	22	0	
16	LME 16UU	5	65	LME 16UUAJ	5	65	LME 16UUOP	4	48	16	26	-9	
20	LME 20UU	5	91	LME 20UUAJ	5	91	LME 20UUOP	4	75	20	32	0	
25	LME 25UU	6	215	LME 25UUAJ	6	215	LME 25UUOP	5	170	25	40	-11	
30	LME 30UU	6	325	LME 30UUAJ	6	325	LME 30UUOP	5	270	30	47	0	
40	LME 40UU	6	705	LME 40UUAJ	6	705	LME 40UUOP	5	585	40	62	0	
50	LME 50UU	6	1130	LME 50UUAJ	6	1130	LME 50UUOP	5	870	50	75	-13	
60	LME 60UU	6	2200	LME 60UUAJ	6	2200	LME 60UUOP	5	1620	60	90	0	
80	LME 80UU	6	4295	LME 80UUAJ	6	4295	LME 80UUOP	5	3675	80	120	-15	

Ø Eixo (mm)	Dimensões (mm)								Folga Radial Máx.(µm)	Capacidade Carga		Excentricidade Máx.(µm)	
	L	Tolerância	B	Tolerância	h	h1	θ	W		D1	Dinâmica C (N)		Estática Co (N)
5	22	0	14.5	0	1	-	-	1.1	11.5	-5	206	265	12
8	25	-0.2	16.5	-0.2	1	-	-	1.1	15.2	-5	265	402	
12	32	0	22.9	0	1.5	7.5	78°	1.3	21	-7	510	775	12
16	36	-0.2	24.9	-0.2	1.5	10	78°	1.3	24.9	-7	578	892	
20	45	0	31.5	0	2.0	10	60°	1.6	30.3	-9	863	1370	15
25	58	0	44.1	0	2.0	12.5	60°	1.85	37.5	-9	980	1570	
30	68	-0.3	52.1	-0.3	2.0	12.5	50°	1.85	44.5	-9	1570	2750	
40	80	0	60.6	0	3	16.8	50°	2.15	59	-13	2160	4020	17
50	100	-0.3	77.6	-0.3	3	21	50°	2.65	72	-13	3820	7940	
60	125	0	101.7	0	3	27.2	54°	3.15	86.5	-16	4710	10000	20
80	165	0	133.7	0	3	36.3	50°	4.15	116	-16	10400	18000	20

## ANEXO B – CATÁLOGO – MOTOR DE PASSO



**P/N: AK23/15F6FN1.8**

P/N Antigo: AK57H/3-1.8

**neoyama**

**MOTOR DE PASSO**

### 1. Marca do Produto

**AKIYAMA MOTORS**

### 2. Especificações Técnicas

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

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 <sup>2</sup>
Quantidade de fios	6
Peso	0.98 Kg
Sugestão de driver compatível	AKDMP16-4.2A

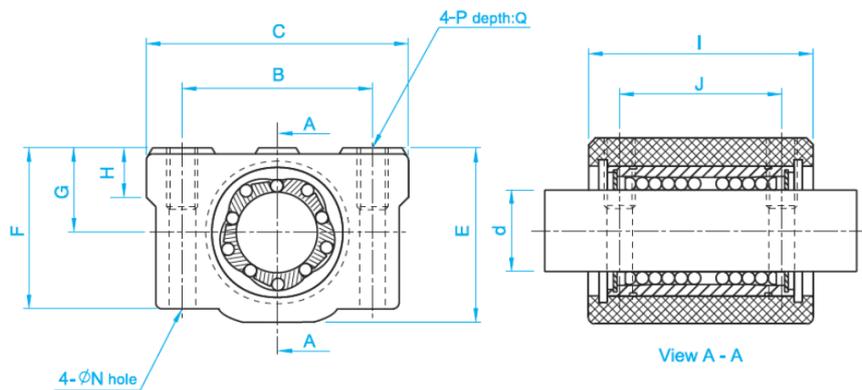


## ANEXO C – CATÁLOGO – PILLOW BLOCK SMA20UU



Matriz: Atendimento Brasil: 19-3045-4900  
 Filial 1: Grande São Paulo: 11-5514-7680  
 Filial 2: Joinville: 47-3425-0042  
 Home Office Porto Alegre: 51-4063-8118

### ROLAMENTO LINEAR PILLOW BLOCK FECHADO – SMAxx-UU



Material: Aluminum Alloy

Unit : mm

Model No.	Basic Dimension												Weight (g)
	d	B	C	E	F	G±0.02	H	I	J	N	P	Q	
SMA08UU	8	24	34	22	18	11	6	30	18	3	M4	8	56
SMA10UU	10	28	40	26	21	13	8	35	21	4	M5	12	90
SMA12UU	12	30,5	42	29	25	15	8	36	26	4	M5	12	112
SMA16UU	16	36	50	38,5	35	19	9	44	34	4	M5	12	189
SMA20UU	20	40	54	42	36	21	11	50	40	5	M6	12	237
SMA25UU	25	54	76	51,5	41	26	12	67	50	6	M8	18	555
SMA30UU	30	58	78	59,5	49	30	15	72	58	6	M8	18	685
SMA40UU	40	80	102	78	62	40	20	90	60	8	M10	25	1600
SMA50UU	50	100	122	102	80	52	25	110	80	8	M10	25	3350

## ANEXO D – CATÁLOGO – ACOPLAMENTOS ADS-K

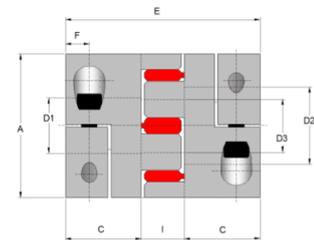
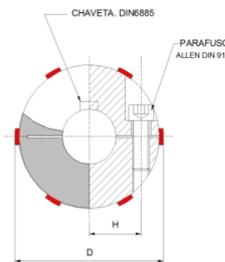


Matriz: Atendimento Brasil: 19-3045-4900  
 Filial 1: Grande São Paulo: 11-5514-7680  
 Filial 2: Joinville: 47-3425-0042  
 Filial 3: Porto Alegre: 51-3365-0200  
 Atendimento Rio de Janeiro: 19-9108-2105

### ACOPLAMENTO SÉRIE ADS-K



CÓDIGO: ADS-XX-K  
 Tipo \_\_\_\_\_  
 Tamanho \_\_\_\_\_



#### DIMENSÕES: (mm)

Tipo ADS-K	A	C	D	D1 - D2		D3	E	F	G	H	I
				Min H7	Max H7						
ADS-10-K	30	11	34	6	16	-	35	5	M 4	10.5	13
ADS-18-K	40	25	45	6	19	12	66	6	M 5	15	16
ADS-60-K	55	30	57	6	32	20	78	10	M 6	20	18
ADS-150-K	65	35	70	16	38	24	90	11	M 8	24	20

#### ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS:

Tipo ADS-K	Torque Nominal (M)	Rigidez à Torção	Rigidez Lateral do Elastômero	Desalinhamento (mm)		Desalinhamento Angular (graus°)	Momento de Inércia	Peso
	(Nm)	(Nm/rad)	(N/mm)	Lateral	Axial			
ADS-10-K	16	702	856	0.06	1.0	0.9	0.1	40
ADS-18-K	21	3720	2930	0.06	1.2	0.9	0.4	140
ADS-60-K	75	8934	3696	0.10	1.4	0.9	1.1	300
ADS-150-K	200	13050	4348	0.11	1.5	0.9	4.2	550

# ANEXO E – CATÁLOGO – CHAVE MICRO-SWITCH

## MICRO SWITCH™ Premium Miniature Basic Switches

### PRODUCT SPECIFICATIONS AND LISTINGS

Contact your Honeywell rep or distributor for additional listings

O.F. • Operating force  
R.F. • Release force  
P.T. • Pretravel  
O.T. • Overtravel  
D.T. • Differential travel  
O.P. • Operating position

	Catalog Listing	Elect. Rating UL/CSA (CE)	Elect. Rating Spec. (page 4)	Contacts	O.F. max. newtons [grams]	O.P. nominal mm [inches]	P.T. max. mm [inches]	O.T. min. mm [inches]	D.T. mm [inches]
<b>Lever</b> <b>35,6 mm</b> <b>[1.40 in]</b> 	V7-1S17D8-022	0.1 A (---)	S	SPDT	0,83 [85]	15,2 [0.60]	3,04 [0.120]	2,16 [0.085]	0,76 [0.030] max.
	V7-3S17D8-022	0.1 A (---)	S	SPDT	0,29 [30]	15,2 [0.60]	3,04 [0.120]	2,16 [0.085]	0,76 [0.030] max.
	V7-3S17E9-022	0.1 A (---)	S	SPDT	0,29 [30]	15,2 [0.60]	3,04 [0.120]	2,16 [0.085]	0,76 [0.030] max.
	V7-1B17D8-022	11 A (---)	B	SPDT	0,80 [82]	15,3 [0.603]	3,04 [0.120]	1,70 [0.067]	0,69 [0.027] max.
	V7-1B19D8-022	11 A (10 A)	B	SPDT	0,80 [82]	15,3 [0.603]	3,25 [0.128]	1,78 [0.070]	0,71 [0.028] max.
	V7-2B17D8-022	11 A (---)	B	SPDT	0,40 [41]	15,3 [0.603]	3,04 [0.120]	1,70 [0.067]	0,71 [0.027] max.
	V7-6B19E9-022	11 A (10 A)	B	SPDT	2,11 [215]	15,2 [0.60]	3,25 [0.128]	1,35 [0.053]	0,76 [0.030] max.
<b>Lever</b> <b>59,4 mm</b> <b>[2.34 in]</b> 	V7-3S17D8-048	0.1 A (---)	S	SPDT	0,16 [16]	15,3 [0.603]	5,97 [0.235]	3,00 [0.118]	1,27 [0.050] max.
	V7-2B17D8-048	11 A (---)	B	SPDT	0,20 [20]	15,3 [0.603]	5,97 [0.235]	2,92 [0.115]	1,27 [0.050] max.
	V7-1C17D8-048	15 A (---)	C	SPDT	0,44 [45]	15,2 [0.603]	5,94 [0.234]	4,19 [0.165]	1,52 [0.060] max.
	V7-1V19E9-048	21 A (16 A)	V	SPDT	0,54 [55]	15,4 [0.605]	6,35 [0.250]	3,05 [0.120]	1,40 [0.055] max.
	V7-9W1AE9-048**	15 A (---)	W	SPDT	0,88 [90]	15,2 [0.603]	6,35 [0.250]	3,15 [0.124]	1,37 [0.054] max.
<b>Lever Sim. Roll</b> <b>32,8 mm</b> <b>[1.29 in]</b> 	V7-1S17D8-263	0.1 A (---)	S	SPDT	0,88 [90]	18,54 [0.730]	2,79 [0.110]	1,90 [0.075]	0,76 [0.030] max.
	V7-3E19E9-263	10 A (5 A)	E	SPDT	0,32 [33]	18,54 [0.730]	2,54 [0.100]	1,90 [0.075]	0,76 [0.030] max.
	V7-1B17D8-263	11 A (---)	B	SPDT	0,88 [90]	18,54 [0.730]	2,79 [0.110]	1,52 [0.060]	0,76 [0.030] max.
	V7-1C17D8-263	15 A (---)	C	SPDT	0,89 [91]	18,54 [0.730]	2,79 [0.110]	1,55 [0.061]	0,61 [0.024] max.
	V7-1V29E9-263	21 A (16 A)	V	SPNO	1,08 [110]	18,49 [0.728]	2,90 [0.114]	1,62 [0.064]	0,64 [0.025] max.
	V7-1Z10E9-263*	25 A (20 A)	Z	SPDT	1,33 [136]	18,49 [0.728]	2,90 [0.114]	1,62 [0.064]	0,64 [0.025] max.
<b>Lever, Roller</b> <b>20,57 mm</b> <b>[0.81 in]</b> 	V7-2S17D8-201	0.1 A (---)	S	SPDT	0,88 [90]	20,57 [0.810]	1,19 [0.047]	1,02 [0.040]	0,38 [0.015] max.
	V7-6B19E9-201	11 A (10 A)	B	SPDT	4,50 [459]	20,52 [0.808]	1,42 [0.056]	0,86 [0.034]	0,33 [0.013] max.
	V7-7B17D8-201	11 A (---)	B	SPDT	2,78 [283]	20,52 [0.808]	1,42 [0.056]	0,86 [0.034]	0,33 [0.013] max.
	V7-1C17D8-201	15 A (---)	C	SPDT	1,72 [175]	20,57 [0.810]	1,19 [0.047]	0,81 [0.032]	0,30 [0.012] max.
<b>Lever, Roller</b> <b>34,04 mm</b> <b>[1.34 in]</b> 	V7-1S17D8-207	0.1 A (---)	S	SPDT	0,83 [85]	20,57 [0.810]	2,84 [0.112]	2,03 [0.080]	0,76 [0.030] max.
	V7-2A17D8-207	5 A (---)	A	SPDT	0,42 [43]	20,57 [0.810]	2,92 [0.115]	1,52 [0.060]	0,64 [0.025] max.
	V7-1B17D8-207	11 A (---)	B	SPDT	0,83 [85]	20,57 [0.810]	2,92 [0.115]	1,52 [0.060]	0,76 [0.030] max.
	V7-1C17D8-207	15 A (---)	C	SPDT	0,88 [90]	20,57 [0.810]	2,92 [0.115]	1,52 [0.060]	0,64 [0.025] max.
	V7-1V19E9-207	21 A (16 A)	V	SPDT	0,98 [100]	20,52 [0.808]	3,07 [0.121]	1,65 [0.065]	0,76 [0.030] max.

\*3,1 mm mtg holes

\*\* 177 °C [350 °F]

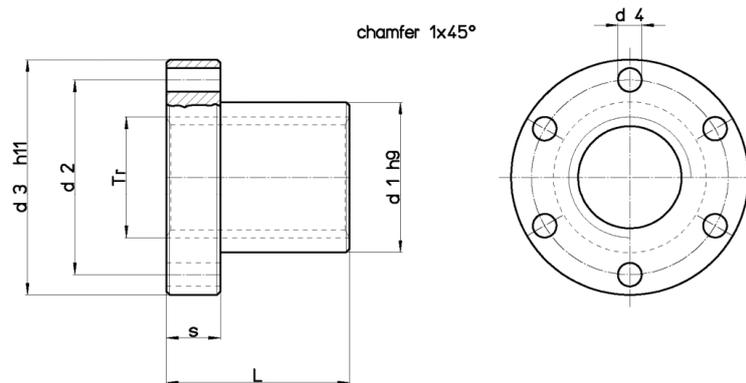
## ANEXO F – CATÁLOGO – PORCA CILÍNDRICA FLANGEADA



### Trapezoidal nut type FFR - Flanged bronze

**Material: EN 1982 Cu Sn5 Zn5 Pb5-C – CC491K**

Flanged bronze nut for movement for continuous movement with good wear resistance. Good lubrication is recommended.



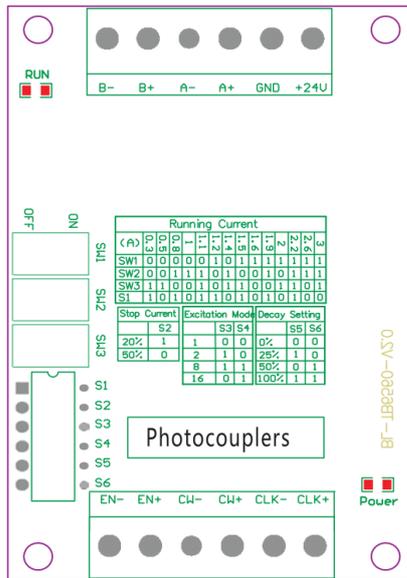
Nut Stock no. RIGHT	Nut Stock no. LEFT	Diameter x lead	Thread starts	d1 mm	d2 mm	d3 mm	d4 mm	L mm	S mm	no. screw holes	Viti di fissaggio (classe 8.8)	Wt. kg/each	At mm <sup>2</sup> (1)
FFR 10 T R	FFR 10 T L	Tr 10x2	1	25	34	42	5	25	10	6	M6	0,164	250
FFR 10 J R	--	Tr 10x4 (P2)	2	25	34	42	5	25	10	6	M6	0,164	250
FFR 12 A R	FFR 12 A L	Tr 12x3	1	28	38	48	6	35	12	6	M6	0,276	400
FFR 12 B R	--	Tr 12x6 (P3)	2	28	38	48	6	35	12	6	M6	0,276	400
FFR 14 R R	FFR 14 R L	Tr 14x3	1	28	38	48	6	35	12	6	M6	0,272	460
FFR 14 B R	--	Tr 14x6 (P3)	2	28	38	48	6	35	12	6	M6	0,272	460
FFR 16 A R	FFR 16 A L	Tr 16x4	1	28	38	48	6	35	12	6	M6	0,260	530
FFR 16 B R	--	Tr 16x8 (P4)	2	28	38	48	6	35	12	6	M6	0,260	530
FFR 18 A R	FFR 18 A L	Tr 18x4	1	28	38	48	6	35	12	6	M6	0,247	610
FFR 18 B R	--	Tr 18x8 (P4)	2	28	38	48	6	35	12	6	M6	0,247	610
FFR 20 A R	FFR 20 A L	Tr 20x4	1	32	45	55	6,5	44	12	6	M6	0,370	870
FFR 20 B R	--	Tr 20x8 (P4)	2	32	45	55	6,5	44	12	6	M6	0,370	870
FFR 22 A R	FFR 22 A L	Tr 22x5	1	32	45	55	6,5	44	12	6	M6	0,360	1030
FFR 22 B R	--	Tr 22x10 (P5)	2	32	45	55	6,5	44	12	6	M6	0,360	1030
FFR 24 A R	FFR 24 A L	Tr 24x5	1	32	45	55	6,5	44	12	6	M6	0,337	1040
FFR 24 B R	--	Tr 24x10 (P5)	2	32	45	55	6,5	44	12	6	M6	0,337	1040
FFR 26 A R	FFR 26 A L	Tr 26x5	1	38	50	62	6,5	46	14	6	M6	0,516	1280
FFR 28 A R	FFR 28 A L	Tr 28x5	1	38	50	62	6,5	46	14	6	M6	0,472	1200
FFR 28 B R	--	Tr 28x10 (P5)	2	38	50	62	6,5	46	14	6	M6	0,472	1200
FFR 30 A R	FFR 30 A L	Tr 30x6	1	38	50	62	6,5	46	14	6	M6	0,421	1370
FFR 30 B R	--	Tr 30x12 (P6)	2	38	50	62	6,5	46	14	6	M6	0,421	1370
FFR 32 A R	FFR 32 A L	Tr 32x6	1	45	58	70	6,5	54	16	6	M6	0,779	1710
FFR 32 B R	--	Tr 32x12 (P6)	2	45	58	70	6,5	54	16	6	M6	0,779	1710
FFR 36 A R	FFR 36 A L	Tr 36x6	1	45	58	70	6,5	54	16	6	M6	0,694	1950
FFR 36 B R	--	Tr 36x12 (P6)	2	45	58	70	6,5	54	16	6	M6	0,694	1950
FFR 40 A R	FFR 40 A L	Tr 40x7	1	63	78	95	8,5	66	16	6	M6	1,788	2650
FFR 40 B R	--	Tr 40x14 (P7)	2	63	78	95	8,5	66	16	6	M6	1,788	2650
FFR 44 A R	FFR 44 A L	Tr 44x7	1	63	78	95	8,5	66	16	6	M6	1,657	2940
FFR 50 A R	FFR 50 A L	Tr 50x8	1	72	90	110	10,5	75	18	6	M6	2,500	4540
FFR 60 A R	FFR 60 A L	Tr 60x9	1	88	110	130	12,5	90	20	6	M6	4,260	5490
FFR 70 A R	FFR 70 A L	Tr 70x10	1	95	120	140	12,5	105	22	6	M6	5,303	7500

(1) Total bearing surface between screw and nut teeth on plane perpendicular to axis.

We reserve the right to change sizes and features without notice.

## ANEXO G – DRIVER TB6560

# Tb6560 stepping motor driver V20



**Warning:**

- 1, Check the connection twice! The Tb6560 chipset can be damaged if the motor or the power supply are not connected properly.
- 2, Dont apply a motor that its rated current is more than 3A to this driver.
- 3, Do not set the current more than the motor rated current!

Wiring Terminal symbol	Description
+24V, GND	Power positive and negative
A+, A-	Motor phase A
B+, B-	Motor phase B
CLK+, CLK-	Pulse positive and negative
CW+, CW-	Direction positive and negative
EN+, EN-	Enable positive and negative

**Note:**

- 1, 6 input terminals, can be connected as common anode or cathode.
- 2, The normal input voltage is 5V, if it is more than 5V, than a series resistor is needed. this resistance is 1K case 12V and 2.4K case 24V.
- 3, when pulse is applied to **CLK**, the stepping motor will rotate, and stop when there is none, and the motor driver will change its current to the half current mode as setting to hold the motor still.
- 4, Motor rotate clockwise when **CW** is low level and counterclockwise when **CW** is high level.
- 5, Motor is enable when **EN** is low level and disable when EN is high leve.

Running Current														
(A)	0.3	0.5	0.8	1	1.1	1.2	1.4	1.5	1.6	1.9	2	2.2	2.6	3
SW1	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	ON						
SW2	OFF	OFF	ON	ON	ON	OFF	ON	OFF	OFF	ON	OFF	ON	ON	ON
SW3	ON	ON	OFF	OFF	ON	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON	OFF	ON
S1	ON	OFF	ON	OFF	ON	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	OFF

Stop Current	
	S2
20%	ON
50%	OFF

Excitation Mode		
Step	S3	S4
whole	OFF	OFF
half	ON	OFF
1/8	ON	ON
1/16	OFF	ON

Decay Setting		
	S5	S6
0%	OFF	OFF
25%	ON	OFF
50%	OFF	ON
100%	ON	ON

## ANEXO H – PRODUÇÃO E CONSUMO DE MÁQUINAS CNC NO MUNDO



GARDNER  
RESEARCH

World Machine-Tool Output & Consumption Survey

2015

### CONSUMERS OF MACHINE TOOLS

MILLIONS OF U.S. DOLLARS

	COUNTRY	2013	2014	2015*
1.	China, P. Rep.	\$31,900.0	\$31,700.0	\$28,600.2
2.	United States	8,048.5	8,056.3	10,412.4
3.	Germany	7,573.4	6,758.2	6,232.8
4.	Japan	3,695.8	5,150.2	5,427.5
5.	South Korea	4,320.0	4,891.0	4,959.9
6.	Italy	2,098.4	2,266.9	2,340.6
7.	Russia	2,054.5	2,030.2	1,729.9
8.	Mexico	1,924.2	1,708.9	1,884.4
9.	Taiwan	1,629.0	1,687.0	1,877.2
10.	India	1,337.7	1,416.5	1,506.9
11.	Canada	1,342.0	1,235.0	1,361.8
12.	Turkey	1,261.0	1,227.0	1,266.9
13.	United Kingdom	1,077.5	1,087.2	1,362.1
14.	Switzerland	1,126.1	1,081.8	1,030.4
15.	Brazil	1,464.9	1,014.6	661.1
16.	France	1,113.8	977.3	1,018.6
17.	Austria	734.0	663.7	665.3
18.	Spain	426.1	534.8	605.8
19.	Czech Republic	435.5	464.3	567.8
20.	Australia	374.7	333.0	357.2
21.	Netherlands	342.5	303.9	310.8
22.	Belgium	190.4	221.2	230.4
23.	Argentina	210.0	195.7	137.3
24.	Portugal	209.6	166.5	209.3
25.	Sweden	194.2	161.3	242.1
26.	Finland	121.9	115.5	132.6
27.	Denmark	63.0	59.6	66.2
	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 75,268.7</b>	<b>\$ 75,507.6</b>	<b>\$ 75,197.5</b>

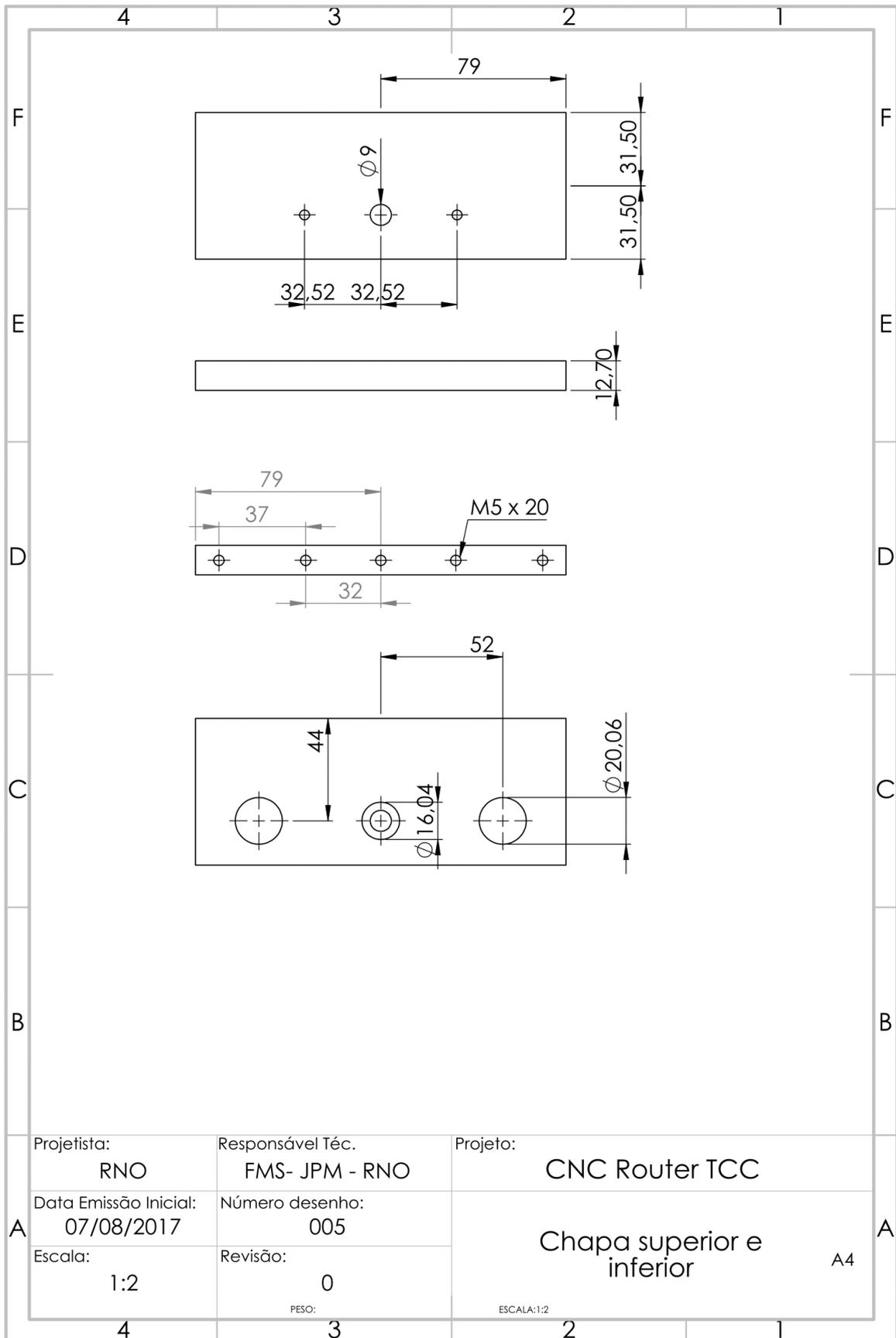
— \* 2015 VALUES ARE FORECASTED —

### PRODUCERS OF MACHINE TOOLS

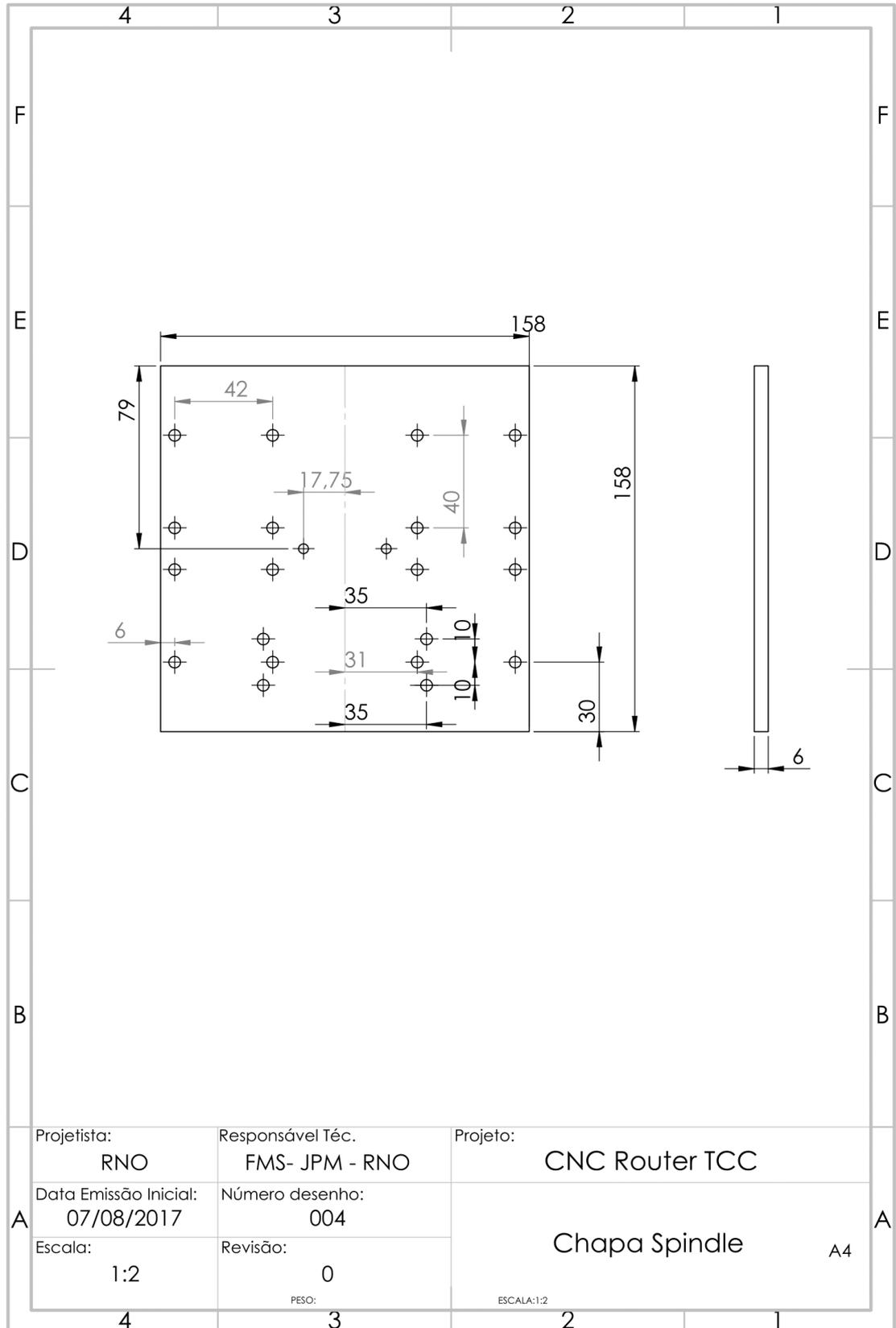
MILLIONS OF U.S. DOLLARS

	COUNTRY	% CUTTING MACHINES	2013	2014
1.	China, P. Rep.	59%	\$24,700.0	\$23,800.0
2.	Germany	71%	15,268.7	12,957.2
3.	Japan	83%	11,333.6	12,831.6
4.	South Korea	74%	5,150.0	5,631.0
5.	Italy	51%	5,475.9	5,074.7
6.	United States	75%	4,956.1	4,900.4
7.	Taiwan	82%	4,537.0	4,700.0
8.	Switzerland	84%	3,242.8	3,111.7
9.	Austria	51%	1,217.0	1,101.2
10.	Spain	60%	1,285.1	1,083.0
11.	United Kingdom	77%	1,007.1	931.9
12.	Turkey	27%	719.0	722.0
13.	France	61%	797.3	698.9
14.	India	83%	576.0	645.3
15.	Czech Republic	82%	697.2	625.9
16.	Canada	-	685.0	571.0
17.	Netherlands	-	428.8	380.5
18.	Brazil	81%	417.5	280.0
19.	Belgium	-	317.8	254.0
20.	Russia	-	210.9	234.4
21.	Finland	-	191.8	170.2
22.	Mexico	-	140.6	144.0
23.	Australia	-	160.0	143.4
24.	Sweden	9%	163.4	135.7
25.	Portugal	75%	119.2	102.1
26.	Denmark	-	49.3	45.0
27.	Argentina	59%	36.2	37.5
	<b>TOTAL</b>	<b>-</b>	<b>\$83,883.3</b>	<b>\$ 81,312.6</b>

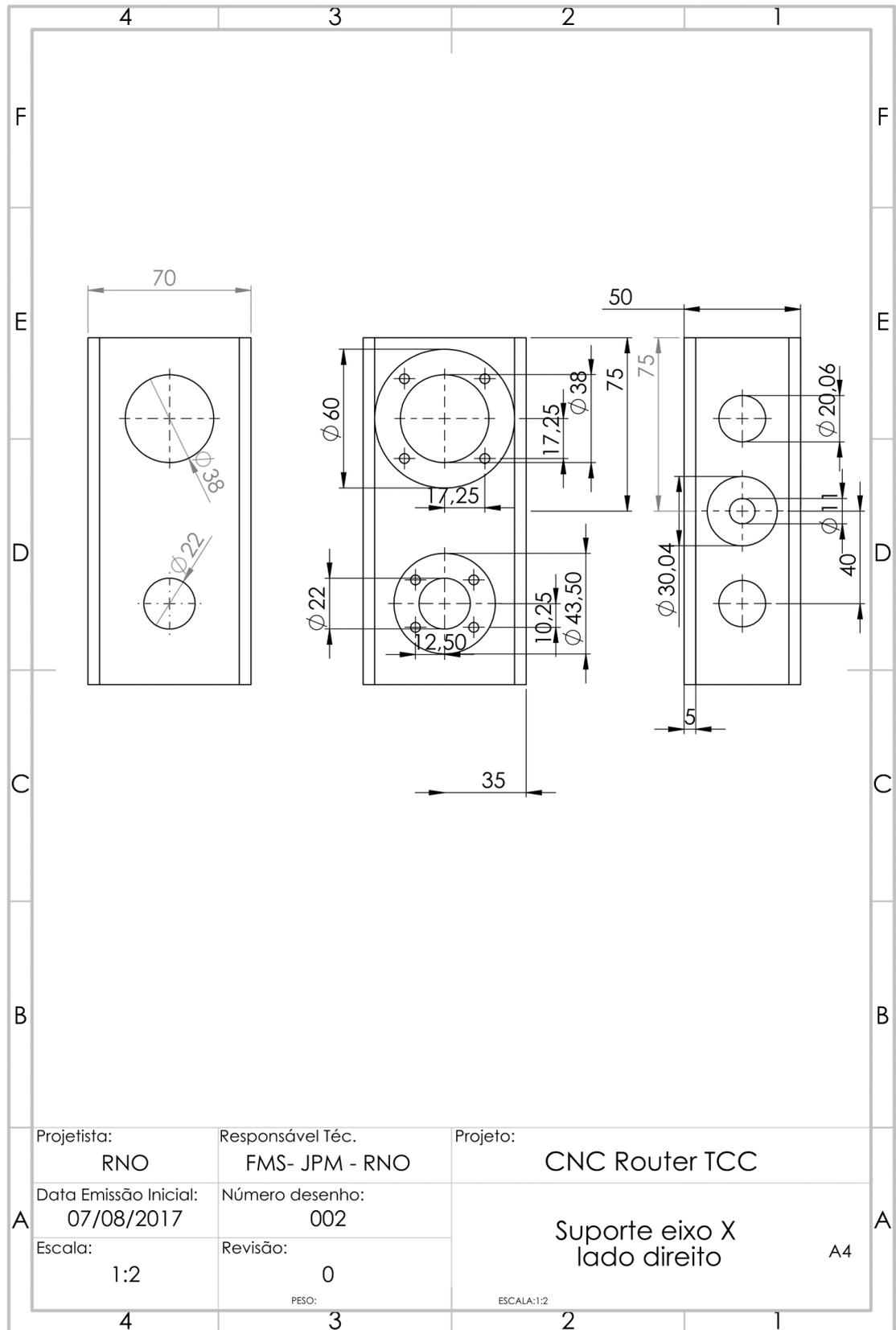
## APÊNDICE I – DESENHOS – PROJETO ESTRUTURAL



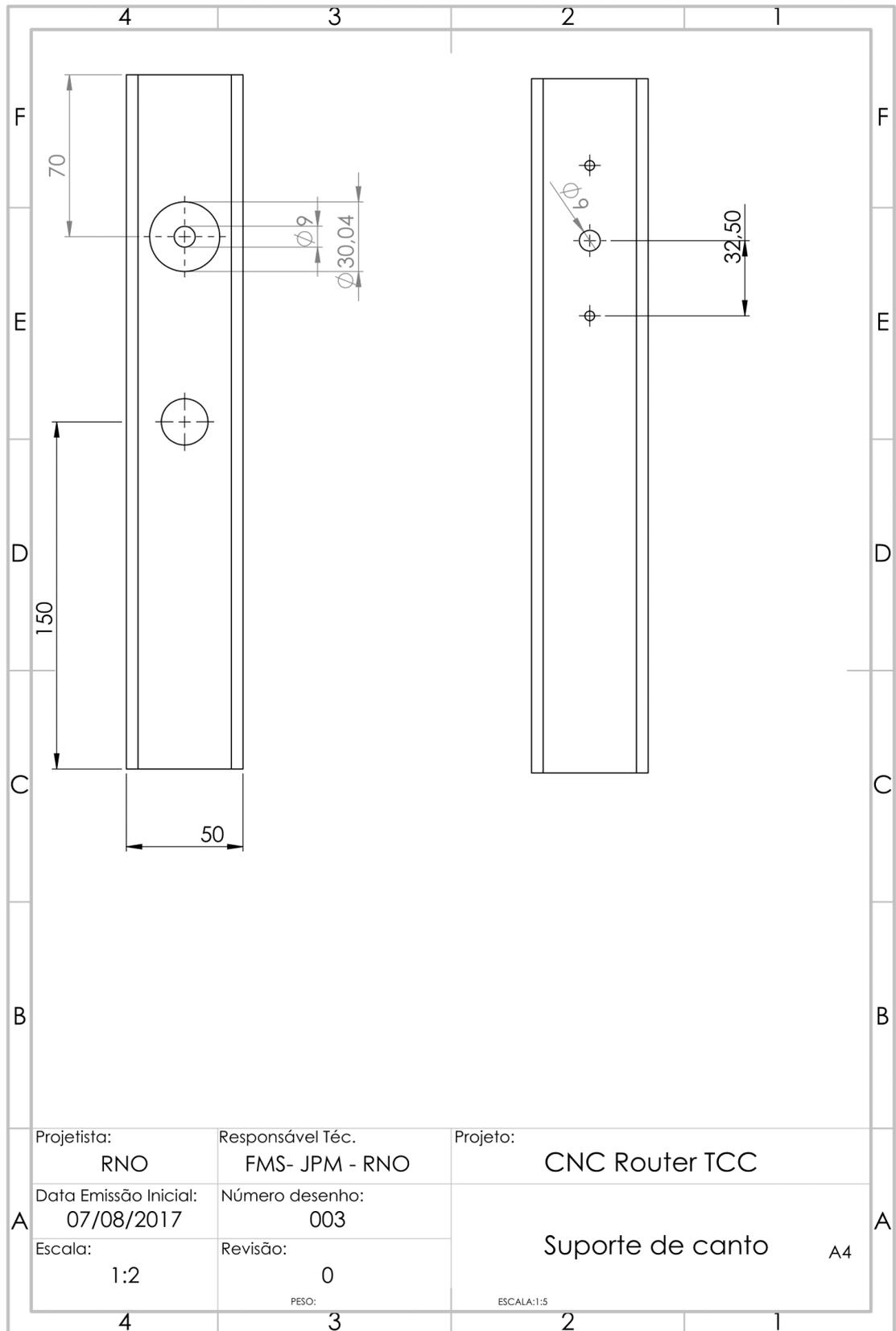
## APÊNDICE J – DESENHOS – PROJETO ESTRUTURAL



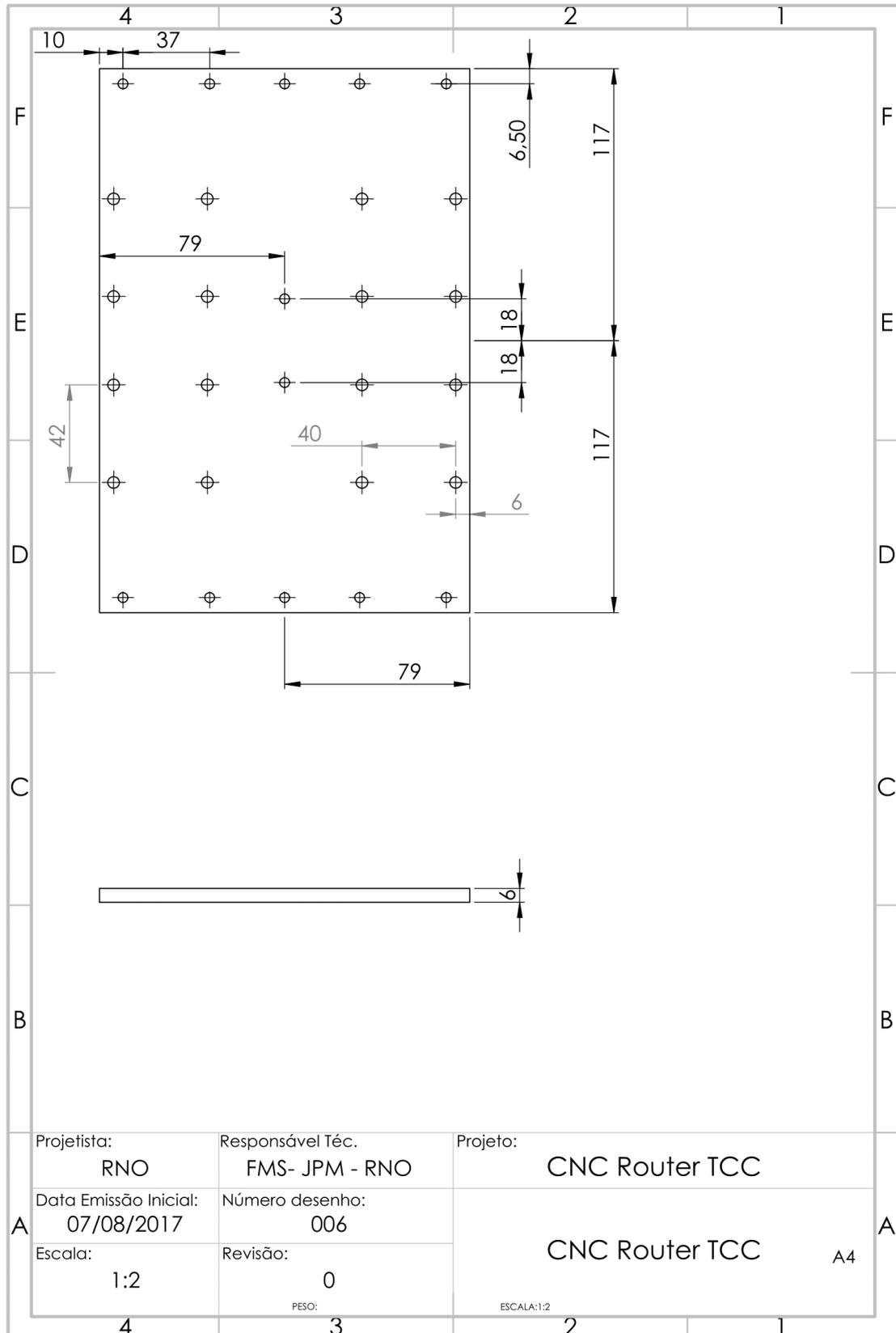
## APÊNDICE K – DESENHOS – PROJETO ESTRUTURAL



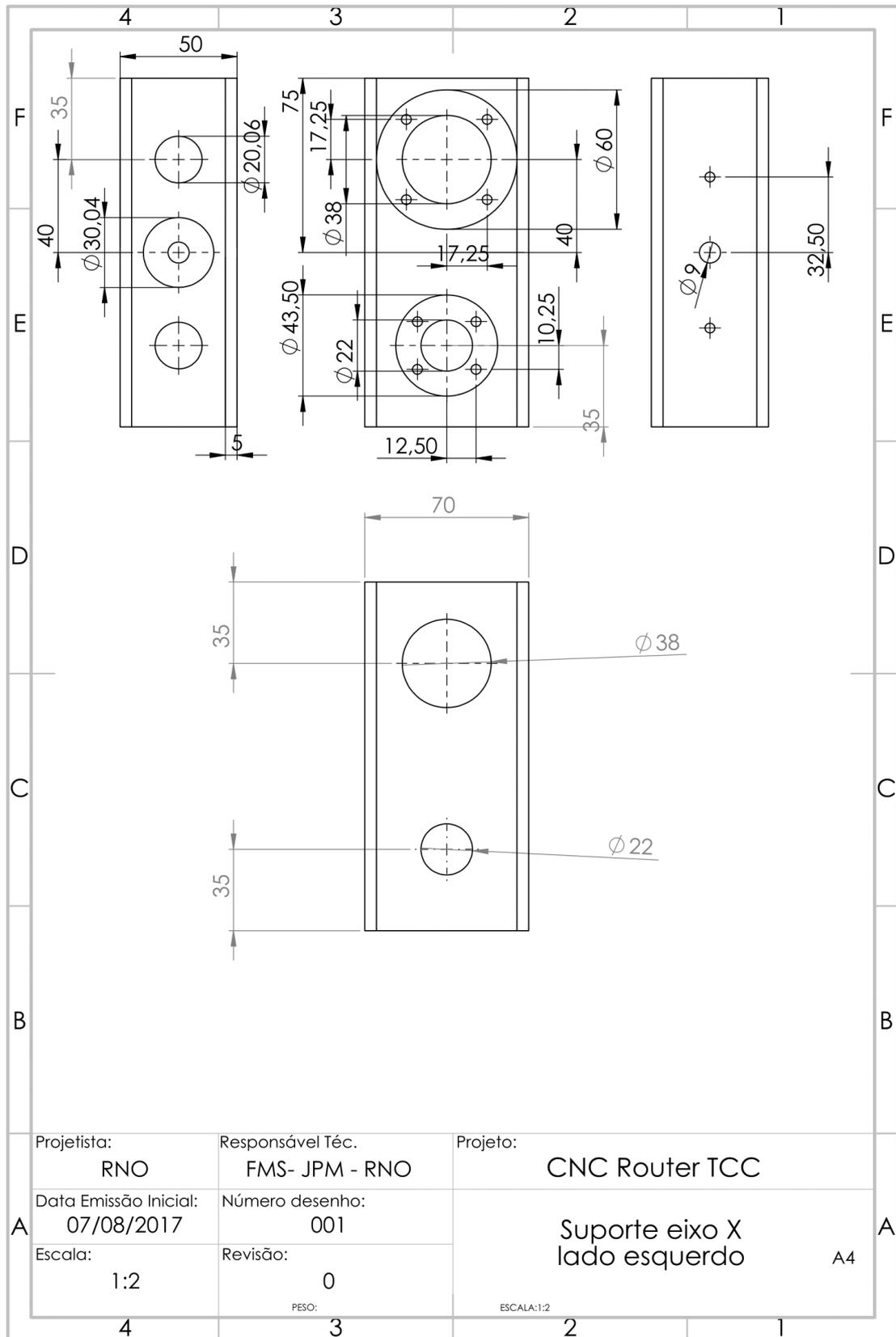
## APÊNDICE L – DESENHOS – PROJETO ESTRUTURAL



## APÊNDICE M – DESENHOS – PROJETO ESTRUTURAL



## APÊNDICE N – DESENHOS – PROJETO ESTRUTURAL



## APÊNDICE O – PROTÓTIPO DESENVOLVIDO



## APÊNDICE P – PROTÓTIPO DESENVOLVIDO

