

PROJETO DE GRADUAÇÃO

**TRANSFORMAÇÃO DE UMA MÁQUINA SMT
EM UMA FRESADORA CNC DE PEQUENO PORTE**

Felipe Antônio de Lima Carrijo

Rafael Barbosa de Moura

Brasília, Dezembro de 2015

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia

PROJETO DE GRADUAÇÃO

**TRANSFORMAÇÃO DE UMA MÁQUINA SMT
EM UMA FRESADORA CNC DE PEQUENO PORTE**

Felipe Antônio de Lima Carrijo
Rafael Barbosa de Moura

*Relatório submetido ao Departamento de Engenharia
Mecânica como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro Mecânico*

Banca Examinadora

Prof. Antônio Manoel Dias Henriques, ENM/UnB
Orientador

Eng. Felipe Borges Feliciano de Lima
Co-orientador

Prof. Milton Luiz Siqueira
Examinador interno

Agradecimentos

Acima de tudo, agradeço a Deus que sempre esteve presente em minhas conquistas e dificuldades. À minha família que sempre serviu de pilar para me tornar quem sou hoje, dando todo apoio necessário. À minha namorada, Luiza Miranda, que fez parte antes e durante toda a graduação, sendo muito paciente nos momentos em que não pude estar presente e atencioso, pelo apoio nos momentos difíceis, por acreditar em meu potencial e pelos bons momentos vividos. Aos grandes amigos antigos, que sempre foram pacientes com as faltas e companheiros nos momentos de descontração. E aos novos grandes amigos, que foram companheiros nas horas mais difíceis (estudos e projetos) e nos mais fáceis (confraternizações ou simples reuniões). À equipe Piratas do Cerrado, que tem grande peso na minha formação profissional como engenheiro, em vários aspectos da engenharia e outros demais. Ao professor desta universidade e orientador deste trabalho Antônio Manoel Dias Henriques, ao meu chefe e coorientador deste trabalho Felipe Borges Feliciano de Lima e ao amigo e colega de trabalho Rafael Barbosa de Moura.

Felipe Antônio de Lima Carrijo

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, por ter me concedido força e saúde emocional e física para superar todas as barreiras. Aos meus pais, irmão e avós, que mesmo a distância sempre me deram todo o apoio necessário. À empresa em que estagio, Avixy Tecnologia LTDA e todo seu corpo de funcionários, por ter viabilizado este trabalho e ter me dado a oportunidade de praticar engenharia de alto nível em seus trabalhos internos. À equipe de mini baja Piratas do Cerrado, que além de me dar a oportunidade de por em prática os conhecimentos teóricos adquiridos em sala, me permitiu obter noção de gestão de projeto, organização, administração, marketing, etc, assim como momentos de descontração e amizades marcantes. Ao professor desta universidade e orientador deste trabalho Antônio Manoel Dias Henriques, ao meu chefe e coorientador deste trabalho Felipe Borges Feliciano de Lima e ao amigo e colega de trabalho Felipe Antônio de Lima Carrijo.

Rafael Barbosa de Moura

RESUMO

No projeto em questão foi feita uma análise da estrutura de uma SMT (*Surface Mount Technology*), máquina de precisão utilizada para montagem de componentes eletrônicos em placas de circuito impresso, com a finalidade de avaliar a viabilidade de convertê-la em uma fresadora CNC. Para isso foi necessário fazer um estudo de rigidez da SMT, garantindo que os esforços provenientes da usinagem não excedessem os permitidos para garantir a precisão das peças fabricadas nessa máquina, além de estimar o custo de adicionar um eixo Z em sua estrutura e fazer todas as alterações necessárias para a implementação desse eixo. Com o resultado que atesta a viabilidade dessa conversão, foi feito o projeto do eixo adicional para que a SMT fosse transformada em fresadora CNC aproveitando o máximo de componentes possíveis, como: castanha, flange, guias lineares e fusos e selecionando os demais necessários.

ABSTRACT

This work aims to analyze a SMTs structure (Surface Mount Technology), a precision machine used to assemble electronic components on printed circuit boards, in order to evaluate the feasibility of converting it in to a CNC milling machine. This required a SMT rigidity study, ensuring that the efforts from the machining did not exceed the allowable efforts to ensure the precision of parts made by this machine, and estimate the cost of adding a Z axis in its structure, as well as making all necessary changes to implement this axis. With the results attesting the viability of this conversion, the new axis was designed in order to convert the SMT into a CNC machine, making use of the greater number of already existing components in order to reduce the costs, such as spindle nuts, spindle and linear guides. The other necessary components were selected from catalogs.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVO	1
1.2	MOTIVAÇÃO	1
1.3	DIVISÃO DO RELATÓRIO	1
2	REVISÃO DA LITERATURA	3
2.1	SMT - ASPECTOS GERAIS	3
2.1.1	FUNCIONAMENTO	3
2.1.2	FEEDERS E CORREIAS TRANSPORTADORAS	3
2.1.3	POSICIONAMENTO	4
2.2	TIPOS DE MÁQUINAS SMT	4
2.2.1	MÁQUINA DE DUPLA ENTREGA	4
2.2.2	MÁQUINA MULTI-ESTAÇÕES	4
2.2.3	MÁQUINA DE TORRE ROTATIVA	5
2.2.4	MÁQUINA MULTI-CABEÇAS	5
2.2.5	MÁQUINA TIPO SEQUENCIAL	5
2.3	FRESADORA CNC	6
2.3.1	FRESADORA DE COMANDO NUMÉRICO POR COMPUTADOR (CNC)	6
2.3.2	TIPOS DE FRESADORAS CNC	6
2.3.3	MOTORIZAÇÃO	9
2.3.4	FUSO DE ESFERAS RECIRCULANTES	9
2.3.5	ACOPLAMENTO FLEXÍVEL	10
2.3.6	SENSORES DE FIM DE CURSO	10
3	PROJETO PRELIMINAR	11
3.1	ESTADO ATUAL DA MÁQUINA	11
3.2	CARACTERÍSTICAS E REQUISITOS	13
3.2.1	FRESADORA ATUAL - PROBLEMAS E SOLUÇÕES	13
3.2.2	REQUISITOS E LIMITAÇÕES PARA NOVA FRESADORA	15
3.3	ANÁLISE TEÓRICA	16
3.3.1	ESFORÇOS DE CORTE	16
3.3.2	RIGIDEZ ESTRUTURAL DA MÁQUINA	19
3.3.3	AVALIAÇÃO DAS GUIAS LINEARES	26
3.4	VALIDAÇÃO DA SIMULAÇÃO PELO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS	33
4	PROJETO DE DESENVOLVIMENTO	37
4.1	CARRO DE USINAGEM	37
4.1.1	PEÇAS E FUNCIONAMENTO	37

4.1.2	COMPONENTES MECÂNICOS E DIMENSIONAMENTO	42
4.1.3	FABRICAÇÃO	59
4.1.4	MONTAGEM.....	64
4.2	MESA DE TRABALHO	68
4.3	COMPONENTES ELÉTRICOS/ELETRÔNICOS	70
4.3.1	SPINDLE	71
4.3.2	INVERSOR DE FREQUÊNCIA	71
4.3.3	MOTOR, DRIVER E FONTE DE ALIMENTAÇÃO	72
4.3.4	PLACA CONTROLADORA	74
4.3.5	MPG E PLACA DE INTERFACE.....	75
4.3.6	PLACA ETHERNET SMOOTH STEPPER	75
4.3.7	SENSORES FIM DE CURSO	76
4.3.8	DIAGRAMA ELÉTRICO	77
5	ESPECIFICAÇÕES	79
5.1	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.....	79
5.2	CUSTOS	80
6	MANUTENÇÃO	83
7	CONCLUSÕES.....	84
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
8	APÊNDICE	96
8.1	DESENHOS TÉCNICOS	96

LISTA DE FIGURAS

2.1	Feeder utilizado em máquinas SMT [1]	3
2.2	SMT de dupla entrega [2]	4
2.3	Máquina Multi-cabeças [3]	5
2.4	SMT do tipo sequencial parcialmente desmontada	6
2.5	Representação de uma fresadora vertical [4]	7
2.6	Representação de uma fresadora horizontal [5]	8
2.7	Representação de uma fresadora router [6]	9
2.8	Fuso de esferas recirculantes e rolamento linear [7]	10
2.9	Acoplamento flexível de lâminas [8]	10
3.1	SMT em seu estado atual	11
3.2	Disposição dos eixos referenciados representados em uma máquina de mesmo aspecto construtivo [10]	12
3.3	Representação da montagem dos rolamentos angulares no fuso esférico.....	13
3.4	Coluna que sustenta a ponte do Eixo X	14
3.5	Transmissão por correia para o fuso	15
3.6	Variáveis em um fresamento frontal [11]	17
3.7	Ilustração do ângulo de ponta da ferramenta [14]	18
3.8	Modelagem da ponte da máquina utilizando o recurso imagem de esboço do SolidWorks	20
3.9	Montagem em 3D da ponte com guias lineares	20
3.10	Malha de elementos hexagonais de 20 nós, resultante da convergência de malha.	22
3.11	Conexões das guias lineares com a ponte.....	22
3.12	Condições de contorno onde (A) condição de apoio da viga e (B) aplicação da força de furação.	23
3.13	Campo de deslocamento do conjunto ponte e guia linear ao aplicar esforço de furação e condição de apoio.	23
3.14	Campo de tensões do conjunto ponte e guia linear ao aplicar esforço de furação e condição de apoio.	23
3.15	Representação esquemática do cenário crítico de operação avançando em x.....	24
3.16	Condição de contorno de aplicação de momento para usinagem avançando em X.....	25
3.17	Campo de deslocamento do conjunto ponte e guia linear ao aplicar momento gerado por operação avançando em X.....	25
3.18	Condição de contorno de aplicação de momento para usinagem avançando em y	26
3.19	Esquemático e formulas para cálculos de esforços para arranjo das guias lineares das colunas [15]	27
3.20	Esquemático e formulas para cálculos de esforços para arranjo das guias lineares da ponte [15].....	28
3.21	Diagrama em vista superior de arranjo das guias lineares das colunas em condição crítica ...	28
3.22	Informações para cálculo de carga dinâmica de guias lineares [15].....	30

3.23	Diagrama em vista frontal e lateral do arranjo das guias lineares da ponte em condição crítica.	31
3.24	Ensaio de carga aplicada com posicionamento do relógio comparador (A) e realização de uma medida (B).	34
3.25	Campo de deslocamento do conjunto ponte e guia linear ao aplicar força de 250 N para validação da simulação pelo método dos elementos finitos	35
3.26	Curvas de deflexão para casos real e numérico por carga aplicada	36
3.27	Erro percentual comparativo da simulação numérica em relação à real para carga aplicada	36
4.1	Panorama geral	37
4.2	Vista explodida do carro de usinagem com as peças projetadas indicadas por balões numerados	38
4.3	Peças projetadas do carro de usinagem isoladas	39
4.4	Carro de usinagem montado na ponte da máquina	40
4.5	Guia linear THR15VL da TBI Motion para movimento do carro de usinagem no eixo z	42
4.6	Especificações técnicas da guia linear THR15VL da TBI Motion [A5]	42
4.7	Diagrama representando cenários crítico de operação e momentos envolvidos gerados pelas forças atuantes	43
4.8	Esquemático e fórmulas para cálculos de forças atuantes para arranjo das guias lineares do carro de usinagem.	44
4.9	Fatores e formulas para cálculos de cargas de guias lineares	45
4.10	Fuso disponível pela empresa	46
4.11	4 tipos de falhas mais comuns em fusos [34]	47
4.12	Esforços nos parafusos da chapa do spindle	48
4.13	Esforços no parafuso mais solicitado da chapa do spindle	49
4.14	Esforços nos parafusos da base do spindle	50
4.15	Esforços no parafuso mais solicitado da base do spindle	51
4.16	Acoplamento Oldhan [35]	53
4.17	Medidas acoplamento Oldhan [35]	53
4.18	Carro de usinagem e identificação das partes analisadas	54
4.19	Malha da Placa do Spindle	55
4.20	Condições de contorno da placa do “spindle”	56
4.21	Resultados de deslocamento máximo (a), tensão equivalente de von-Mises (b) e fator de segurança à fadiga (c) da Simulação em Elementos Finitos da placa do spindle	57
4.22	Malha do conjunto base da estrutura, suporte dos trilhos e trilhos das guias lineares	57
4.23	Condições de Contorno do conjunto Placa Base, Suporte dos Trilhos e Trilhos das Guias Lineares	58
4.24	Resultados de deslocamento máximo (a), tensão equivalente de von-Mises (b) e fator de segurança à fadiga (c) da Simulação em Elementos Finitos do conjunto Placa Base, Suporte dos Trilhos e Trilhos das Guias Lineares	59
4.25	Suporte do spindle	60
4.26	Chapa do spindle	60
4.27	Chapa da flange	61

4.28	Chapa do switch	61
4.29	Suporte da castanha do fuso	62
4.30	Flange do motor do eixo Z	62
4.31	Apoio da guia linear do eixo Z	63
4.32	Base do spindle	63
4.33	Montagem da Base Estrutura e Apoios das Guias Lineares	64
4.34	Montagem das Guias Lineares, Mancais, Flange e Micro Switches	65
4.35	Montagem do Fuso e Servo motor	65
4.36	Montagem do Suporte e Chapa do Spindle	66
4.37	Montagem do Spindle e Suporte da Castanha	67
4.38	Montagem global da fresadora CNC transformada com o eixo adicional	67
4.39	Perfil estrutural de alumínio 20 x 120 mm [36]	68
4.40	Parafuso e porca T [37]	69
4.41	Mesa de perfil estrutural de alumínio com material de sacrifício [38]	69
4.42	Mesa de perfil estrutural de alumínio rahurado em T	70
4.43	Blocos de precisão paralelos	70
4.44	Spindle 3kW refrigerado a ar [16]	71
4.45	Inversor de frequência Delta Eletronics modelo VFD-037EL 5 CV	72
4.46	Servo motor do eixo z [24]	73
4.47	Driver modelo YZ ACSd608 [25]	73
4.48	Fonte de Alimentação CC [26]	74
4.49	Placa Controladora C11G [27]	74
4.50	MPG Manual Pulse Generator [28]	75
4.51	Placa de Interface do MPG [29]	75
4.52	Placa Ethernet Smooth Stepper [30]	76
4.53	Kit de sensores indutivos [31]	76
4.54	Diagrama elétrico da parte lógica	78

LISTA DE TABELAS

3.1	Valores utilizado para cálculo de força de corte e potência de corte no alumínio	18
3.2	Dados da força de furação e potência do Spindle.....	19
3.3	Propriedades mecânicas dos materiais utilizados na simulação de elementos finitos	21
3.4	Carregamentos e comprimentos das guias lineares.....	27
3.5	Dados necessários e resultado dos cálculos de carregamento das guias lineares da coluna	29
3.6	Dados necessários e resultado dos cálculos de esforços das guias lineares da coluna	32
3.7	Cargas e deflexões no ensaio de carga aplicada sobre a ponte.....	34
3.8	Deflexões para caso real e numérico e o erro percentual.....	35
4.1	Identificação e nomenclatura adotada para peças projetadas do carro de usinagem.....	39
4.2	Funções e materiais das peças projetadas do carro de usinagem.....	41
4.3	Forças e momentos nas guias lineares do carro de usinagem.....	44
4.4	Cálculo dos fatores e cargas dinâmicas equivalentes para todos os patins das guias lineares.	45
4.5	Fatores para cálculo da vida das guias lineares	45
4.6	Dimensionamento dos parafusos	52
4.7	Propriedades dos materiais.....	55
5.1	Características Técnicas	79
5.2	Tabela de custos dos componentes elétricos/eletrônicos (cotação do dolar em R\$3,90, taxa de 60% de importação e 17% de ICMS).....	80
5.3	Tabela de custos dos componentes mecânicos selecionados	80
5.4	Tabela de custos da materia prima para componentes mecânicos dimensionados	81
5.5	Tabela de custos de Fabricação das peças dimensionadas	81
5.6	Tabela de custos dos elementos fixadores	82
6.1	Plano de manutenção	83

LISTA DE SÍMBOLOS

F_c	Força de corte	[N]
F_f	Força de furação	[N]
K_c	Pressão específica de corte	[N/mm ²]
ap	Profundidade de corte	[mm]
h	Espessura do cavaco	[mm]
$(1 - mc)$	Expoente de Kienzle	
φ	Ângulo do arco de círculo em contato com a peça	[graus]
f_z	avanço por dente	[mm / dente]
f	avanço por rotação	[mm]
π	Proporção entre o perímetro de uma circunferência e seu diâmetro	
ae	Penetração de trabalho	[mm]
D	Diâmetro da fresa	[mm]
Z_c	Número de dentes em contato com a peça	
Z	Número de dentes da fresa	
P_c	Potência de corte no fuso de esferas recirculantes	[W]
P_m	Potência necessária no motor de avanço	[W]
P_s	Potência do Spindle	[W]
V_c	Velocidade de corte	[mm/min]
n	rotação da fresa	[rpm]
η	Eficiência do sistema	
σ	Ângulo de ponta da bronca	[graus]
M_{t_f}	Momento torçor devido a furação	[Nm]
M_{t_h}	Momento torçor devido a usinagem horizontal	[Nm]
P_0	Carregamento estático na guia linear	[N]
C_0	Carregamento estático máximo da guia linear	[N]
C	Carregamento dinâmico máximo da guia linear	[N]
F_r	Força radial atuante na guia linear	[N]
F_s	Força lateral atuante na guia linear	[N]
M	Momento atuante na guia linear	[N.m]
F_e	Carga dinâmica equivalente para guia linear	[N]
L	Vida da guia linear	[km]
f_H	Coefficiente de dureza	
f_W	Fator de carregamento	
f_S	Fator de carregamento estático admissível	
α	Ângulo de contato de guia linear	[graus]

1 INTRODUÇÃO

1.1 OBJETIVO

Este projeto tem por objetivo avaliar a viabilidade e definir os passos necessários para realizar a transformação de uma SMT (Surface Mounting Technology), máquina cartesiana com ferramenta móvel e mesa fixa, em uma fresadora CNC, com capacidade de usinar plásticos de alta densidade e alumínio sem que haja perda de precisão, deixando-a pronta para automação.

1.2 MOTIVAÇÃO

Atualmente já existe uma fresadora router CNC na Avixy Tecnologia LTDA, destinada a prototipagem rápida em plásticos de alta densidade. Porém esta vem apresentando problemas tanto mecânicos quanto elétricos/eletrônicos. Este foi um dos fatores mais determinantes para chegar à conclusão da necessidade de se ter outra fresadora. Por meio deste projeto, ao final dele, a empresa passará a contar com duas fresadoras CNC.

1.3 DIVISÃO DO RELATÓRIO

Este relatório está dividido em oito capítulos, além dos elementos pré- textuais e pós-textuais.

O primeiro capítulo se trata de uma breve introdução do tema com o objetivo de dar uma visão geral sobre o assunto, explanando o objetivo geral em um primeiro tópico, e então em um próximo tópico abordando sobre os motivos que levaram a necessidade deste projeto. Além de apresentar ao leitor a organização do trabalho.

O segundo capítulo, por meio de uma revisão da literatura traz informações necessárias para que se compreenda de uma maneira menos superficial o assunto que está sendo tratado. São abordadas a descrição, funcionamento, principais componentes, tipos de construção de ambas as máquinas objetos deste trabalho, SMT e Fresadora CNC. Também descritos os componentes, seus tipos e diferenças, que a máquina em projeto precisará receber. Entre eles encontram-se os motores elétricos, fusos esféricos, guias lineares, sensores, etc.

No capítulo três, que trata-se do projeto preliminar, foram coletados todos os parâmetros para balizar o restante do trabalho, e isto foi feito levantando-se o estado atual da SMT, observando-se desde aspectos mecânicos e elétricos até ergonômicos e de acabamento, para em seguida se descrever as especificações e requisitos desejados para a fresadora, levando-se em conta todas as limitações financeiras e de construção da máquina. Em seguida foram realizados os cálculos de esforços envolvidos nas operações da máquina e da sua rigidez estrutural. Até este ponto é possível fazer conclusões sobre a viabilidade técnica do projeto

e tomar os devidos proceguimentos.

Nos capítulos seguintes inicia-se o projeto da estrutura do eixo adicional, onde são feitas as seleções de componentes elétricos e eletrônicos, dimensionamento dos componentes mecânicos projetados e selecionados. Também são tratados de aspectos relacionados ao funcionamento, à montagem e fabricação.

Adiante levanta-se uma especificação geral da máquina, com levantamento de custos de componentes elétricos/eletrônicos, mecânicos, material, fabricação e elementos fixadores. Também apresenta-se um plano de manutenção.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 SMT - ASPECTOS GERAIS

Pick-and-place (pegador e posicionador) é o nome comum das máquinas de Tecnologia de Montagem Superficial-SMT. São máquinas robóticas utilizadas para posicionar e montar dispositivos em superfícies de placas de circuito impresso (PCB). Bastante usada por sua alta velocidade e precisão em colocar componentes eletrônicos, como resistores, transistors, circuitos integrados para PCB, que mais tarde serão utilizados em equipamentos eletrônicos.

2.1.1 Funcionamento

Para que os componentes eletrônicos sejam posicionados corretamente na PCB, vários subsistemas trabalham em conjunto, realizando etapas previamente programadas. Normalmente um sistema de ventosas pneumáticas, ligadas a um conjunto que se movimenta em três eixos com precisão utilizando coordenadas cartesianas, pega os componentes e os posiciona em uma placa de circuito impresso. Além do movimento destes eixos, o bocal da ventosa pode girar em torno do eixo Z de forma independente para garantir o correto alinhamento dos componentes.

2.1.2 Feeders e Correias Transportadoras

Feeders são equipamentos alimentadores da SMT. Os componentes eletrônicos são envolvidos por uma fita que fica enrolada em torno de um carretel no feeder. A medida que a máquina coleta um componente eletrônico no feeder, um mecanismo é ativado, girando o carretel e posicionando um novo componente no local de coleta. É possível entender melhor a disposição dos componentes e mecanismo dos feeders ao observar a Figura 2.1

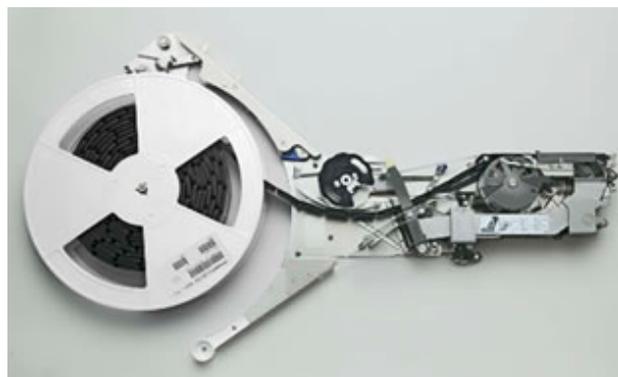


Figura 2.1: Feeder utilizado em máquinas SMT [1]

As PCBs são colocadas sobre correias transportadoras que passam pelo centro da máquina, onde existe

um grampo para a fixação da PCB. A PCB é presa e os bocais pegam os componentes nos feeders e coloca sobre a placa com alta precisão.

2.1.3 Posicionamento

Quando o bocal pega o componente pela ventosa pneumática, uma câmera posicionada abaixo do bocal captura uma imagem do dispositivo e inspeciona com a finalidade de saber qual o exato posicionamento do componente no bocal. Por exemplo, o componente está rotacionado 5 graus e deslocado 0,15 mm do local correto. O computador faz essa identificação e manda o comando para que a máquina faça o ajuste. Feito isso, uma segunda câmara, posicionada ao lado do bocal, captura uma imagem da PCB para fazer uma inspeção semelhante à descrita anteriormente.

2.2 TIPOS DE MÁQUINAS SMT

As máquinas Pick-and-Place são classificadas em cinco categorias diferentes. A saber: dupla entrega, multi-estações, tipo torre rotativa, multi-cabeças e tipo sequencial. A seguir é feita uma breve descrição destas máquinas.

2.2.1 Máquina de Dupla Entrega

Este tipo de máquina é caracterizada por ter duas cabeças ou bocais que trabalham em lados alternados da SMT. Enquanto uma cabeça está selecionando o componente a ser montado, a outra cabeça está posicionando e montando um componente já selecionado. Para evitar colisões, apenas uma boca realiza o posicionamento por vez. O esquemático deste tipo de máquina pode ser visto na Figura 2.2

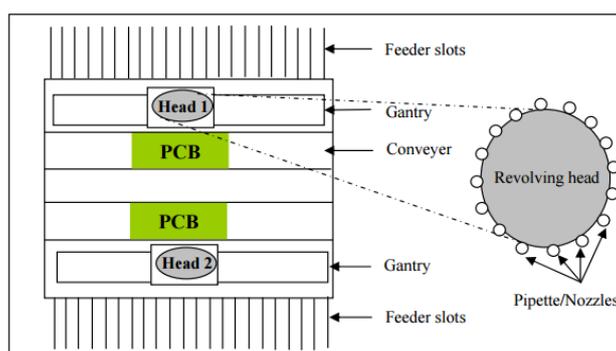


Figura 2.2: SMT de dupla entrega [2]

2.2.2 Máquina Multi-estações

As máquinas multi-estações possuem mais de um módulo de posicionamento, sendo que todos funcionam de forma idêntica e com capacidade de operar simultaneamente. As PCBs são levadas pela correia

transportadora até um palete e dali são posicionadas uma em cada estação por um sistema de circulação de paletes. Cada estação funciona de forma autônoma, possuindo seus próprios conjuntos de feeders.

2.2.3 Máquina de Torre Rotativa

O mecanismo de montagem deste tipo de máquina é posicionado sobre uma torre rotativa, com capacidade que varia de 12 a 24 cabeças ou bocais. Os feeders são montados sobre uma cremalheira, que se desloca para deixar o feeder, que possui o próximo componente a ser selecionado, na posição correta para ser pego pelo bocal. Nesta máquina o posicionamento é feito por deslocamento da PCB, não da cabeça. Esta tecnologia permite o posicionamento, a montagem e permite pegar o componente simultaneamente, diminuindo o tempo necessário para montagem da placa.

2.2.4 Máquina Multi-cabeças

Esse tipo de máquina se difere da SMT de torre rotativa por suas cabeças se moverem de forma cartesiana, nos eixos X e Y, para transportar os componentes dos feeders para a PCB, suas cabeças também são posicionadas em uma plataforma rotativa, disposta na vertical. Quando esta plataforma vai coletar os componentes, ela preenche todos os bocais e posteriormente posiciona e monta as peças nos seus devidos locais. Na Figura 2.3 é possível ver uma representação de uma SMT multi-cabeças.

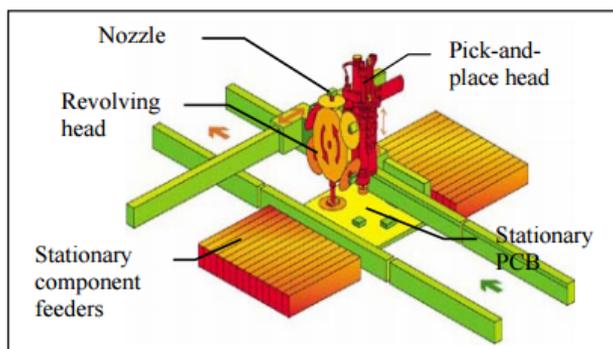


Figura 2.3: Máquina Multi-cabeças [3]

2.2.5 Máquina Tipo Sequencial

O método de operação desta máquina é semelhante à de multi-cabeças, porém ela só coleta um componente por ciclo. Este tipo de máquina possui apenas uma cabeça, com feeder e PCB estacionários. Para a coleta, a cabeça se desloca até os feeders, faz a coleta do componente, posiciona-o sobre a PCB e faz a montagem, de forma bastante simples. Este é o tipo de máquina a ser convertida, na Figura 2.4 é possível ver uma imagem da SMT já parcialmente desmontada, sem as carenagens, feeders e parte da eletrônica.

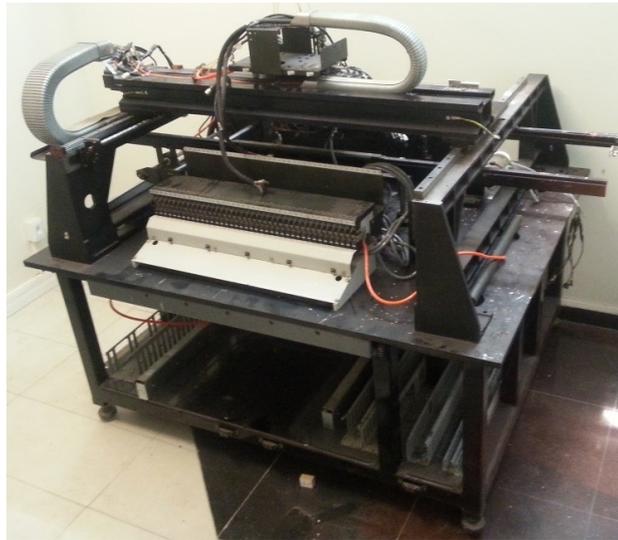


Figura 2.4: SMT do tipo sequencial parcialmente desmontada

2.3 FRESADORA CNC

Fresadoras são máquinas cartesianas que possuem três eixos ou mais e a partir do processo de rotação de sua ferramenta, que possui lâminas de corte, e do seu avanço retiram material de um bloco. A fresa (ferramenta de corte) normalmente trabalha perpendicularmente à direção de corte e retira material por cisalhamento do bloco a ser usinado, deixando a peça no formato desejado. É um processo bastante utilizado na indústria para a fabricação de peças.

2.3.1 Fresadora de Comando Numérico por Computador (CNC)

O Comando Numérico é parte da automação da máquina, que é operada a partir de comandos programados e codificados enviados por um computador, possuindo assim maior precisão e permitindo a usinagem de peças mais complexas. As programações são feitas a partir de softwares CAM (computer-aided manufacturing) capazes de interpretar o desenho CAD (computer-aided design) da peça a ser feita, onde são simuladas as operações a serem realizadas e posteriormente é criado um código, interpretável pela fresadora, que dirá à máquina quais movimentos fazer, com qual avanço e rotação.

2.3.2 Tipos de Fresadoras CNC

Uma das formas de classificar os diferentes tipos de fresadora CNC, é por sua quantidade de eixos, que determinam as possibilidades de movimento da ferramenta de corte. Assim, quanto maior números de eixos, mais graus de liberdade, permitindo usinar peças mais complexas com mais facilidade. Quando se fala de máquinas com número de eixos de um a três, refere-se a movimentos da fresa nas direções dos eixos X, Y e Z, quantidade de eixos a partir de quatro, refere-se a movimentos em torno dos eixos X, Y e Z.

Outra forma de diferenciar essas máquinas é pelo posicionamento do spindle (motor destinado a rotacionar a ferramenta de corte), podendo ser horizontal ou vertical, e pelo tipo de trabalho a ser realizado.

2.3.2.1 Fresadora Vertical

É chamada de vertical pelo fato do eixo do spindle estar nesta direção, perpendicular à mesa de trabalho, como pode ser visto na Figura 2.5. Este tipo de máquina possui um maior curso na direção axial da ferramenta de corte (eixo Z), podendo usinar peças com maiores dimensões nesta direção. Algumas das principais operações realizadas por esta fresadora são: operações de cantos a 90 graus, faceamento, fresamento de canais e fresamento com ângulos negativos em relação à normal do plano de trabalho.

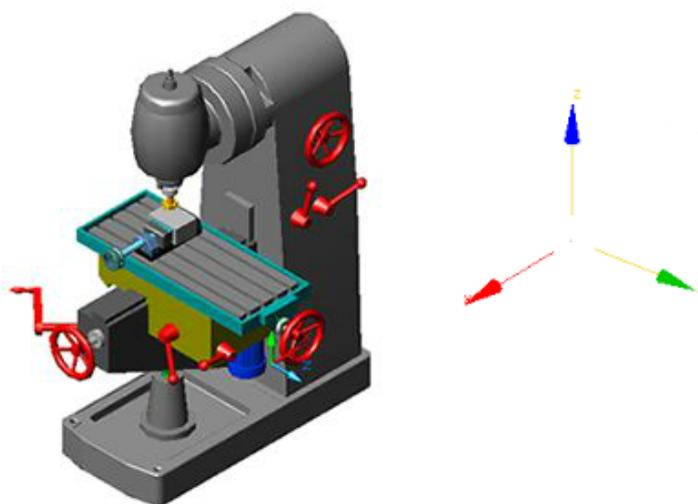


Figura 2.5: Representação de uma fresadora vertical [4]

2.3.2.2 Fresamento Horizontal

Este tipo de máquina possui o eixo do spindle paralelo à mesa de usinagem, como pode ser visto na Figura 2.6. Caracterizada por ser mais rígida, conferindo maior precisão nas peças usinadas, porém com operações mais restritas devido ao pequeno curso no eixo Z. Algumas das principais operações realizadas por esta fresadora são: ranhuras e contorno, canais e roscas.

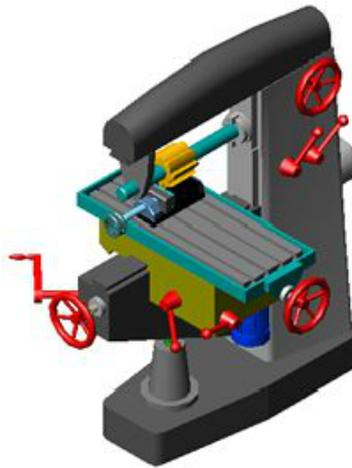


Figura 2.6: Representação de uma fresadora horizontal [5]

2.3.2.3 Fresadora Universal

São fresadoras mais versáteis, em que o spindle é montado sobre um cabeçote que pode girar em torno do próprio eixo, podendo assim ocupar a posição tanto vertical quanto horizontal. Este tipo de máquina possui a vantagem de realizar operações mais complexas, porém possui menor rigidez, não sendo utilizadas para operações muito pesadas.

2.3.2.4 Fresadoras Especiais

Há diversos tipos de fresadoras especiais, normalmente utilizadas para alta produção, em que a máquina é especializada para um tipo específico de operação, como as fresas copiadoras, fresas de faceamento, ferramenteiras, etc.

2.3.2.5 Fresadora Router

Nas fresadoras já citadas, normalmente as operações de corte ocorrem por deslocamento da mesa de trabalho, em alguns casos, não muito usuais, a ferramenta de corte tem movimento no eixo Z.

Nas fresadoras do tipo router o spindle que se movimenta para realizar as operações de corte. Esta característica traz à máquina uma menor robustez, sendo por tanto utilizada para usinagem de materiais com menor pressão específica de corte, como madeira, plástico e alumínio. Este é o tipo de máquina em que a SMT em estudo será convertida. A Figura 2.7 ilustra uma CNC router.

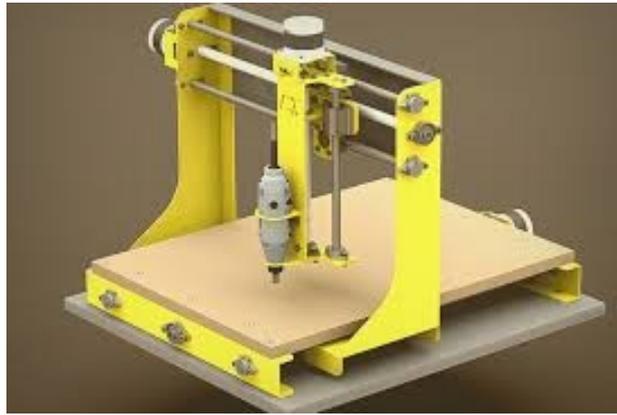


Figura 2.7: Representação de uma fresadora router [6]

2.3.3 Motorização

A movimentação da fresadora nos três eixos pode ser feita através de servo motores. Utiliza-se normalmente dois tipos de motores, os com escovas e os sem escovas.

Os motores de corrente contínua com escovas funcionam pela geração de campos magnéticos, que ficam atraindo e repelindo pontos específicos do rotor central. Neste tipo de motor, ímãs permanentes são colocados ao redor de um eletroímã que gira, orientados de forma que ímãs opostos sempre possuem polaridades contrárias. O eletroímã é formado por bobinas. Quando a eletricidade circula, um campo magnético é formado pelas bobinas, que é repelido e atraído pelo campo gerado pelos ímãs fixos. A corrente é transferida mecanicamente através das escovas metálicas para as bobinas, que giram junto com o rotor, e desta forma as escovas entram e saem do contato com cada bobina em série, assim a atração e repulsão entre os campos magnéticos fazem o motor girar.

Nos motores sem escovas, as posições dos ímãs e das bobinas são invertidas. Os ímãs ficam posicionados no rotor e as bobinas ficam ao redor, no invólucro. Nesta tecnologia o motor também gira pela ação de repulsão e atração causado pelos ímãs às bobinas, causado pela corrente que passa por cada bobina em série. Os ímãs e as bobinas do comutador devem estar sempre sincronizadas para que os campos se mantenham sempre em oposição e o rotor continue girando, para que isto ocorra é necessário um controlador eletrônico, que tem a função de coordenar a aplicação da corrente, sem que seja necessário um contato físico, o contato é apenas eletromagnético.

2.3.4 Fuso de Esferas Recirculantes

Fusos de esferas recirculantes são atuadores utilizados para transformar o movimento rotacional do motor em movimento linear da ferramenta de corte, com pouco atrito e precisão. Na prática é um eixo com rosca esférica, semelhante a um parafuso de potência, capaz de aplicar ou suportar cargas axiais com baixo atrito. Essa peça é feita com tolerância, tornando-o adequado para utilização em situações em que é necessário precisão.

O movimento do fuso é transformado de rotacional para linear no rolamento linear, que funciona de

forma semelhante à uma porca. Neste rolamento há cavidade para que haja recirculação das esferas, possibilitando assim sua rolagem entre a cavidade do fuso e a carcaça do rolamento. A Figura 2.8 mostra um fuso de esferas recirculantes com seu rolamento linear em uma vista em corte.

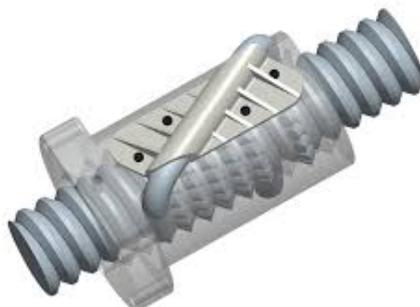


Figura 2.8: Fuso de esferas recirculantes e rolamento linear [7]

O passo do fuso pode ser visto como uma redução para o motor, uma vez que quanto maior o passo, maior será o deslocamento linear para cada volta dado pelo motor.

2.3.5 Acoplamento Flexível

O acoplamento é um elemento de máquina que liga o eixo do motor ao eixo de uma máquina ou estrutura. As principais funções são compensar os desalinhamentos, não forçar os rolamentos dos motores ou mancais e evitar a transmissão de vibrações ou cargas a equipamentos delicados, melhorando o acabamento gerado pela máquina em questão. A Figura 2.9 mostra um acoplamento elástico de lâminas, que compensa apenas desalinhamento entre os eixos, não amortecendo choques na transmissão de força.



Figura 2.9: Acoplamento flexível de lâminas [8]

2.3.6 Sensores de Fim de Curso

Microswitches, ou sensores de fim de curso, são comutadores elétricos capazes de serem acionados por uma força muito pequena. São muito comuns devido ao seu baixo custo e são normalmente posicionados no final das guias lineares da máquina, enviando um sinal para o sistema eletrônico quando o contato físico ocorre. Na fresadora em questão, este sinal indica que o suporte da fresa ultrapassou o curso estabelecido pelo software, cortando a alimentação da máquina.

3 PROJETO PRELIMINAR

A rigidez da estrutura e a possibilidade de se utilizar os componentes existentes devem ser analisados com o devido cuidado. Inicialmente é necessário avaliar o estado da máquina a ser adaptada.

3.1 ESTADO ATUAL DA MÁQUINA

A SMT utilizada neste projeto possui sua estrutura toda em aço de perfil quadrado. Sobre esta estrutura existe uma chapa de aço de 12,6 mm que funciona como a base da máquina. Em cima desta base existem duas colunas robustas de ferro fundido que funcionam como ponte para movimentação no eixo Y (longitudinal) através de guias lineares, e para sua movimentação há, localizado em uma das colunas, um fuso esférico. A Figura 3.1 permite o melhor entendimento da estrutura descrita.

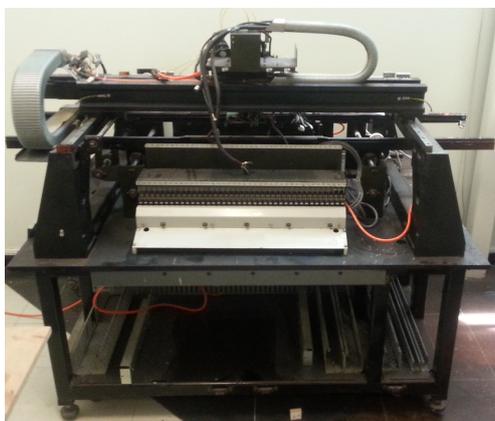


Figura 3.1: SMT em seu estado atual

A ponte da máquina consiste de um perfil estrutural em alumínio, e possui aparafusado ao longo de todo seu comprimento, duas guias lineares que dão a liberdade de movimentação na direção X do carro posicionador dos componentes, esta estrutura é movimentada por um fuso esférico instalado na própria ponte. Portanto há 2 (dois) fusos esféricos, que são de passo 20 mm e alta classe de precisão, otimizados para movimentação rápida conforme o tipo de operação original da SMT. A Figura 3.2 deixa mais claro a posicionamento do sistema coordenadas da máquina sendo ilustrado em uma fresadora de mesmo aspecto construtivo.

A área de trabalho (plano formado pelos eixos X e Y) tem tamanho 1050 X 960 mm o que permite adicionar uma grande mesa de usinagem. A distância entre a ponte e a base permite um bom curso para o eixo Z, aproximadamente 300 mm. Estas medidas da área de trabalho são suficientes para todos tipos de peças a serem usinadas.

A máquina possui originalmente 2 (dois) motores brushless controlados por drives. Ambos são de fabricação japonesa e os dados de comunicação entre elas não são fornecidas pelo fabricante. Portanto, em

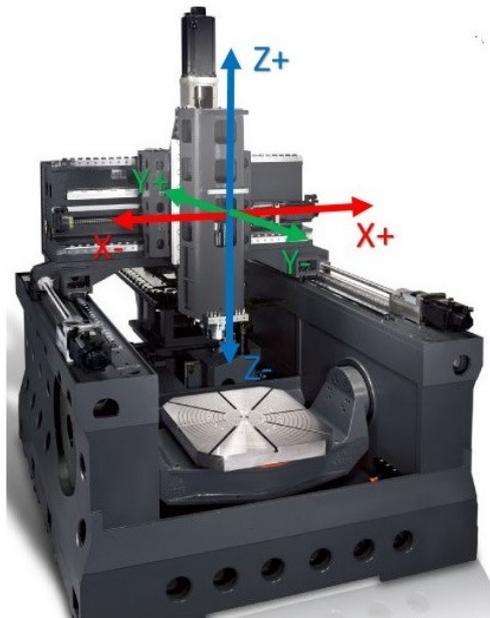


Figura 3.2: Disposição dos eixos referenciados representados em uma máquina de mesmo aspecto construtivo [10]

relação à parte elétrica/eletrônica será mais apropriado selecionar novos motores, placas e controladores.

Do ponto de vista ergonômico, a estrutura da máquina é muito baixa para operações de troca de ferramenta, fixação de peças e até mesmo manutenção e limpeza. O que faz pensar em alguma solução, ou de alteração da estrutura da máquina ou de instalação desta sobre algum patamar.

Em relação a acabamento, a SMT originalmente possui carenagem fechando toda a estrutura, além de janelas de inspeção de operação, porém estas carenagens precisam de manutenção.

Com o levantamento destas características principais foi possível fazer as primeiras análises e determinar os pontos mais críticos.

Com a finalidade de analisar o deslocamento ponte do eixo X quando submetido aos esforços de usinagem de materiais mais duros, foi feito um estudo de rigidez sobre a ponte deste eixo, partindo de uma avaliação das forças que causam torção e flexão neste componente com o novo eixo Z. Também foi avaliado se a distância vertical entre as duas guias lineares no eixo X é o suficiente para resistir aos esforços aplicados pelo carrinho do eixo Z, verificando a torção destas e a resistência ao arrancamento dos carrinhos das guias

Na avaliação dos fusos, verificou-se que o eixo que transporta a ponte do eixo Y possui apenas um fuso que está em uma de suas extremidades, podendo apresentar torção devido ao torque causado na ponta de ferramenta de usinagem, caso crítico quando esta estiver no lado oposto da máquina. Como os fusos da SMT são otimizados para alta velocidade, eles podem perder precisão ou não permitir que os motores trabalhem em seu regime de torque e velocidade ótimos. Com esta análise será possível decidir se os fusos originais da SMT podem ser reutilizados neste projeto ou se será necessário selecionar fusos novos, com passo diferente.

3.2 CARACTERÍSTICAS E REQUISITOS

3.2.1 Fresadora Atual - Problemas e Soluções

Com o objetivo de não se repetir na máquina em projeto os problemas apresentados na fresadora atualmente utilizada pela empresa Avixy Tecnologia, uma análise cuidadosa foi feita na referida máquina.

A fresadora CNC atualmente utilizada pela referida empresa possui alguns erros de projeto, que a impedem de produzir peças com alta qualidade. São esses detalhes que se pretende resolver na máquina que está sendo adaptada, usinando peças mais precisas e com maior velocidade. Os defeitos e suas respectivas soluções são listados:

1. Os fusos dos eixos X e Y são montados sobre mancais de rolamentos rígidos de uma carreira de esferas, que possui pouca resistência à cargas axiais, não tornando possível dar aperto o suficiente para evitar folgas no sentido axial do eixo, causando um erro na peça. A montagem dos fusos deve ser feita utilizando-se três rolamentos, sendo dois de esferas de contato angular e um rígido de esfera. Os rolamentos de contato angular resistem a uma grande carga axial, permitindo aperto neste sentido. Desta forma, com uma parede, utilizada como batente, separando estes dois rolamentos, é possível dar aperto na porca que fica na extremidade do fuso esférico (Figura 3.3), retirando a folga deste elemento. O segundo mancal funciona apenas como apoio para o fuso.

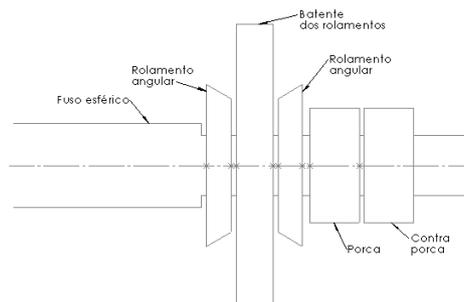


Figura 3.3: Representação da montagem dos rolamentos angulares no fuso esférico

2. O carro de usinagem possui roscas em alumínio. Pela baixa resistência das roscas e pelos parafusos serem de aço, um dos problemas ocorridos na máquina é a falha das roscas, sendo necessário reabrir o furo e fazer uma nova rosca. As peças que possuem parafusos rosqueados, serão feitas de aço ou terão buchas de aço que receberão os parafusos.
3. Correias dos motores frouxas. Por falta de dispositivo de tensionar as correias de transmissão, elas não ficam na tensão ideal, causando uma espécie de folga, reduzindo a precisão da peça usinada. Na máquina projetada, os novos motores serão ligados diretamente em acoplamentos elásticos do tipo lâmina, que transmitem o torque direto para o fuso, corrigindo assim os problemas provenientes do uso de correias, como seu afrouxamento e a folga por deformação.
4. Motor do eixo Y é de baixa potência. O motor do eixo X movimenta apenas o conjunto do eixo Z, enquanto o motor do eixo Y, além de movimentar o carrinho do eixo Z, precisa de força para

movimentar todo o eixo X, que é composto por uma ponte e duas colunas, formando um conjunto de grande massa, sendo então necessário um motor relativamente mais forte no eixo Y. Com o cálculo das forças de corte, será possível saber qual a força necessária no fuso para movimentar todo o sistema e a partir de então selecionar o motor, ou adicionar outro fuso esférico no eixo Y, para distribuir as forças em dois motores.

5. Desenho inconveniente das colunas da ponte do eixo X. O desenho das colunas, Figura 3.4 não foi feito de forma a deixar o Centro de Massa do sistema em uma posição que não gerasse momento fletor nos apoios da coluna, fazendo com que as guias lineares do eixo Y sejam solicitadas de forma incorreta, causando uma tendência de torcer a máquina maior do que ela resiste, chegando a gerar estalos durante a movimentação da máquina. No projeto serão consideradas as forças atuantes nas guias lineares, com a finalidade de não exceder seus esforços nominais.



Figura 3.4: Coluna que sustenta a ponte do Eixo X

6. Transmissão por correia, como pode ser visto na Figura 3.5. Quando o motor transmite torque, gera uma deformação na correia, fazendo aparecer uma espécie de folga, diminuindo a precisão na usinagem da peça. A solução do problema citado no item 3, também resolve o problema do item 6, eliminando as correias da máquina e consequentemente a folga devido à deformação da correia.
7. Eixo Z baixo. A pouca altura do eixo Z trás grandes limitações à máquina, não sendo possível usinar peças maiores neste sentido. O carro que suporta o eixo Z será posicionado à uma maior distância da mesa de usinagem, aumentando o volume útil da máquina e permitindo usinar peças mais altas.
8. Mesa de usinagem inapropriada. A mesa de usinagem atual é de alumínio, não sendo capaz de cumprir uma de suas funções, que é conferir rigidez à máquina, além de não permitir uma correta fixação das peças. Uma mesa de usinagem de ferro fundido, própria para fresadoras CNC será selecionada.

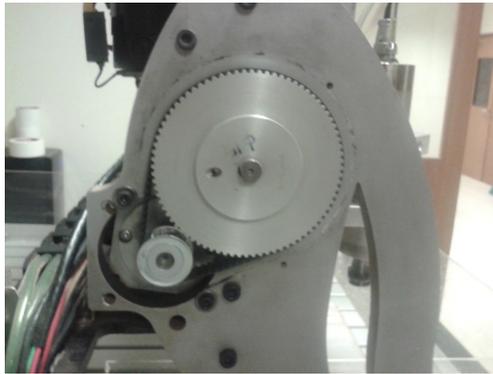


Figura 3.5: Transmissão por correia para o fuso

9. Desenho do suporte do spindle. O desenho do suporte do spindle foi feito de forma que não garante perpendicularidade entre a ferramenta de corte e a mesa de usinagem. O suporte do spindle deverá ser usinado de forma a garantir o perpendicularismo entre a ferramenta de corte e a mesa de usinagem, garantido pela correta furação e cuidados na usinagem das peças que compõe este suporte.
10. Base do suporte do spindle não permite regulagem. Quando uma peça mais alta deve ser usinada, é necessário elevar a altura do spindle. A base do suporte atual não permite essa regulagem da altura Z. A chapa que serve de suporte para o spindle terá furações em diferentes alturas, com a finalidade de tornar regulável a posição deste motor na direção do eixo Z.
11. Não possui proteção adequada. A máquina possui apenas uma pequena carenagem, que não protege o operador dos cavacos gerados e não confina o pó gerado na usinagem, tornando o ambiente de trabalho poluído. Uma carenagem de chapa de aço com partes de acrílico, para permitir que a usinagem seja assistida, será utilizada para isolar todo o volume útil da máquina, deixando confinados os resíduos provenientes da usinagem.
12. Incorreta instalação dos microswitches (sensores utilizados para mandar um sinal para a máquina quando esta alcança o fim de curso). Os microswitches se comunicam direta com o software que manda os comandos para a máquina. Quando ocorre algum erro no programa, o sinal enviado pelos sensores microswitch não fazem a máquina desligar. Os microswitches deverão ser instalados de forma que tenha comunicação direta com a placa de força da máquina, cortando seu fornecimento de energia caso o carro da fresadora alcance o fim de curso.

3.2.2 Requisitos e Limitações para Nova Fresadora

Por se tratar de uma máquina de pequeno porte para suprir as necessidades da empresa Avixy Tecnologia, onde a maior demanda de trabalhos usinados é em plástico de alta densidade e alumínio, dimensionando a máquina para o pior cenário, foi colocado como requisito a capacidade de usinar alumínio com um avanço de pelo menos 1300 mm/min desbastando 1,5 mm por passo (profundidade de corte).

Pelo histórico de protótipos criados na empresa, vê-se a necessidade de uma altura de usinagem de 200 mm e com precisão de 0,01 mm, gerando um erro dimensional de no máximo 0,02 mm na usinagem de moldes de baixa complexidade, valor considerado aceitável para as peças prototipadas.

Outra preocupação é com a ergonomia da máquina, cujo a base deve ter altura para o operador assistir de forma confortável a fresadora em trabalho e trocar a ferramenta de corte sem dificuldades, além de carenagens para deixar confinado os resíduos de usinagem, deixando o ambiente mais cômodo e limpo.

Para atingir os requisitos desejados, a fresadora possuirá as seguintes dimensões de volume de trabalho 1050 x 960 x 250 mm, podendo avançar com uma velocidade de 8000 mm/min em G0 (velocidade máxima de avanço alcançada pela máquina, utilizada quando a fresadora está deslocando livremente, sem realizar operação de corte) e 5000 mm/min em G3 (velocidade máxima de avanço alcançada pela máquina em operação de corte).

3.3 ANÁLISE TEÓRICA

3.3.1 Esforços de Corte

Para calcular as reações nas guias lineares e selecionar os motores, é necessário fazer o equacionamento das forças de corte e da potência necessária no fuso esférico. Para este cálculo foi utilizado as equações de Kienzle, que considera a força de corte (F_c) como uma pressão aplicada sobre uma área, conforme a equação 3.1.

$$F_c = K_c \cdot ap \cdot h^{(1-mc)} \quad (3.1)$$

K_c = pressão específica de corte [N/mm²];

ap = Profundidade do corte [mm];

h = Espessura do cavaco [mm];

$(1 - mc)$ = Expoente de Kienzle;

Em que K_c é a pressão necessária para realizar um corte que gere um cavaco de 1x1 mm. O expoente de Kienzle $(1 - mc)$ é determinado e tabelado experimentalmente para cada material, este quantifica a usinabilidade ou a influência da profundidade de corte na usinagem do material.

No fresamento temos o problema da espessura do cavaco ser variável e que nem todos os dentes estão em contato simultâneo com a peça. Para o cálculo de espessura média do cavaco, utilizou-se a equação 3.2. A Figura 3.6 ilustra algumas das variáveis envolvidas na equação.

$$h = \frac{360}{\phi} \cdot \frac{fz}{\pi} \cdot \frac{ae}{D} \quad (3.2)$$

Para considerar o pior caso, foi feito $ae = D$ e $\phi = 180$, em que toda a secção frontal da fresa está em contato com a peça a ser usinada.

A força de corte também depende do número de dentes em contato com a peça (Z_c), que é função da quantidade de dentes na ferramenta de corte (Z) e do ângulo da fresa que está em contato com a peça, conforme a equação 3.3. Como Z_c pode ser um número não inteiro, sempre que o valor encontrado for

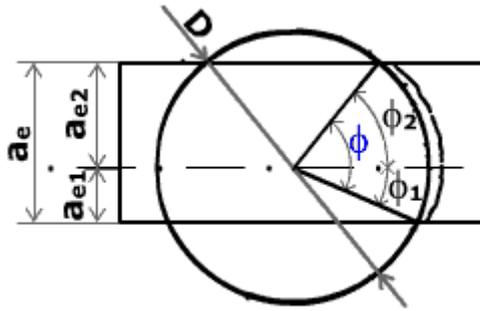


Figura 3.6: Variáveis em um fresamento frontal [11]

quebrado, este é aproximado para o próximo número inteiro.

$$Z_c = Z \cdot \frac{\phi}{360} \quad (3.3)$$

Desta forma, a força de corte no fresamento foi obtida utilizando a equação 3.4.

$$F_c = K_c \cdot ap \cdot Z_c \cdot h^{(1-mc)}, [N] \quad (3.4)$$

O cálculo da potência necessária no fuso para fresamento depende também da velocidade de corte (V_c). Para calcular esta potência utilizou-se a equação 3.5.

$$P_c = \frac{ap \cdot ae \cdot V_c \cdot K_c}{60000}, [W] \quad (3.5)$$

Os dados de usinagem do alumínio foram retirados dos sites da Mitsubishi [12] e do Grupo Idaco [13]. Os valores adotados são referentes ao cenário crítico de funcionamento da máquina, que será usinar alumínio naval 7075-T651 com uma fresa de 12,7 mm, três lâminas de corte e 100% da fresa em contato com a peça ($ae = D$). Para o cálculo da eficiência foi considerado que a máquina possui quatro rolamentos lineares em suas guias, três rolamentos radiais nos mancais do fuso esférico e um rolamento linear no fuso, sendo que cada rolamento provoca uma perda de 1%, levando a uma eficiência de $\eta = 0,99^8$, onde esta potência representa a quantidade de rolamentos que contribui com a perda de eficiência. Estes valores estão descritos na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Valores utilizado para cálculo de força de corte e potência de corte no alumínio

Dados	Unidade	Descrição	
K_c	880	N/mm^2	Pressão específica de corte
$(1 - mc)$	0.53	-	Expoente de Kienzle
D	12.7	mm	Diâmetro da fresa
ϕ	180	graus	Ângulo de contato da fresa
Z	3	-	Número de dentes da fresa
Z_c	2	-	Número de dentes em contato
ap	1.5	mm	Profundidade
fz	0.03	mm/dente	Avanço por dente
h	0.002687	mm	Espessura média do cavaco
vc	1350	mm/min	Avanço
η	0.92	-	Eficiência do sistema
n	15000	rpm	Rotação
F_c	114.58	N	Força de corte
P_c	356.4	W	Potencia no fuso do eixo X/Y
P_m	387.39	W	Potencia necessária do motor de avanço

É importante também tomar conhecimento das forças atuantes no eixo Z (força de furação), para o correto dimensionamento do sistema e seleção dos componentes como fusos esféricos, guias lineares, motor de avanço e Spindle (motor responsável pelo giro da ferramenta de corte). Para quantificar esta força, utilizou-se a equação 3.6. A Figura 3.7 ilustra a variável σ .

$$Ff = \frac{Kc}{2} \cdot f \cdot d \cdot \text{sen} \left(\frac{\sigma}{2} \right), [N] \quad (3.6)$$

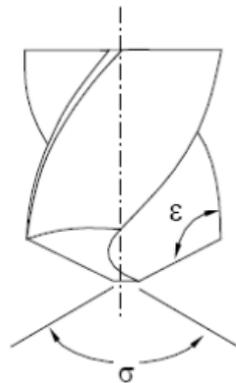


Figura 3.7: Ilustração do ângulo de ponta da ferramenta [14]

A potência requerida no fuso do eixo Z (P_z) para que a furação seja realizada é obtida a partir da equação 3.7.

$$P_z = \frac{Ff \cdot f}{60000}, [W] \quad (3.7)$$

Para o cálculo de esforços nas guias lineares que suportam o sistema do eixo Z, é necessário conhecer o momento torçor (M_t) causado pela operação de furação durante a usinagem, conforme a equação 3.8, onde o avanço/rotação no eixo Z (f) é uma das variáveis.

$$M_t = K_c \cdot \frac{f \cdot d^2}{8000}, [N.m] \quad (3.8)$$

Para a seleção do Spindle a ser utilizado, é necessário conhecer a potência requerida para o giro da ferramenta de corte (P_s), que é função do momento torçor e da rotação (n), como pode ser visto na equação 3.9.

$$P_s = \frac{F_c \cdot n \cdot \frac{D}{2}}{2 \cdot \pi}, [W] \quad (3.9)$$

Os resultados obtidos podem ser visualizados na Tabela 3.2

Tabela 3.2: Dados da força de furação e potência do Spindle

Dados	Unidade	Descrição
K_c	880	N/mm^2 Pressão específica de corte
Vf	300	mm/min Avanço no eixo Z
D	12	mm Diâmetro da fresa
n	18000	rpm Rotação
f	0.01667	mm/volta Avanço por volta
σ	180	graus Ângulo da ponta da ferramenta
F_f	88	N Força de furação
M_{t_f}	264	Nm Momento torçor devido a furação
M_{t_h}	475.2	Nm Momento torçor devido usinagem horizontal
P_{s_f}	497.64	W Potência do Spindle devido a furação
P_{s_h}	1642.07	W Potência do Spindle devido a usinagem horizontal
P_z	0.44	W Potência no fuso do eixo Z

3.3.2 Rigidez Estrutural da Máquina

Esta sessão tratou-se de analisar se a máquina a ser adaptada apresenta rigidez suficiente para desenvolver o trabalho a qual estará sujeita. Avalia-se mais especificamente a rigidez flexional e torcional da ponte. Para tanto são levantados os cenários críticos para caso em estudo e por análise de elementos finitos observa-se as deformações máximas sofridas.

3.3.2.1 Modelagem da Ponte da Máquina

É necessário ter um modelo 3D da ponte da máquina e da guia linear, para fazer simulação de elementos finitos. A modelagem foi feita com o software SolidWorks 2015.

Para modelagem da ponte utilizou-se o recurso de imagem de esboço do software empregado. Essa

exatamente no meio da ponte, onde a deflexão é máxima para uma viga bi apoiada, utilizando uma broca com diâmetro admissível e com o máximo avanço para o tipo de material a ser usinado.

O avanço máximo de furação para alumínio ASTM 7075 T6 (material mais crítico para usinagem nesta máquina) desejado é 300 mm/min, e o diâmetro máximo de ferramentas é de 12,7 mm.

- Simulação em Elementos Finitos

Para verificar o máximo deslocamento e tensão equivalente utilizou-se um software de simulação em elementos finitos (Ansys v15.0). A análise foi feita sobre a montagem da ponte com a guia, onde não se sabe exatamente as características mecânicas dos materiais destes componentes, porém é possível fazer boas estimativas com o alumínio série 6 (6101-T6) para a ponte, pois é um material comumente aplicado a perfis estruturais de alumínio, e aço estrutural padrão do pacote de elementos finitos para as guias lineares. Como a análise mais importante é o campo de deslocamento, estas estimativas não afetarão tanto o resultado pois os módulos de elasticidade não tem variações tão grandes quanto as tensões admissíveis dentro de um mesmo grupo de materiais. A Tabela 3.3 a seguir mostra as propriedades mecânicas dos materiais empregados na simulação.

Tabela 3.3: Propriedades mecânicas dos materiais utilizados na simulação de elementos finitos

	Alumínio 6101-T6	Aço Estrutural
Modulo Elasticidade	68,9 GPa	200 GPa
Poisson	0,33	0,3
Tensão Escoamento	193 MPa	250 MPa
Tensão de Ruptura	210 MPa	460 MPa

O elemento selecionado para realizar a simulação foi o hexagonal de 20 nós, pois este tipo de elemento tem comportamento interno bem descrito por ser quadrático e se enquadra bem para geometrias não complexas, gerando uma simulação com menos nós em comparação com elementos tetraédricos. A Figura 3.10 mostra a malha usada depois de feita a convergência, o resultado foi uma malha com 246479 nós e 47607 elementos.

Para realização da simulação de montagem foi necessário criar conexões entre o trilho da guia linear e a ponte. Como o objetivo não é avaliar a resistência dos parafusos de fixação, utilizou duas condições uma de contato do trilho da guia com a ponte (representado por A e B na Figura 3.11) e ligação dos furos do parafusos da ponte com a guia (representado por C na Figura 3.11).

As condições de contorno utilizadas foram:

1. Apoio nas duas pontas da guia, cada uma com comprimento de 70 mm no sentido longitudinal (Figura 3.12-A)
2. Força de furação, 88 N, aplicada no sentido positivo de Y, seguindo coordenadas do software (é possível visualizar no canto direito da Figura 3.11). A força foi aplicada na área equivalente ao apoio dos quatro carrinhos na guia linear (Figura 3.12-B)

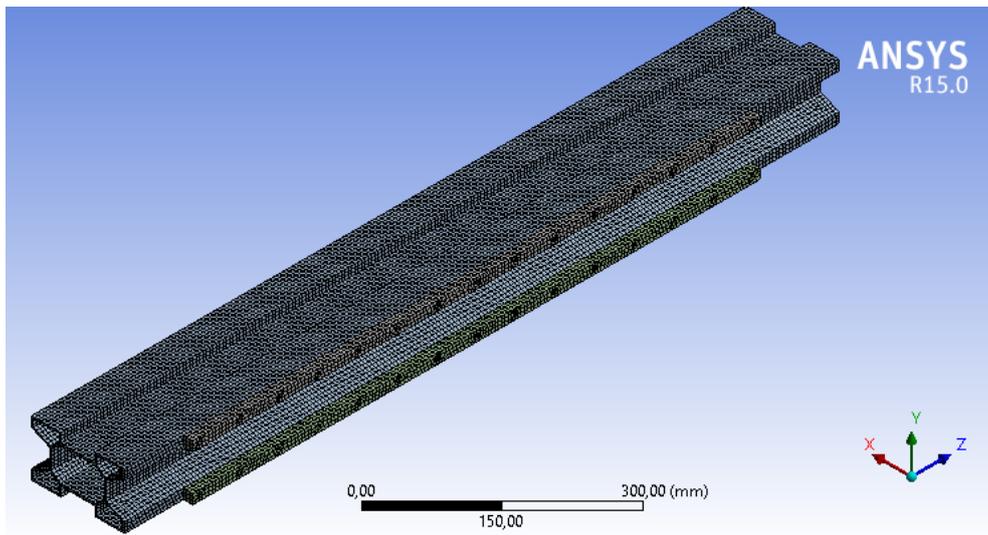


Figura 3.10: Malha de elementos hexagonais de 20 nós, resultante da convergência de malha.

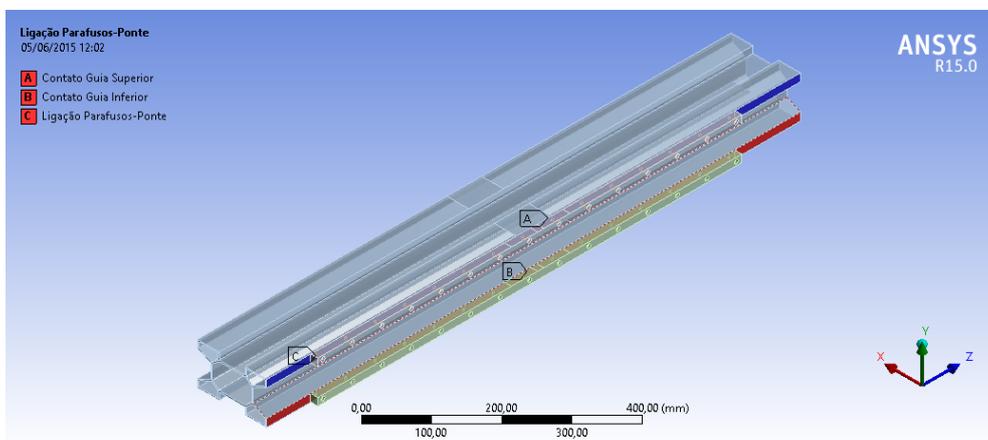


Figura 3.11: Conexões das guias lineares com a ponte.

A solução da simulação apresentou os seguinte resultados e podem ser vistos nas Figuras 3.13 e 3.14.

Deslocamento máximo: 0,016 mm

Tensão equivalente de Von Mises: 4,06 Mpa

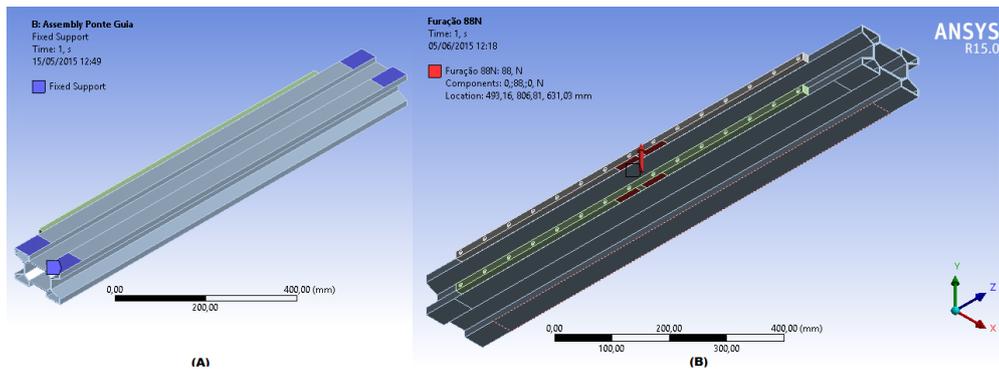


Figura 3.12: Condições de contorno onde (A) condição de apoio da viga e (B) aplicação da força de furação.

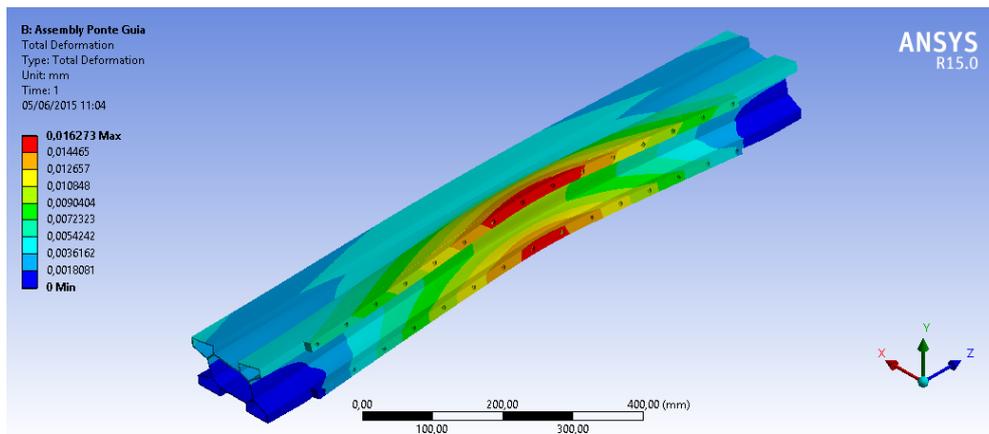


Figura 3.13: Campo de deslocamento do conjunto ponte e guia linear ao aplicar esforço de furação e condição de apoio.

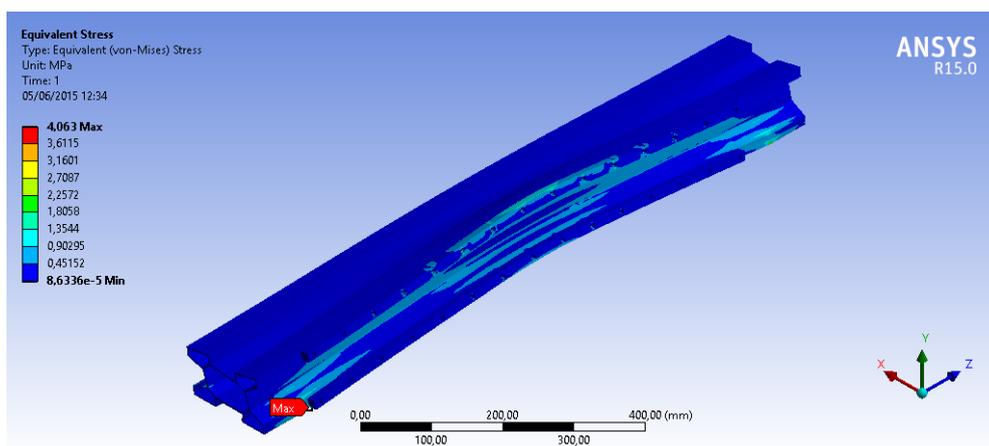


Figura 3.14: Campo de tensões do conjunto ponte e guia linear ao aplicar esforço de furação e condição de apoio.

Conclui-se desta análise que a deflexão está dentro do limite aceitável, uma vez que a flecha é 67250

vezes menor do que o comprimento da viga; e que as tensões na viga e na ponte não são preocupantes para a força atuante, dando valores muito abaixo de tensões de escoamento de alumínio e aços mais comuns no mercado.

3.3.2.3 Rigidez Torsional - Avanço em X

A rigidez torcional será avaliada para dois casos: um quando a fresadora está realizando uma usinagem avançando com força máxima em X e outro quando está avançando em Y. Onde X e Y são as coordenadas da máquina, já definidas anteriormente.

- Cenário Crítico

O cenário crítico para esta situação de operação é definido quando a máquina está realizando uma usinagem em considerações críticas (já definidas no cálculo de esforços de usinagem), com uma força de 114,6 N avançando em X com o carrinho do eixo Z posicionado exatamente no meio da ponte e spindle na posição mais baixa possível, que gera um braço de alavanca igual a 425 mm, da ponta da fresa até o centro da ponte. A Figura 3.15 representa de forma esquemática o cenário.

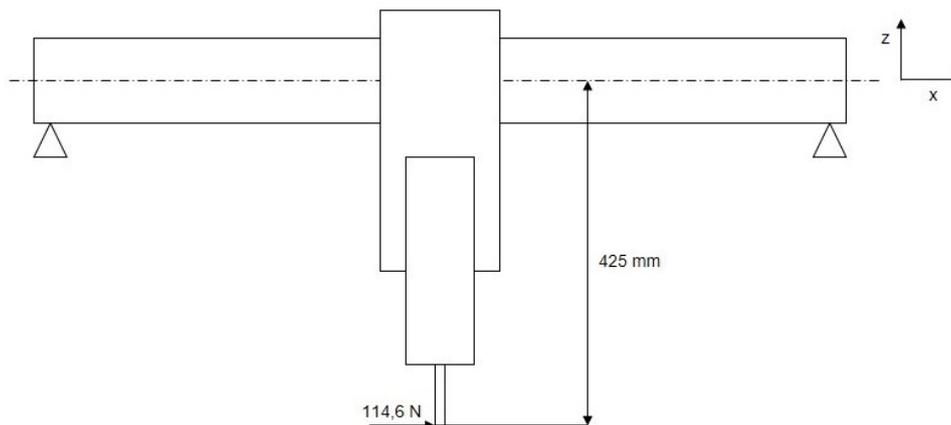


Figura 3.15: Representação esquemática do cenário crítico de operação avançando em x

Com a força de 114,6 N e o braço de alavanca de 425 mm, obtém-se um torque de 48,7 Nm.

- Simulação em Elementos Finitos

A simulação de elementos finitos para este caso de estudo seguiu as mesmas configurações de materiais, malha, conexões definidas na avaliação da rigidez flexional, diferindo apenas em uma das condições de contorno, uma vez que a condição de apoio se mantém a mesma (Figura 3.12 -A). A condição de contorno que difere nesta simulação é: aplicação de momento de 48,7 Nm, em torno do eixo Y da máquina, exatamente na linha de simetria entre as duas guias lineares (Figura 3.16)

A solução da simulação apresentou deslocamento máximo de 0,007 mm como resultado e pode ser visto na Figura 3.17 ; Este é um deslocamento bem pequeno considerando uma condição crítica de operação.

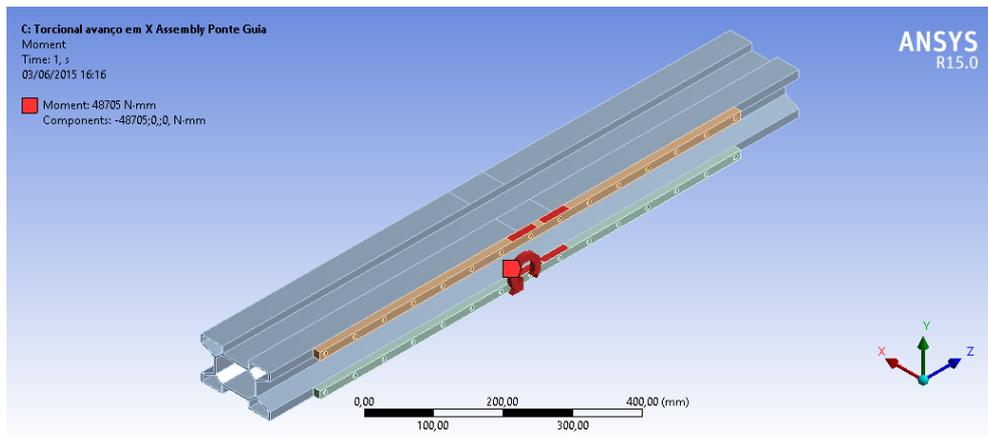


Figura 3.16: Condição de contorno de aplicação de momento para usinagem avançando em X

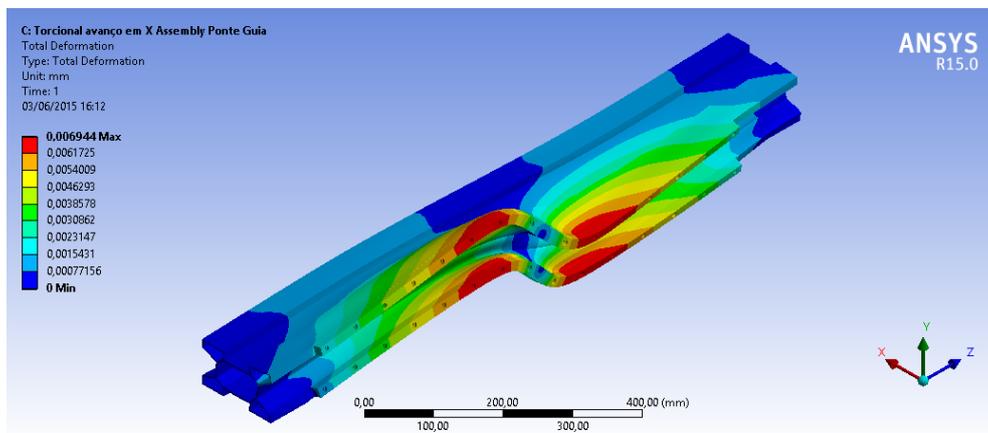


Figura 3.17: Campo de deslocamento do conjunto ponte e guia linear ao aplicar momento gerado por operação avançando em X

3.3.2.4 Rigidez Torsional - Avanço em Y

- Cenário Crítico

O cenário crítico para esta situação de operação é definido quando a máquina está realizando uma usinagem em considerações críticas (já definidas no cálculo de esforços de usinagem), com uma força de 114,6 N avançando em Y com o carrinho do eixo Z posicionado exatamente no meio da ponte e spindle na posição mais baixa possível, que gera um braço de alavanca igual a 425 mm, da ponta da fresa até o centro da ponte. Com a força de 114,6 N e o braço de alavanca de 425 mm, obtém-se um torque de 48,7 Nm.

- Simulação em Elementos Finitos

A simulação de elementos finitos para este caso de estudo seguiu as mesmas configurações de materiais, malha, conexões definidas na avaliação da rigidez flexional, diferindo apenas em uma das condições de contorno, uma vez que a condição de apoio se mantém a mesma (Figura 3.11 -A). A condição de contorno

é: Aplicação de momento de 48,7 Nm, em torno do eixo X da máquina, exatamente na linha de simetria entre as duas guias lineares.

A solução da simulação apresentou deslocamento máximo de 0,07mm como resultado e pode ser visto na Figura 3.18. Como já era esperado, este deslocamento foi ligeiramente maior que os demais, porém ainda é pequeno e aceitável.

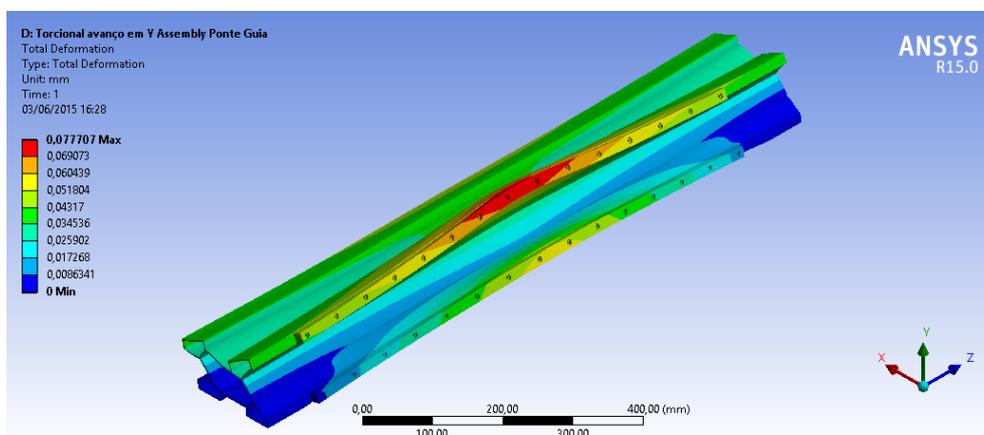


Figura 3.18: Condição de contorno de aplicação de momento para usinagem avançando em y

3.3.3 Avaliação das Guias Lineares

É discutido aqui se o conjunto de guias lineares que encontram-se na máquina atual suportam as cargas as quais serão submetidas quando estiverem nas condições mais críticas de trabalho. O objetivo é descobrir se será necessário a substituição de alguma dessas.

3.3.3.1 Especificação das guias lineares

Guia Linear é um sistema de movimentação baseado no princípio do rolamento, possui contato de ponto (esferas), gerando diversas vantagens como redução de atrito, suavidade na movimentação, alta precisão de posicionamento, a alta capacidade de carga, trabalho em alta velocidade, além de outros benefícios.

A máquina a ser transformada é dotada de duas séries de guias lineares, sendo um par de trilhos para cada tipo de série, e cada trilho com dois carros. Um dos pares destinam-se à movimentação na direção de Y da ponte sobre as colunas laterais da máquina, e tem os trilhos parafusados na própria coluna, e carrinhos presos à ponte. O outro par destina-se à movimentação ao longo da direção X do carro de usinagem, e seus trilhos são parafusos ao longo do comprimento da ponte.

Ambas as guias são da fabricante NSK e tem códigos LY15AL e LS20AL respectivamente para guias da ponte e da coluna cujos dados técnicos mais detalhados fornecidos via catálogo pelo fabricante podem ser encontrados nos Anexo A1 a A4. A Tabela 3.4 informa cargas e comprimentos das guias.

Tabela 3.4: Carregamentos e comprimentos das guias lineares

	Guia LS	Guia LY
Carga Dinâmica (C)	8900 N	5950 N
Carga Estática (C₀)	17500 N	7300 N
Comprimento	930 mm	860 mm

3.3.3.2 Cálculo dos Carregamentos

O catálogo de guias lineares da NSK fornece fórmulas para cálculo dos carregamentos sofridos pelas guias para cada caso de arranjo. As Figura 4.8 e 3.20 apresentam as duas situações as quais estão montadas as guias da coluna e da ponte respectivamente.

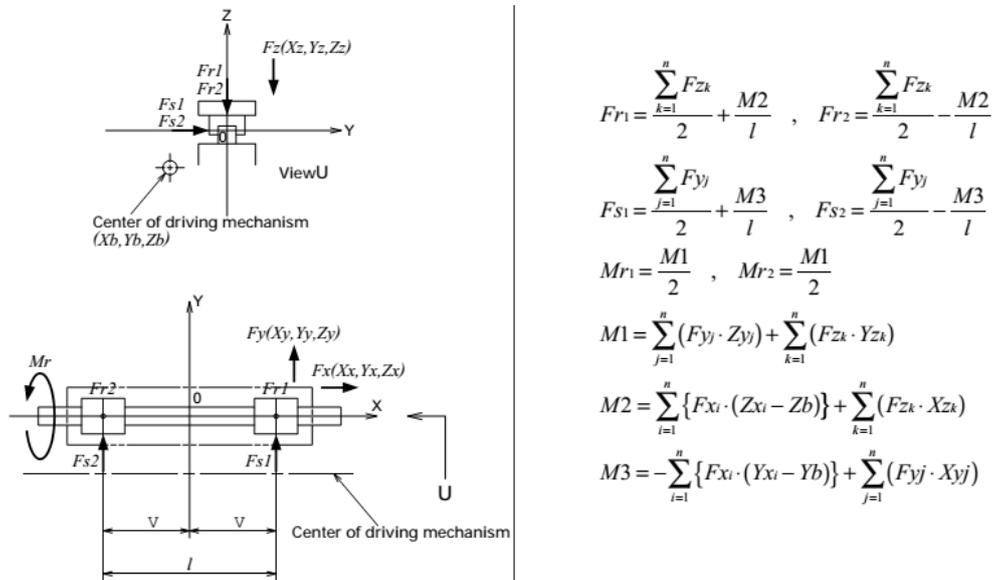


Figura 3.19: Esquemático e fórmulas para cálculos de esforços para arranjo das guias lineares das colunas [15]

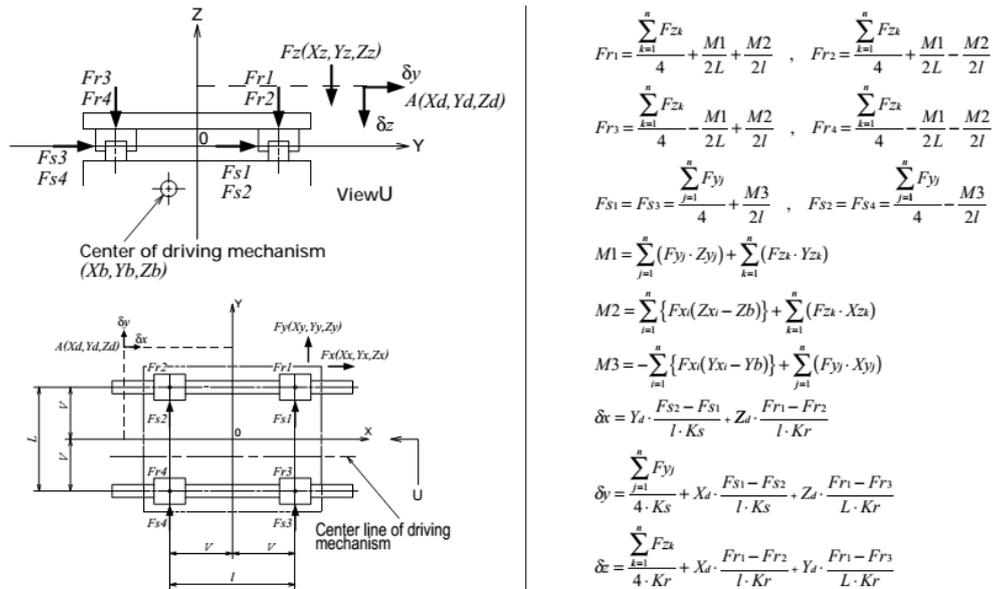


Figura 3.20: Esquemático e formulas para cálculos de esforços para arranjo das guias lineares da ponte [15]

O cenário considerado para cálculo dos esforços sofridos pelas guias lineares das colunas foi uma operação com o carro de usinagem posicionado do lado oposto à guia linear em estudo, e com ferramenta na posição mais baixa de z (350 mm da base ao centro da guia). Sendo esta usinagem realizada com força máxima, 114,6 N, interpolando igualmente os eixos de X e Y, ou seja, com componentes em X e Y iguais a 81,03 N. A Figura 3.21 a seguir ilustra o diagrama da situação seguindo mesma orientação de coordenadas das situações apresentadas pelo catálogo, citadas anteriormente.

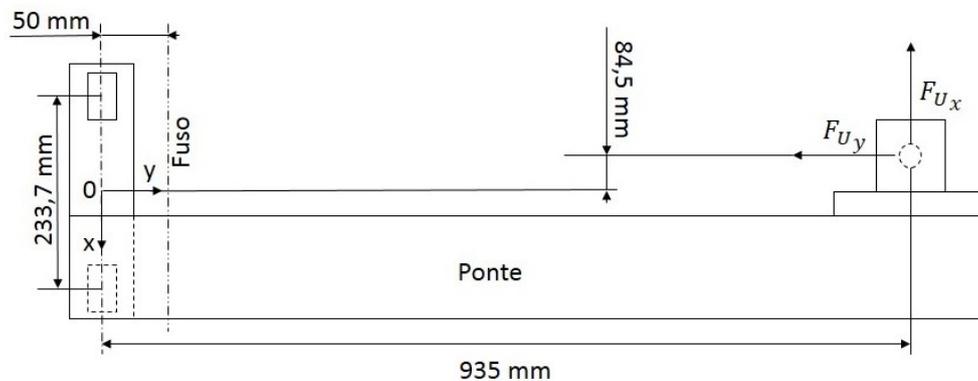


Figura 3.21: Diagrama em vista superior de arranjo das guias lineares das colunas em condição crítica

A Tabela 3.5 apresenta dos cálculos do carregamento utilizando as formulas da Figura 3.20 por carro da guia na situação descrita para as guias da coluna

Utilizando as forças do carro da guia que sofre o maior esforço (F_{r2} e F_{s2}) calcula-se, para este tipo de arranjo, os carregamentos necessários para obtenção da carga dinâmica equivalente conforme Figura 3.22

Portanto, como a guia linear em questão é do arranjo tipo 2 da Figura 3.22 e a especificação é LS tem-se que $\alpha = 50^\circ$ e valem as equações 3.10 à 3.12:

Tabela 3.5: Dados necessários e resultado dos cálculos de carregamento das guias lineares da coluna

l (m)	0,23
F_{U_x} (N)	81,03
F_{U_y} (N)	81,03
$M1$ (N.m)	28,36
$M2$ (N.m)	28,36
$M3$ (N.m)	-71,71
F_{r1} (N)	121,35
F_{r2} (N)	-121,35
F_{s1} (N)	-266,33
F_{s2} (N)	347,36
M_{r1} (N.m)	14,18
M_{r2} (N.m)	14,18

$$F_r = F_{r2} \quad (3.10)$$

$$F_{se} = F_{s2} \tan \alpha \quad (3.11)$$

$$F_{re} = \varepsilon_r \cdot M_r \quad (3.12)$$

onde, conforme catálogo presente no Anexo ε_r para guias LS20AL é igual a 127. Sendo assim tem-se que:

$$F_r = 121,35N$$

$$F_{se} = 144,62N$$

$$F_{re} = 1800,89N$$

Para o caso em que F_{re} é maior, o fabricante estabelece que a equação 3.19 para carga dinâmica equivalente.

$$F_e = 0.5F_r + 0.5F_{se} + F_{re} + 0.5F_{pe} + 0.5F_{ye} \quad (3.13)$$

Portanto a carga dinâmica equivalente para as guias LS é $F_e = 1933,87N$

Com a carga dinâmica equivalente calcula-se a vida da guia linear através da equação 3.14

$$L = 50 \times \left(\frac{f_H C}{f_W F_e} \right)^n, (km) \quad (3.14)$$

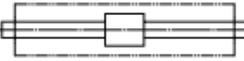
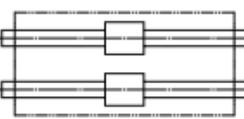
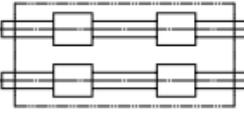
Pattern	Arrangement of linear guide	Loads necessary to calculate dynamic equivalent load					Dynamic equivalent load
		Load		Moment load			
		Up/down (vertical)	Right/left (lateral)	Rolling	Pitching	Yawing	
1		F_r	F_s	M_r	M_p	M_y	$F_r = F_r$ $F_{se} = F_s \cdot \tan \alpha$ $F_{re} = \epsilon_r \cdot M_r$ $F_{pe} = \epsilon_p \cdot M_p$ $F_{ye} = \epsilon_y \cdot M_y$ α : Contact angle LH, LS, LW Series $\alpha=50^\circ$ LA, LY, LU, LE Series $\alpha=45^\circ$
2		F_r	F_s	M_r			
3		F_r	F_s		M_p	M_y	
4		F_r	F_s				

Figura 3.22: Informações para cálculo de carga dinâmica de guias lineares [15]

Onde o coeficiente f_H (coeficiente de dureza) é igual a 1 devido à especificação de material desta guia; o fator f_W (fator de carga) será considerado 1,5 pois está no limiar entre operação com e sem impacto e vibração externa; n é igual a 3 para guia linear de esferas; e C é igual a 8900 N para a guia LS20AL. Isso nos fornece uma vida de $L = 1444,19$ km.

O carregamento estático equivalente também deve ser avaliado. Para guias lineares série LS em condições de carregamentos lateral e de tração combinados é definido pela equação 3.15:

$$P_0 = 1,34F_r + 1,59F_s \quad (3.15)$$

Utilizando os dados da Tabela 3.5 o carro que sofreu maior esforço obtém-se um carregamento estático equivalente igual a:

$$P_0 = 714,9N$$

Tem-se pela equação 3.16 que o carregamento estático permisivél

$$P_0 = \frac{C_0}{f_s} \quad (3.16)$$

onde o fator de carga estática admissível (f_s) será 2 pois está no limiar entre operação em condições normais e em condições de impacto e vibração.

O carregamento estático máximo para esta guia fornecido pelo fabricante é $C_0 = 17500N$, portanto o carregamento estático permisivél é 8750. Este é um valor bem superior ao carregamento estático equivalente calculado para a guia.

O cenário considerado para cálculo dos esforços sofridos pelas guias lineares da ponte foi uma operação com ferramenta na posição mais baixa de Z (425 mm da base ao centro da ponte). Sendo esta usinagem realizada com força máxima, 114,6 N, interpolando igualmente os eixos de X e Y, ou seja, com componentes em X e Y iguais a 81,03 N. A Figura 3.23 ilustra o diagrama da situação seguindo a mesma orientação de coordenadas das situações apresentadas pelo catálogo, citadas anteriormente.

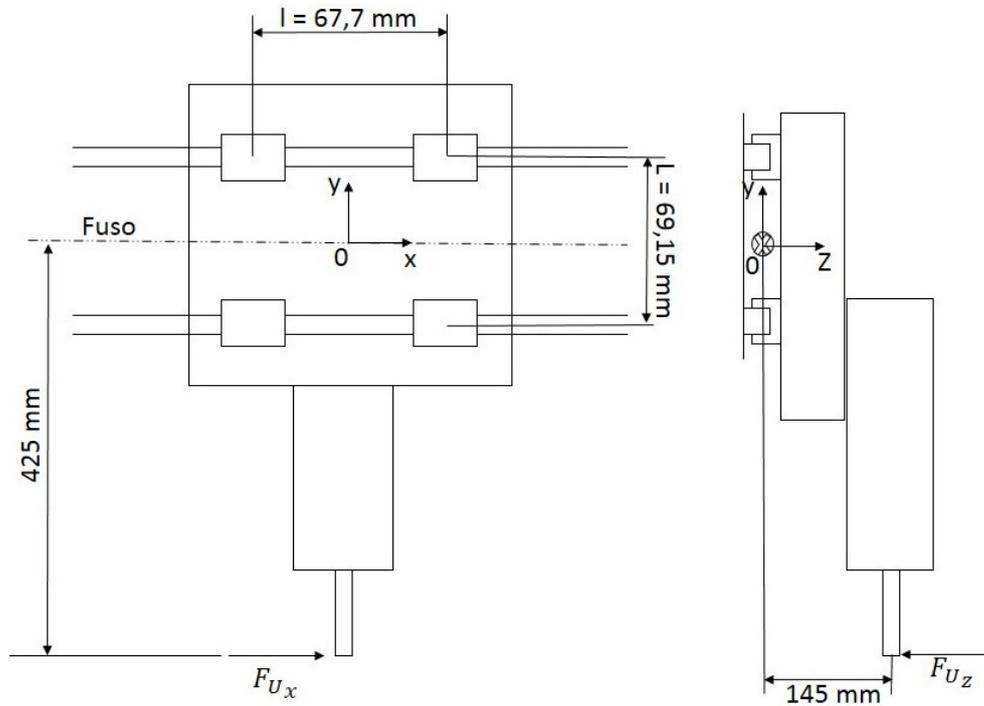


Figura 3.23: Diagrama em vista frontal e lateral do arranjo das guias lineares da ponte em condição crítica.

A Tabela 3.6 apresenta o resultado do cálculos dos carregamentos envolvidos na situação descrita para as guias da ponte.

Tabela 3.6: Dados necessários e resultado dos cálculos de esforços das guias lineares da coluna

l (m)	0,06915
L (m)	0,0677
F_{U_x} (N)	81,03
F_{U_z} (N)	81,03
$M1$ (N.m)	-34
$M2$ (N.m)	11,75
$M3$ (N.m)	34
F_{r1} (N)	-138,8049603
F_{r2} (N)	-312,364783
F_{r3} (N)	352,879783
F_{r4} (N)	179,3199603
F_{s1} (N)	251,1078287
F_{s2} (N)	-251,1078287
F_{s3} (N)	251,1078287
F_{s4} (N)	-251,1078287

Seguindo mesmo princípio anteriormente apresentado para as guias da coluna, calcula-se os carregamentos estáticos e dinâmicos. Para guia linear em questão, o arranjo é do tipo 4 da Figura 3.22 e na especificação das guias LY tem-se que $\alpha = 45^\circ$ e valem as equações 3.10 à 3.12:

$$F_r = F_{r3} \quad (3.17)$$

$$F_{se} = F_{s3} \tan \alpha \quad (3.18)$$

onde, conforme catálogo presente no Anexo ε_r para guias LS20AL é igual a 127. Sendo assim tem-se que:

$$F_r = 352,87N$$

$$F_{se} = 251,1N$$

Para o caso em que F_r é maior, o fabricante estabelece que a equação 3.19 para carga dinâmica equivalente.

$$F_e = F_r + 0.5F_{se} + 0.5Fre + 0.5F_{pe} + 0.5F_{ye} \quad (3.19)$$

Portanto a carga dinâmica equivalente para as guias LY é $F_e = 478,42N$

Para um coeficiente de dureza f_H (coeficiente de dureza) igual a 1 devido à especificação de material desta guia; o fator f_W (fator de carga) igual 1,5 pois está no limiar entre operação com e sem impacto e

vibração externa; n igual a 3 para guia linear de esferas; e C é igual a 5950 N para a guia LY15AL. Isso nos fornece uma vida calculada pela equação 3.14 de $L = 28498,31$ km.

O carregamento estático equivalente para guias lineares série LY é definido por:

$$P_0 = F_r + F_s \quad (3.20)$$

Utilizando os dados da Tabela 3.6 verifica-se o carro que sofreu maior esforço obtém-se um carregamento estático equivalente igual a: $P_0 = 604N$

Calcula-se o carregamento estático permíssível (Equação 3.16) utilizando o fator de carga estática admissível (f_S) 2, pois está no limiar entre operação em condições normais e em condições de impacto e vibração. Sabe-se que o carregamento estático máximo para esta guia fornecido pelo fabricante é $C_0 = 7300N$, portanto o carregamento estático permíssível é 3650 N. Este é um valor bem superior ao calculo para a guia

3.4 VALIDAÇÃO DA SIMULAÇÃO PELO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Esta sessão tem por objetivo validar a simulação pelo método de simulação de elementos finitos, e obter o erro percentual médio das simulações realizadas. Esta validação é feita por comparação de um ensaio de carga aplicada real sobre a ponte da máquina com uma simulação numérica sob as mesmas condições.

O ensaio com carga aplicada sobre a ponte foi feito colocando pesos padrões sobre a ponte posicionando-os em sua metade, variando de 5 kg a 25 kg com incrementos de 5 kg. Para cada ponto levantado foi medida a deflexão sofrida através de um relógio comparador. A Figura 3.24 apresenta o posicionamento do relógio comparador por meio de base magnética, Figura 3.24-(A), e a realização de uma das medidas, Figura 3.24-B.

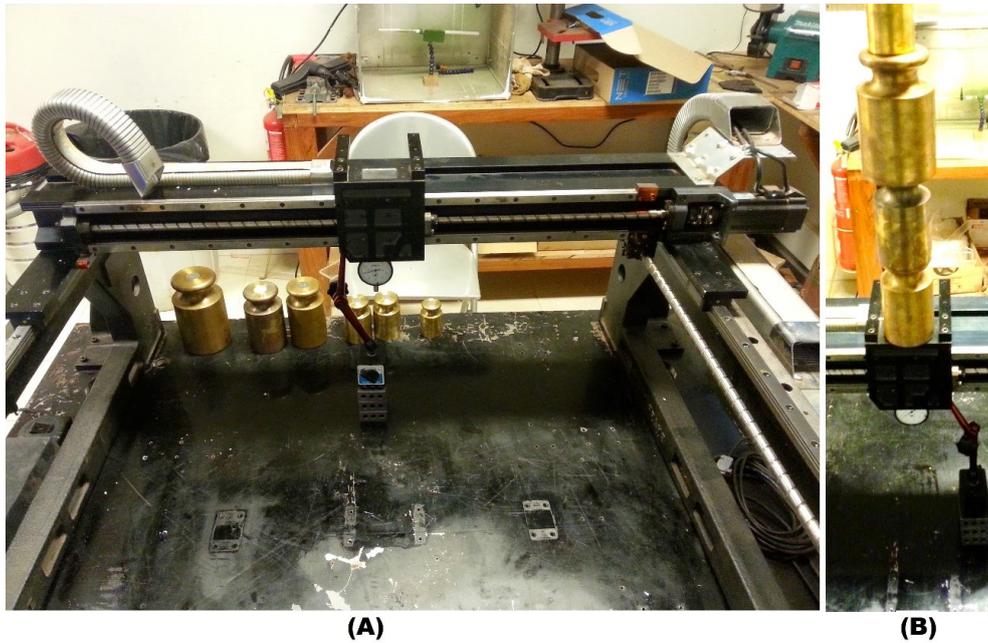


Figura 3.24: Ensaio de carga aplicada com posicionamento do relógio comparador (A) e realização de uma medida (B).

Na Tabela 3.7 estão as deflexões em μm para cada aplicação de carga.

Tabela 3.7: Cargas e deflexões no ensaio de carga aplicada sobre a ponte

Carga (kg)	Deflexão (μm)
5	10
10	20
15	30
20	40
25	50

A simulação em elementos finitos para a validação é feita nas mesmas condições que as simulações realizadas na sessão de rigidez da máquina, ou seja, foi feita sobre a montagem da ponte com as suas guias lineares, com mesmas especificações de materiais feitas anteriormente, apresentadas na Tabela 3.3. O elemento utilizado também mantém-se o mesmo, hexagonal de 20 nós, e malha convergida exatamente igual. Condições de conexão das guias com a ponte também se mantem.

Entre as condições de contorno, o apoio é realizado da mesma forma. A outra condição de contorno é a aplicação da força correspondente a cada medição realizada no ensaio com carga aplicada. Ou seja, cada ponto gera uma análise, com forças 50 N a 250 N, com incrementos de 50 N. A força é aplicada na área equivalente ao apoio dos quatro carrinhos na guia linear. A Figura 3.25 mostra o resultado para o campo de deformações para a força de 250 N aplicada. E a Tabela 3.8 logo em seguida apresenta as deflexões para caso real e numérico e o erro percentual da diferença desses dois valores.

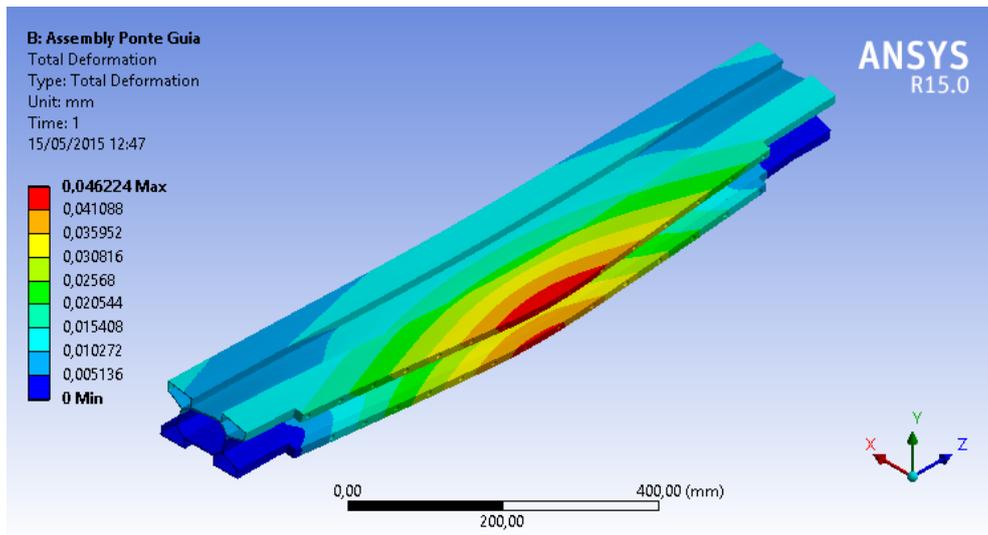


Figura 3.25: Campo de deslocamento do conjunto ponte e guia linear ao aplicar força de 250 N para validação da simulação pelo método dos elementos finitos

Tabela 3.8: Deflexões para caso real e numérico e o erro percentual

Carga (kg)	Deflexão Real (μm)	Deflexão Numérica (μm)	Erro Percentual
5	10	9,2	8,00%
10	20	18,5	7,50%
15	30	27,7	7,67%
20	40	36,9	7,75%
25	50	46,2	7,60%

Com os valores de deflexões para caso real e numérico foi feito um gráfico, que está apresentado na Figura 3.26.

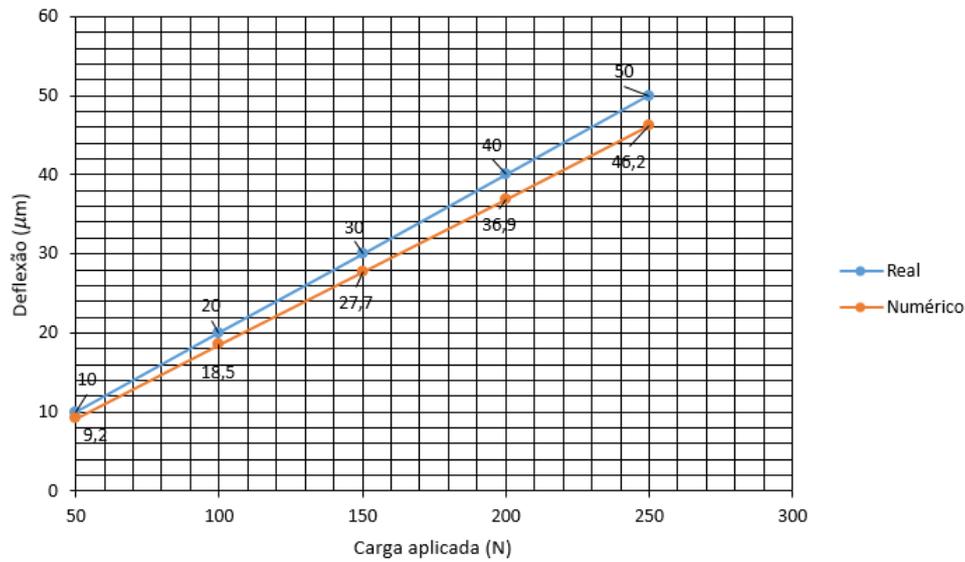


Figura 3.26: Curvas de deflexão para casos real e numérico por carga aplicada

O erro percentual por carga aplicada, é representado no gráfico de barras da Figura 3.27.

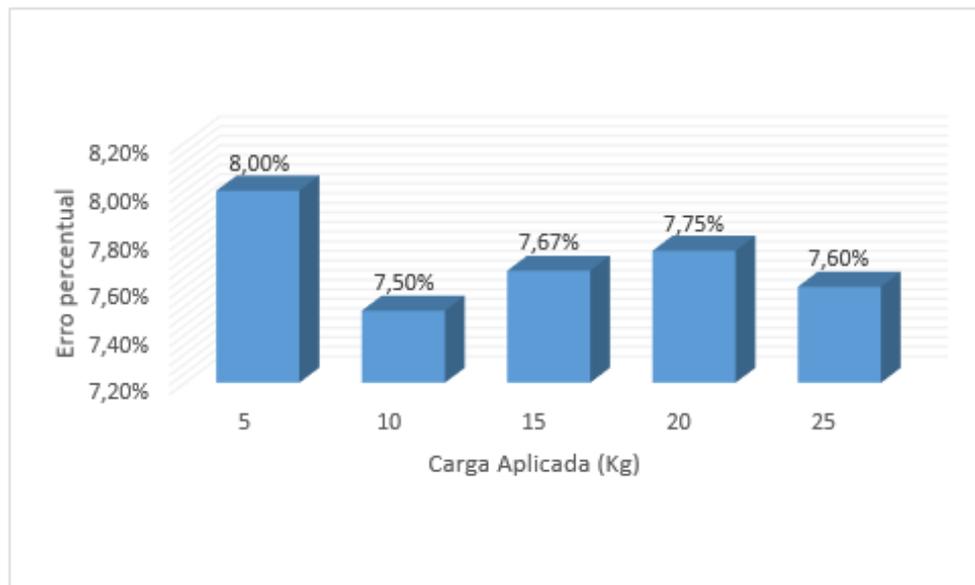


Figura 3.27: Erro percentual comparativo da simulação numérica em relação à real para carga aplicada

Extraindo a média e desvio padrão desses erros observa-se para simulação tem erro médio de $7,7\% \pm 0,19\%$. De acordo com [39] o erro comparativo da simulação pelo método dos elementos finitos e a análise experimental devem ser menores que 15%.

4 PROJETO DE DESENVOLVIMENTO

4.1 CARRO DE USINAGEM

O carro de usinagem tem função de transportar o spindle por todo o volume de usinagem da máquina. Neste capítulo apresenta-se o projeto desta estrutura. São abordados seleção e dimensionamento de componentes, detalhe e funcionamento e aspectos de montagem e fabricação. A Figura 4.1 oferece um panorama geral do projeto em questão.

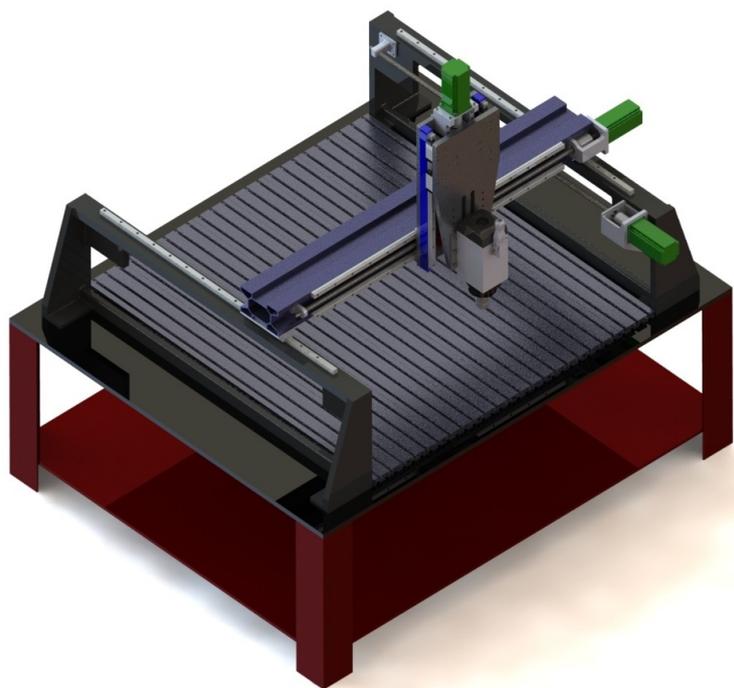


Figura 4.1: Panorama geral

4.1.1 Peças e Funcionamento

4.1.1.1 Identificação das Peças

O carro de usinagem contém componentes selecionados no mercado e peças projetadas. Para entendimento do funcionamento é importante que sejam identificadas as peças projetadas, tanto em relação à nomenclatura quanto à posição. A Figura 4.2 representa o carro de usinagem com alguns componentes em vista explodida e identificados por balões numerados. A Figura 4.3 apresenta cada peça isoladamente.

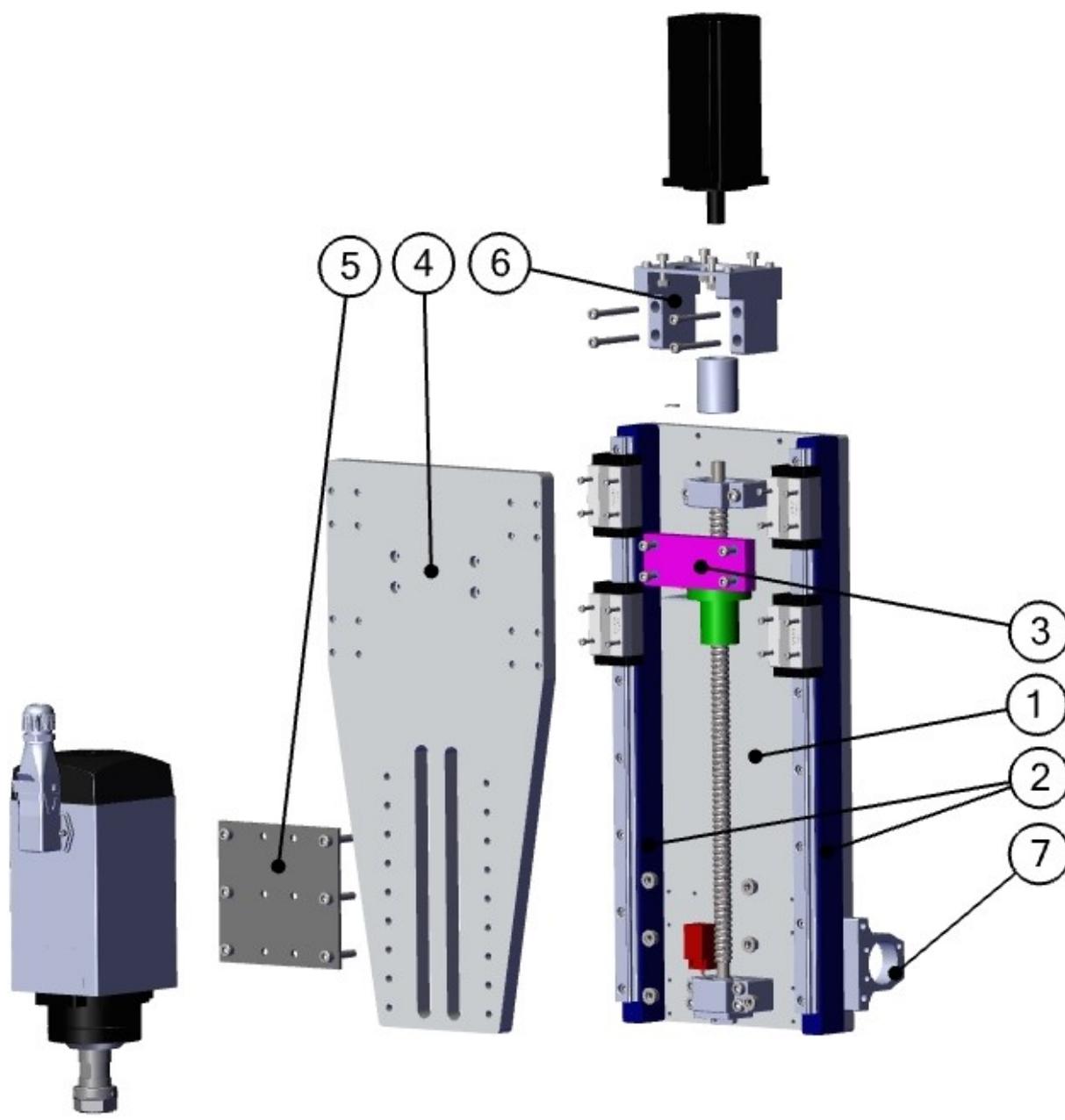


Figura 4.2: Vista explodida do carro de usinagem com as peças projetadas indicadas por balões numerados

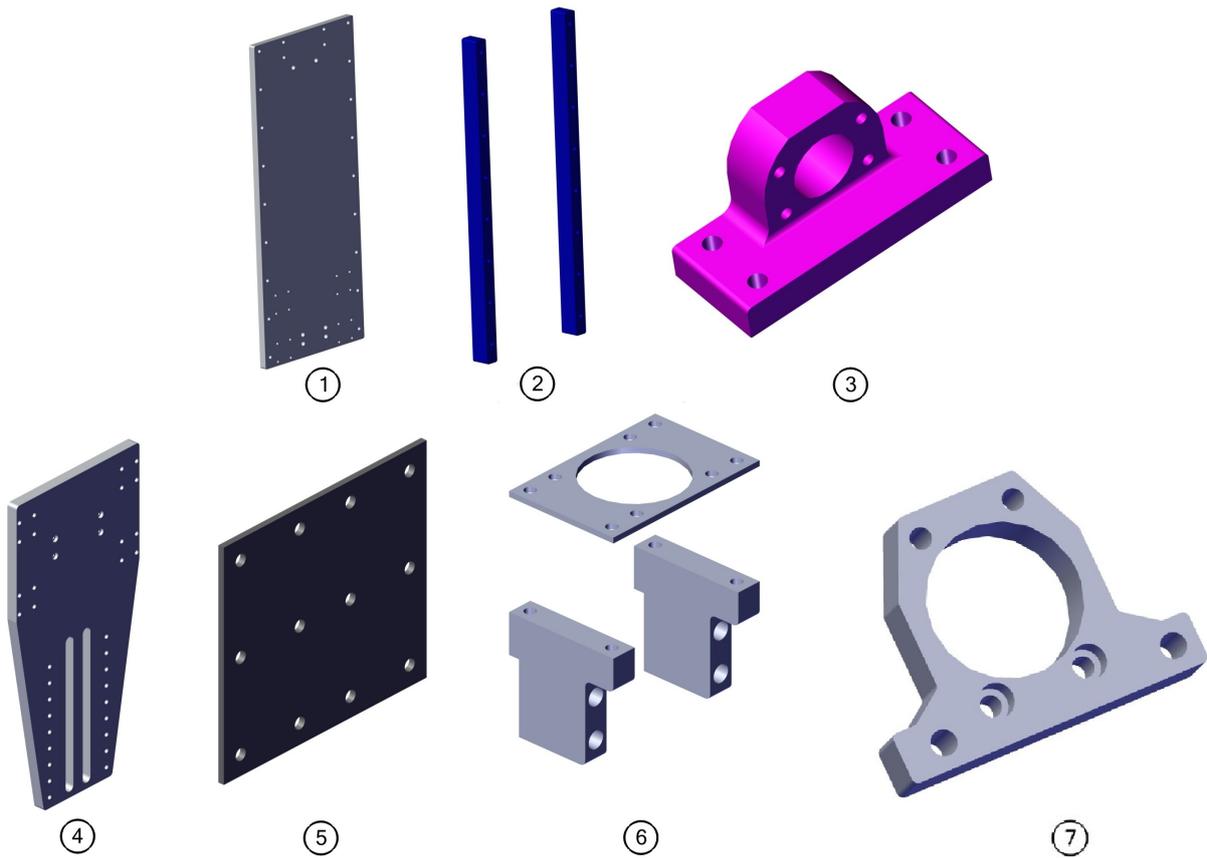


Figura 4.3: Peças projetadas do carro de usinagem isoladas

A nomenclatura empregada está indicada na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Identificação e nomenclatura adotada para peças projetadas do carro de usinagem

Nº da Peça	Nome
1	Base Estrutura
2	Apoio Guia Linear
3	Suporte Castanha Eixo Z
4	Suporte Spindle
5	Chapa Spindle
6	Flange do Motor
7	Suporte da Castanha Eixo X

4.1.1.2 Morfologia e Funcionamento

A estrutura do carro de usinagem necessita de dois graus de liberdade, um sendo o movimento vertical do suporte do “spindle” na direção do eixo Z e outro sendo o movimento de toda a estrutura na direção do eixo X. O primeiro movimento é permitido pelas guias lineares e ocasionado pelo fuso, sendo acionado pelo servo motor, ambos instalados na própria da estrutura do carro de usinagem. O segundo funciona

da mesma maneira, porém com fuso e guias lineares instalados na ponte. A Figura 4.4 mostra o carro de usinagem montado nas guias lineares da ponte.

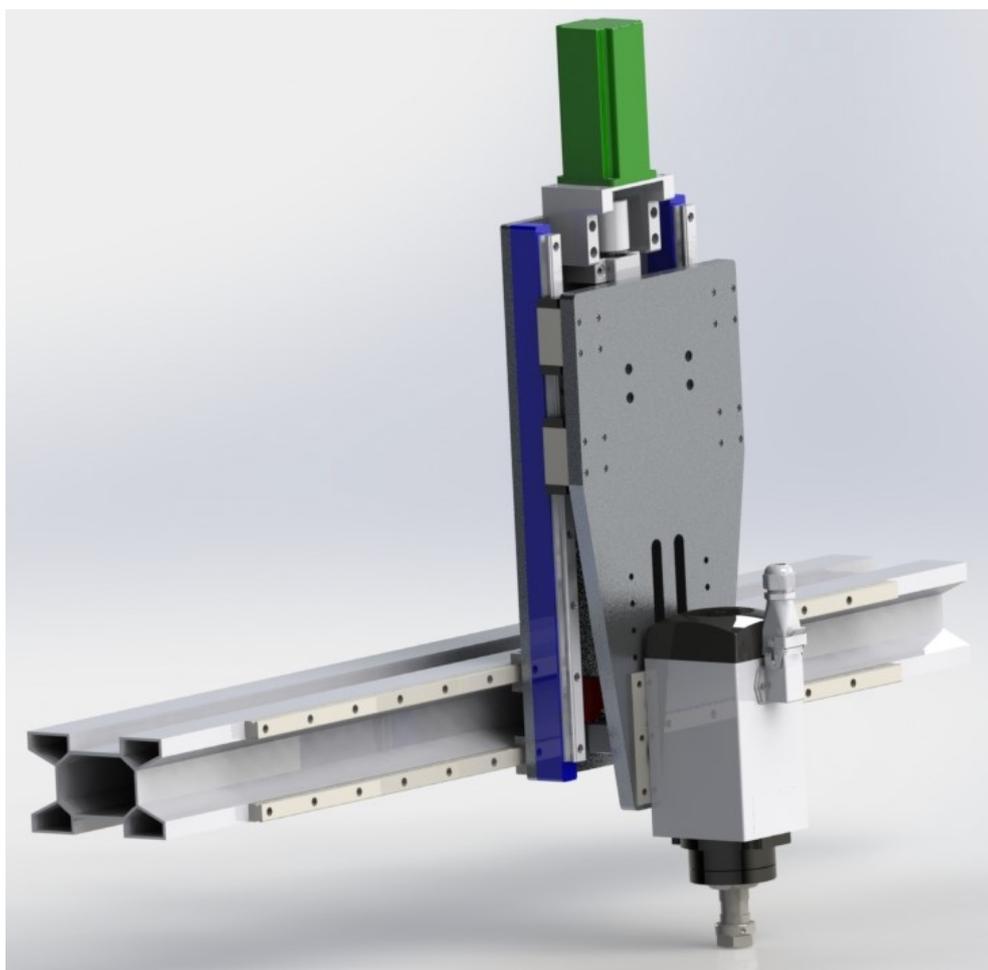


Figura 4.4: Carro de usinagem montado na ponte da máquina

Está demonstrada na Tabela 4.2 as funções de cada peça projetada do carro de usinagem e especificação do material que cada peça será fabricada.

Tabela 4.2: Funções e materias das peças projetadas do carro de usinagem

Peça	Função	Material
Base Estrutura	Parte principal da estrutura do carro de usinagem, pois todos os componentes estão ligados a ela. Conecta o carro de usinagem às guias lineares da ponte.	ASTM 7075 T651
Apoio Guia Linear	Posiciona os trilhos das guias lineares do eixo Z, dando a altura necessária para caber fuso e componentes relacionados entre a Base Estrutura e Suporte Spindle	ASTM 7075 T651
Suporte Castanha Eixo z	Permite a movimentação do Suporte Spindle na direção do eixo X. Acopla a castanha do fuso do eixo Z ao Suporte Spindle.	ASTM 7075 T651
Suporte Spindle	Permite o grau de liberdade de usinagem para o spindle (fixado à chapa) na direção do eixo Z. Fixa-se aos patins das guias lineares do eixo Z. Permite regulagem de altura do spindle através dos furos contidos na chapa.	ASTM 7075 T651
Chapa Spindle	É aparafusada no spindle e no Suporte Spindle. Tem como função permitir de forma mais prática a regulagem de altura do spindle no Suporte Spindle.	AISI 1020
Flange do Motor	Posiciona o servo motor do eixo Z, alinhando seu eixo ao acoplamento e fuso.	ASTM 7075 T651
Suporte Castanha Eixo X	Acopla a castanha do fuso do eixo X à Base Estrutura, permitindo o movimento do carro de usinagem neste eixo.	ASTM 7075 T651

4.1.2 Componentes Mecânicos e Dimensionamento

Apresenta-se a seguir os componentes mecânicos selecionados, juntamente com suas características principais e ilustrações, além do dimensionamento destes e da estrutura do carro de usinagem.

4.1.2.1 Guias Lineares

Guias lineares são elementos de máquinas que possibilitam alinhamento e suavidade no movimento dos eixos de uma máquina quando aliado ao fuso de esferas recirculantes.

Para dimensionamento deste componente mecânico priorizou-se a disponibilidade no mercado nacional. Portanto, selecionou-se o menor tamanho de guia linear dentre as disponíveis na Kalatec, que foram as guias lineares modelo TRH15VL da TBI Motion, apresentada na Figura 4.5. Estas guias possuem características de movimento suave, alta estabilidade, fácil instalação além de serem recomendadas pelo fabricante para máquinas CNC. A função principal deste componente é permitir o deslocamento na direção do eixo Z da estrutura que carrega o “spindle”. Na Figura 4.6 encontram-se especificações técnicas fornecidas pelo fabricante [A5].



Figura 4.5: Guia linear THR15VL da TBI Motion para movimento do carro de usinagem no eixo z

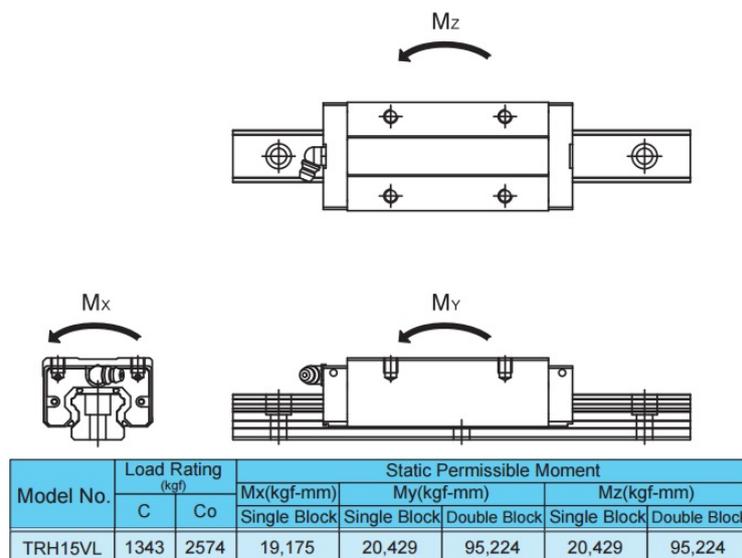


Figura 4.6: Especificações técnicas da guia linear THR15VL da TBI Motion [A5]

Para dimensionar as guias lineares, determinou-se as forças envolvidas para o pior cenário de operação, mostrado na Figura (4.7, que ocorre com “spindle” em sua posição mais baixa, com uma ferramenta com 50 mm comprimento exposto.

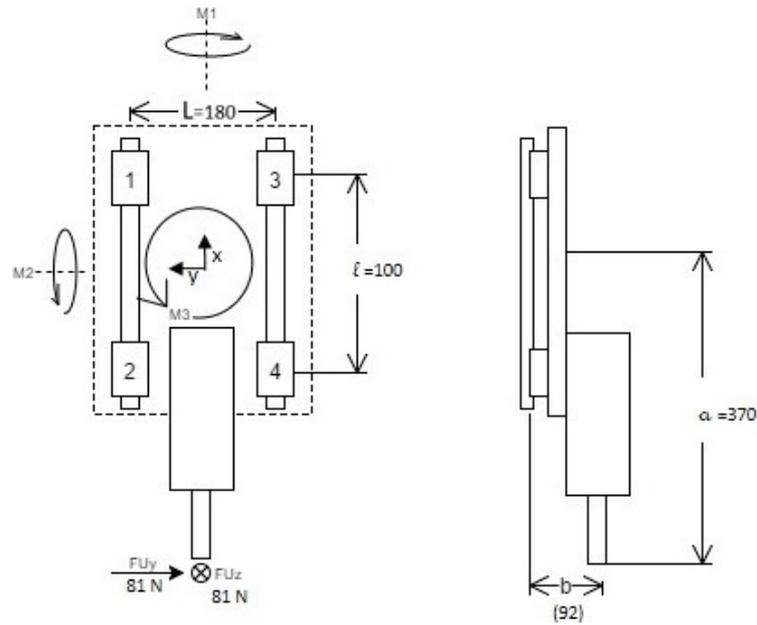
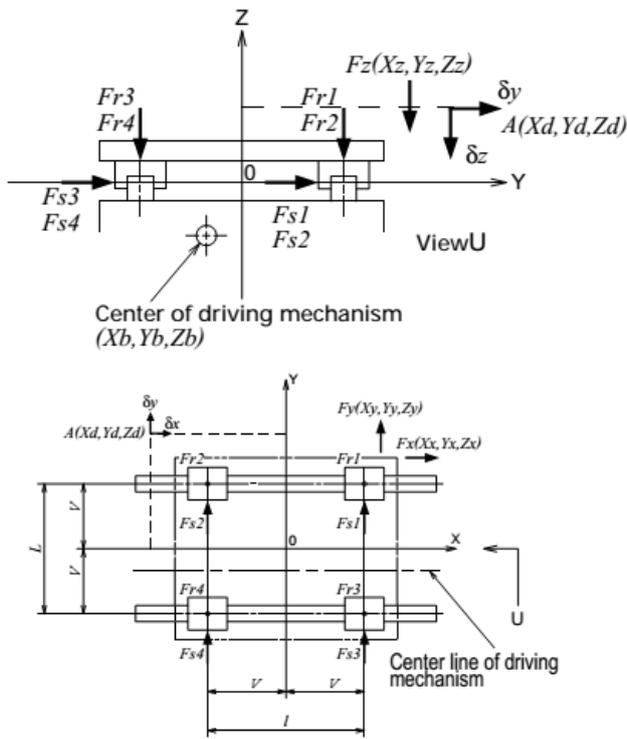


Figura 4.7: Diagrama representando cenários crítico de operação e momentos envolvidos gerados pelas forças atuantes.

Para obter as forças atuantes nos patins da guia linear empregou-se o mesmo método aplicado para avaliação das guias lineares na seção 3.3.3.2, rerepresentado na Figura 4.8.



$$F_{r1} = \frac{\sum_{k=1}^n F_{zk}}{4} + \frac{M1}{2L} + \frac{M2}{2l}, \quad F_{r2} = \frac{\sum_{k=1}^n F_{zk}}{4} + \frac{M1}{2L} - \frac{M2}{2l}$$

$$F_{r3} = \frac{\sum_{k=1}^n F_{zk}}{4} - \frac{M1}{2L} + \frac{M2}{2l}, \quad F_{r4} = \frac{\sum_{k=1}^n F_{zk}}{4} - \frac{M1}{2L} - \frac{M2}{2l}$$

$$F_{s1} = F_{s3} = \frac{\sum_{j=1}^n F_{yj}}{4} + \frac{M3}{2l}, \quad F_{s2} = F_{s4} = \frac{\sum_{j=1}^n F_{yj}}{4} - \frac{M3}{2l}$$

$$M1 = \sum_{j=1}^n (F_{yj} \cdot Z_{yj}) + \sum_{k=1}^n (F_{zk} \cdot Y_{zk})$$

$$M2 = \sum_{i=1}^n \{F_{xi}(Z_{xi} - Z_b)\} + \sum_{k=1}^n (F_{zk} \cdot X_{zk})$$

$$M3 = -\sum_{i=1}^n \{F_{xi}(Y_{xi} - Y_b)\} + \sum_{j=1}^n (F_{yj} \cdot X_{yj})$$

$$\delta x = Y_d \cdot \frac{F_{s2} - F_{s1}}{l \cdot K_s} + Z_d \cdot \frac{F_{r1} - F_{r2}}{l \cdot K_r}$$

$$\delta y = \frac{\sum_{j=1}^n F_{yj}}{4 \cdot K_s} + X_d \cdot \frac{F_{s1} - F_{s2}}{l \cdot K_s} + Z_d \cdot \frac{F_{r1} - F_{r3}}{L \cdot K_r}$$

$$\delta z = \frac{\sum_{k=1}^n F_{zk}}{4 \cdot K_r} + X_d \cdot \frac{F_{r1} - F_{r2}}{l \cdot K_r} + Y_d \cdot \frac{F_{r1} - F_{r3}}{L \cdot K_r}$$

Figura 4.8: Esquemático e fórmulas para cálculos de forças atuantes para arranjo das guias lineares do carro de usinagem.

A Tabela 4.3 mostra os resultados de forças e momentos calculados.

Tabela 4.3: Forças e momentos nas guias lineares do carro de usinagem

M1	7,45 Nm
M2	29,9 Nm
M3	29,9 Nm
F_{r1}	190,45 N
F_{r2}	-108,54 N
F_{r3}	149,06 N
F_{r4}	-149,94 N
$F_{s1}=F_{s4}$	163 N
$F_{s2}=F_{s3}$	13,5 N

- Cálculo de Carga Dinâmica Equivalente

A carga equivalente é calculada segundo a equação 4.1

$$P_E = X P_R + Y P_T \quad (4.1)$$

onde P_R é carga radial e P_T é a carga transversal (lateral).

O fatores X e Y para as guias lineares são obtidos utilizando o mesmo método empregado para ro-

lamentos rígidos de esferas. A Figura 4.9 apresenta uma tabela, fornecida pela NSK, para obtenção dos fatores para diferentes razões de forças axiais F_a (equivalente á F_S para guias lineares) por capacidade de carga estática.

$\frac{C_{0r}}{F_a}$	e	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$	
		X	Y	X	Y
5	0.35	1	0	0.56	1.26
10	0.29	1	0	0.56	1.49
15	0.27	1	0	0.56	1.64
20	0.25	1	0	0.56	1.76
25	0.24	1	0	0.56	1.85
30	0.23	1	0	0.56	1.92
50	0.20	1	0	0.56	2.13
70	0.19	1	0	0.56	2.28

Figura 4.9: Fatores e formulas para cálculos de cargas de guias lineares

Foram calculadas as razões $\frac{C_0}{F_S}$ (equivalente á $\frac{C_0}{F_a}$ da Figura 4.9) para todos os quatro patins das guias lineares, e então obteve-se os fatores X e Y para cada patim. Os valores calculados estão apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4: Cálculo dos fatores e cargas dinâmicas equeivalentes para todos os patins das guias lineares.

Patim	$\frac{F_S}{F_R}$	X	Y	P_E
1	0,86	0,56	2	432,65 N
2	0,12	1	0	108,54 N
3	0,09	1	0	149,06 N
4	1,09	0,56	2	409,47 N

A maior carga dinâmica equivalente, dentre as calculadas para os quatro patins, é a considerada para cálculos da vida da guia linear, que no caso foi a carga do do patim número um, cujo valor é: $P_E = 432,65N$

- Cálculos da Vida das Guias Lineares

A vida das guias lineares é calculada segundo a equação 3.14(apresentada na seção 3.3.3.2).

$$L = 50 \times \left(\frac{f_H C}{f_W F_e} \right)^n \quad (km)$$

Os fatores utilizados para cálculo da vida são especificados na Tabela 4.5

Tabela 4.5: Fatores para cálculo da vida das guias lineares

Fator	Descrição	Valor	Observação
f_c	Fator de contato	0,66	Depende da quatidade de patins utilizados, no caso 4
f_w	Fator de Velocidade	1,5	Para velocidades medias (1 a 2 m/s) e vibração-impacto moderado.

Sendo assim, a vida calculada é $L = 1,33 \times 10^{19} \text{ km}$. Isso permite concluir que a guia linear está superdimensionada, porém é a melhor opção, dado que priorizou-se à disponibilidade no mercado e que a seleção foi feita para a menor dimensão disponível.

4.1.2.2 Fuso de Esferas Recirculantes

O fuso de esferas recirculantes, utilizado no projeto do carro de usinagem, é um dado de entrada uma vez que a SMT em questão possui este componente com dimensões e especificações técnicas apropriadas para atender aos requisitos deste trabalho. Possui Capacidade de Carga Dinâmica C_a de 535 N [A6] e um Fator de Carga $f_w = 2,5$ para uma condição de trabalho com impactos e vibrações [33], cujo resultado da vida do fuso L pode ser visto na equação 4.2, com a carga axial de $F_a = 114,58 \text{ N}$.

$$L = \sqrt[3]{C_a / f_w \cdot F_a} \cdot 10^6 = 6279.10^6 \text{ rev} \quad (4.2)$$

Que equivale a uma vida de aproximadamente 31400 km. Para fresadora em questão é necessário que o fuso tenha uma vida de 61,5 km, sendo portanto possível a reutilização deste componente, tornando ainda mais viável a conversão da SMT em fresadora CNC.

O fuso de esferas recirculantes disponibilizado é da marca NSK, modelo W1405, com 14 mm de diâmetro e passo de 5 mm, com um rasgo de lubrificação que acompanha a rosca do fuso, garantindo que as esferas estejam sempre lubrificadas. As esferas utilizadas na castanha recirculante são de 1/8 polegadas de diâmetro. É possível ver uma ilustração deste componente na Figura 4.10.



Figura 4.10: Fuso disponível pela empresa

Tendo em vista a falta de equipamentos para alcançar um diagnóstico preciso do desgaste do fuso, optou-se por fazer uma análise visual, conforme orientado pela referência [34], que permite identificar as quatro falhas mais comuns em fusos, como pode ser observado na Figura 4.11.

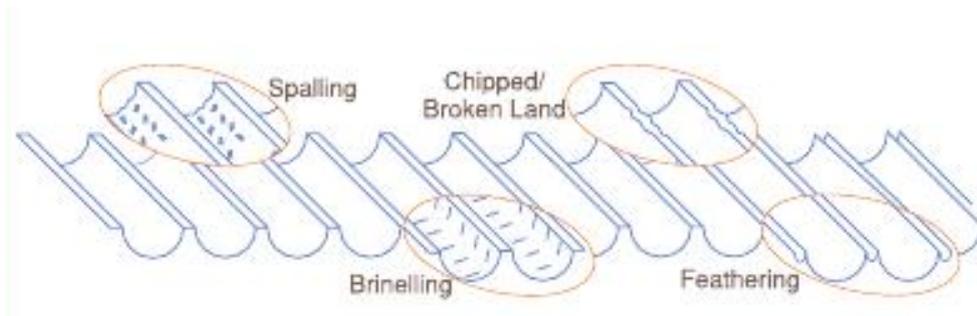


Figura 4.11: 4 tipos de falhas mais comuns em fusos [34]

Das quatro falhas mostradas na Figura 4.11, a “brinelling” e a “spalling” são as duas mais comuns. “Brinelling” ocorre devido à carga excessiva no fuso, proveniente de um dimensionamento mal feito, alterações de projeto ou mau uso da máquina. Esta falha pode ser identificada por pequenos riscos longitudinais na pista do fuso de esferas recirculantes.

A falha do tipo “spalling” é causada pela inserção de contaminantes na pista do fuso, que acabam entrando na castanha e comprimindo as esferas, fazendo-as travarem ou amassarem. Pode ser causado também por falta de lubrificação ou por raspadores defeituosos na castanha.

A “chipping land” é causado pela má lubrificação ou entrada de impurezas na castanha do fuso, devido ao uso de óleo de má qualidade ou raspadores estragados. Este defeito faz com que as esferas não fiquem no local que deveriam, causando vibração e erros dimensionais na peça a ser usinada.

Já a falha “feathering” sinaliza o excesso de uso do fuso, ou seja, que sua vida útil foi excedida, levando a um desgaste dos sulcos deste componente.

Ao efetuar esta inspeção visual, não verificou-se nenhum indício dos quatro tipos de falha mais comuns, o que trouxe maior segurança para utilizar o fuso já disponível na Avixy Tecnologia LTDA.

4.1.2.3 Parafusos

Os parafusos foram dimensionados para resistência estática e fadiga, utilizando sempre a condição crítica de carregamento no parafuso, que ocorre quando a fresa está efetuando operação de corte em alumínio com o eixo X se movendo a uma velocidade de 1350 mm/min e 300 mm/min no sentido negativo do eixo Z (de cima para baixo). Este movimento resulta em uma força de 114,58 N em X e 88 N em Z.

Todos os casos aqui analisados tratam-se de junções de cisalhamento com carregamento excêntrico. Para estes tipos de carregamento é necessário localizar o centro de movimento relativo entre as duas peças a serem fixadas. Como todos os parafusos analisados possuem distribuição simétrica, utilizou-se a hipótese de que o ponto central de rotação situa-se no centróide de área da seção transversal da distribuição dos parafusos.

Nos esquemáticos apresentados neste capítulo, o ponto O representa o centróide do conjunto de parafusos, sabendo que para cada par de peças fixadas, todos os parafusos possuem o mesmo diâmetro. A carga total a qual cada parafuso é submetido é calculado em três passos: no primeiro deles, a força resultante de

cisalhamento primário, gerado pelas forças de corte nos eixos X e Y, são igualmente distribuídas entre os parafusos.

O segundo passo é calcular as forças devido à carga de momento, gerado pelo carregamento excêntrico, o que leva a um cisalhamento secundário. O cálculo foi feito utilizando a equação 4.3, onde $r_1, r_2, r_3...$ são as distâncias radiais entre o centróide e o centro do furo do parafuso.

$$M_1 = F_1.r_1 + F_2.r_2 + F_3.r_3 \quad (4.3)$$

Todos os parafusos cujas distâncias radiais são iguais, recebem cargas de mesmo valor, porém em direções diferentes, estando sempre perpendiculares à linha radial entre o centróide e o furo do parafuso.

O terceiro passo é fazer a soma vetorial das cargas devido ao cisalhamento primário (primeiro passo) e as cargas devido ao momento (cisalhamento secundário), obtendo assim uma força resultante para cada parafuso. Dessa forma encontra-se o parafuso mais solicitado e faz-se o dimensionamento para esse componente.

O primeiro conjunto de parafuso a ser analisado, é o da chapa do spindle, em que os parafusos estão dispostos conforme pode ser visto na Figura 4.12.

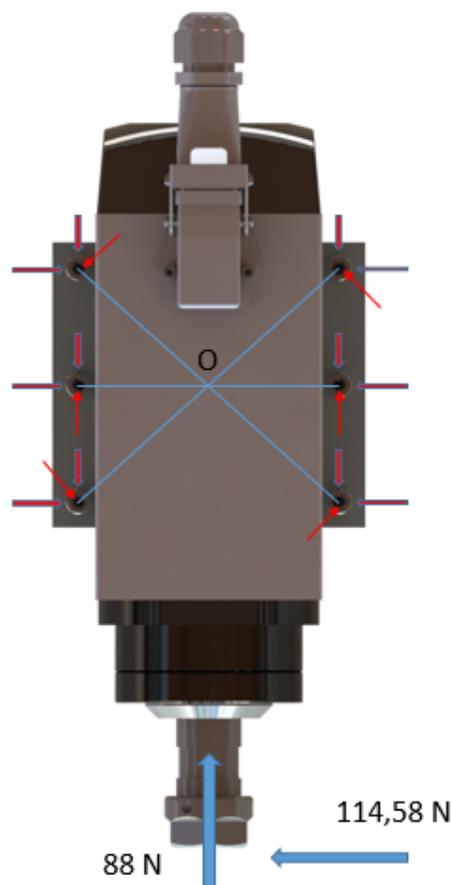


Figura 4.12: Esforços nos parafusos da chapa do spindle

Nesse arranjo, após realizar as etapas um e dois do processo para definir as reações nos parafusos,

verificou-se que o parafuso mais solicitado é o superior esquerdo, com as forças dispostas conforme a Figura 4.13.

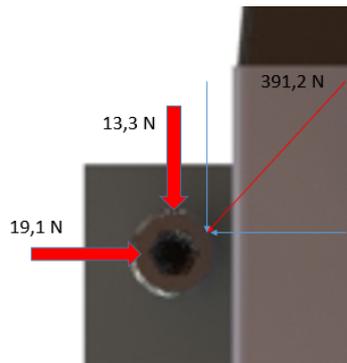


Figura 4.13: Esforços no parafuso mais solicitado da chapa do spindle

Para concluir os esforços neste ponto, foi realizado o terceiro passo, fazendo a soma vetorial dos esforços ilustrados na Figura 4.13. A força resultante neste ponto é de $F_{max} = 392,7 \text{ N}$. Com esse resultado é possível perceber uma pequena diferença entre a reação proveniente do momento e das forças primárias, de forma que essas forças são quase desprezíveis.

Para se obter a força mínima a qual o parafuso é submetido, mudou-se o sentido da força de 114,58 N, aplicada no eixo X, para que fosse obtido o novo momento resultante. Repetindo todo o processo já citado neste capítulo para se encontrar F_{max} , fazendo a soma vetorial chegamos a $F_{min} = -287,1 \text{ N}$.

O processo se repetiu para analisar a resistência dos parafusos da base do spindle, como pode ser visto na Figura 4.14. Foram considerados os oito parafusos recebendo esforços, uma vez que os quatro patins da guia linear do eixo Z estão praticamente sobre estes parafusos.

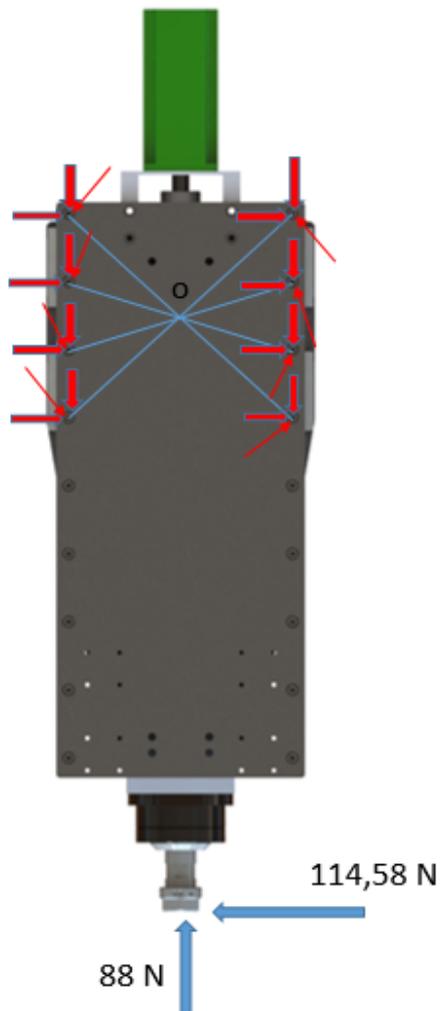


Figura 4.14: Esforços nos parafusos da base do spindle

Dessa forma observa-se que o parafuso mais solicitado é o terceiro de cima para baixo do lado esquerdo, devido à menor distância radial entre esse e o centróide da peça. Na Figura 4.15 é possível ver as forças nesse ponto.

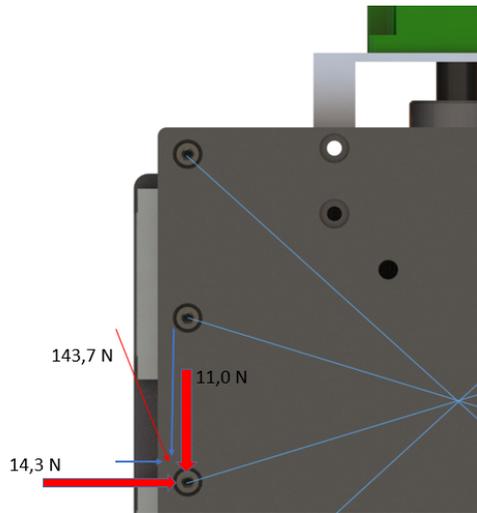


Figura 4.15: Esforços no parafuso mais solicitado da base do spindle

Fazendo a soma vetorial, chegou-se a $F_{max} = 158,7 \text{ N}$. Ao inverter o sentido da força de $114,58 \text{ N}$ que atua na direção do eixo X, obteve-se $F_{min} = -138,4 \text{ N}$.

A partir de então foi feito a análise para falha estática, levando em consideração a tensão de cisalhamento, obtida a partir da equação 4.4:

$$\tau = F/A_t \quad (4.4)$$

Em que A_t (Tabela 8.5, Shigley, 2010) é a área de tração do parafuso.

Como a fresa recebe esforços alternados, uma vez que essa máquina pode usar em diferentes direções e sentidos, é importante levar em consideração a possibilidade de falha por fadiga dos parafusos. Utilizou-se portanto o critério de falha por fadiga de Gerber, em que foi necessário primeiro calcular a componente de amplitude pela equação 4.5 e a componente média equação 4.6.

$$\sigma_a = F_{max} - F_{min}/2.A_t \quad (4.5)$$

$$\sigma_m = \sigma_a + \sigma_i \quad (4.6)$$

Com esses dados foi calculado uma resistência alternante S_a pela equação 4.7 e a partir de então obtido todos os dados necessários para calcular os fatores de segurança pela equação 4.8.

$$S_a = (1/2.S_e) \cdot [S_{ut} \cdot \sqrt{S_{ut}^2 + 4.S_e(S_e + \sigma_i)} - S_{ut}^2 - 2.\sigma_i.S_e] \quad (4.7)$$

$$n_f = S_a/\sigma_a \quad (4.8)$$

Os valores de S_e e S_{ut} foram obtidos pela referência (Tabelas 8-17 e 8-11, Shigley, 2010). Para a realização dos cálculos, foi feito um programa em uma planilha com as equações e os dados das tabelas citadas neste capítulo. O resultado e valores utilizados podem ser vistos na Tabela 4.6.

Tabela 4.6: Dimensionamento dos parafusos

	Chapa do Spindle	Guia do Spindle
Dados de entrada		
D	6,00	5,00
F_{max}	392,70	158,70
F_{min}	-287,10	-138,40
A_t	20,10	14,20
S_e	128,20	140,00
S_{ut}	400,30	400,00
Cálculos		
τ	13,90	8,09
n_{cis}	20,58	35,33
$Sigma_a$	16,91	10,46
$Sigma_i$	-14,28	-9,75
$Sigma_m$	2,63	0,71
S_a	119,37	127,80
n_f	3,53	4,07

Não foi realizado dimensionamento dos demais parafusos, uma vez que eles fazem parte de componentes comerciais selecionados para atender as condições desta máquina e que, portanto, resistem às solicitações nominais, que são menores ou iguais às reações da máquina.

4.1.2.4 Acoplamento

O acoplamento é um elemento de máquina que liga o eixo do motor ao eixo de uma máquina ou estrutura. A principal função desse componente é a transmissão de torque e rotação do motor para o fusos. Além disso, acoplamentos ajudam a compensar possíveis desalinhamentos, não forçar os rolamentos dos motores ou mancais e evitar a transmissão de vibrações ou cargas aos equipamentos.

O tipo de acoplamento selecionado foi do tipo Oldham (Figura 4.16 e 4.17). A linha de acoplamentos Flexíveis Oldham é construída em alumínio e nylon no centro, são práticos e resistentes. As especificações do acoplamento selecionado são:

- Diâmetro Externo : 32 mm
- Comprimento Total : 42 mm
- Torque nominal: 4,5 Nm
- Máximo Torque : 9 Nm

- Rotação Máxima: 7000 rpm
- Desalinhamento lateral: 0.2 mm
- Desalinhamento Angular : 0.5°
- Furo Original: 9,52 mm
- Máximo Furo : 16 mm



Figura 4.16: Acoplamento Oldhan [35]

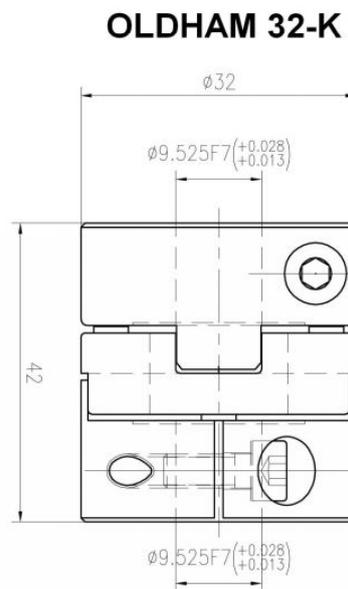


Figura 4.17: Medidas acoplamento Oldhan [35]

Uma vez que o torque e rotação do motor que estará conectado ao acoplamento são respectivamente 1,3 Nm e 3000 rpm, conclui-se que este componente se adapta bem, pois além de suportar a carga possui dimensões apropriadas.

4.1.2.5 Dimensionamento Mecânico da Estrutura do Carro de Usinagem por MEF

Os principais objetivos no dimensionamento mecânico foi verificar a rigidez da estrutura e analisar se os deslocamentos máximos de forma comprometem a precisão de usinagem da máquina, no cenário mais crítico. Essa análise foi realizada pelo Método de Elementos Finitos, através do software Ansys v15.0, e foi dividida em duas partes: a primeira é simulação na chapa de alumínio que carrega o “spindle” e fixa-se nos patins das guias lineares ; a segunda é o restante da estrutura do carro de usinagem, que envolve o conjunto Base da Estrutura, que é acoplada à ponte, e a Barra que posiciona os trilhos das guias lineares. Na Figura 4.18 fica mais fácil entender e identificar as partes.

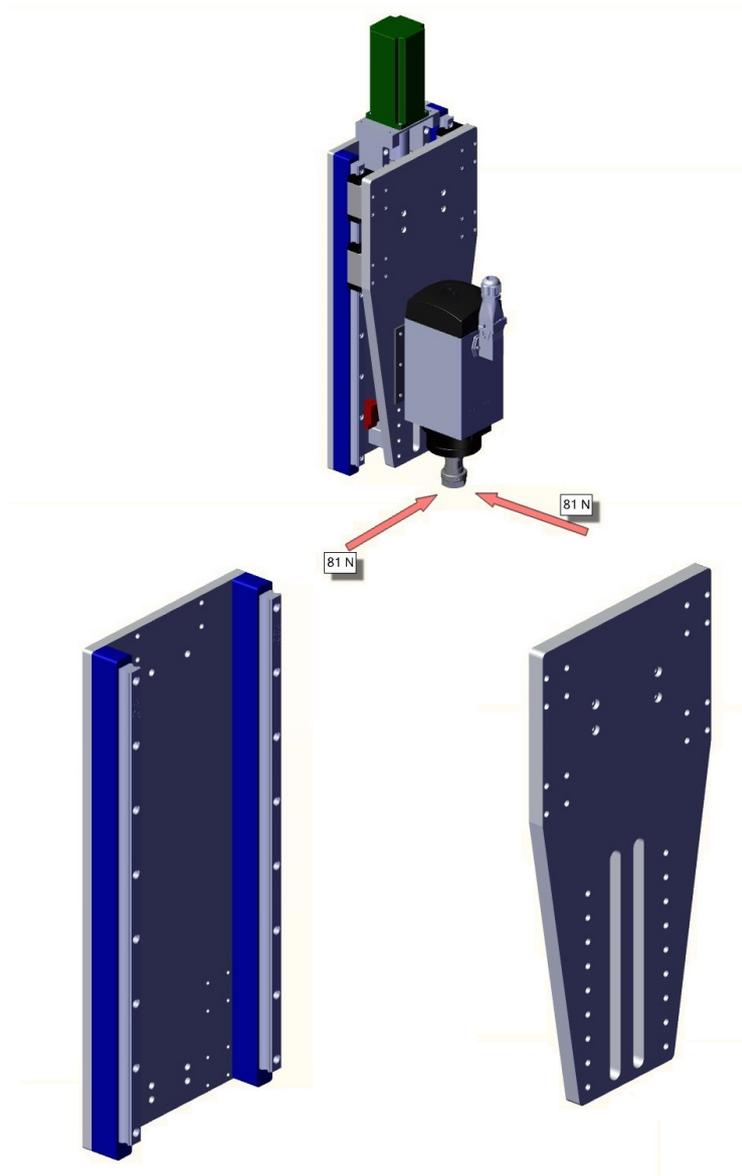


Figura 4.18: Carro de usinagem e identificação das partes analisadas

Os materiais das peças em análise são JIS S55C (ou AISI 1055) no trilho das guias lineares e ASTM 7075-T651 nos demais componentes analisados. Na Tabela 4.7 são apresentadas as principais propriedades de tais materiais.

Tabela 4.7: Propriedades dos materiais

Propriedades	ASTM 7075-T651	JIS S55C
Modulo de Elasticidade	70 Gpa	205 Gpa
Coefficiente de Poisson	0,33	0,29
Tensão de Escoamento	470 MPa	588 MPa
Tensão de Ruptura	540 MPa	785 MPa

A metodologia empregada na simulação em elementos finitos foi geração de uma malha não refinada, e então com estudo de convergência foi feito o refinamento desta. O elemento selecionado para realizar a simulação foi o tetrahédrico de 10 nós, pois este tipo de elemento se adapta bem à geometrias complexas, e tem uma boa representação do comportamento interno da estrutura, por ser um elementos quadráticos.

1. Chapa do Spindle

(a) Malha

A malha resultante da convergência, motrada na Figura 4.19, apresenta 425,5 mil nós e 300,1 mil elementos, possui tem elementos de tamanho 5 mm com refinamento nas áreas críticas com elementos de 0,8 mm.

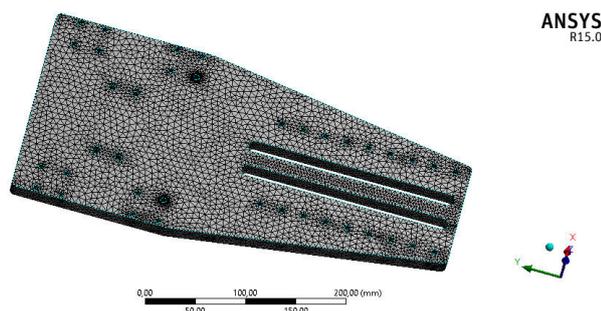


Figura 4.19: Malha da Placa do Spindle

(b) Condições de Contorno

O cenário considerado para análise foi o de usinagem com o “spindle” em sua regulagem mais baixa, conforme apresentado na Figura 4.20. As forças são aplicadas nos furos que fixam o “spindle” na placa, juntamente com os momentos das forças gerados pelos braços de alavanca.

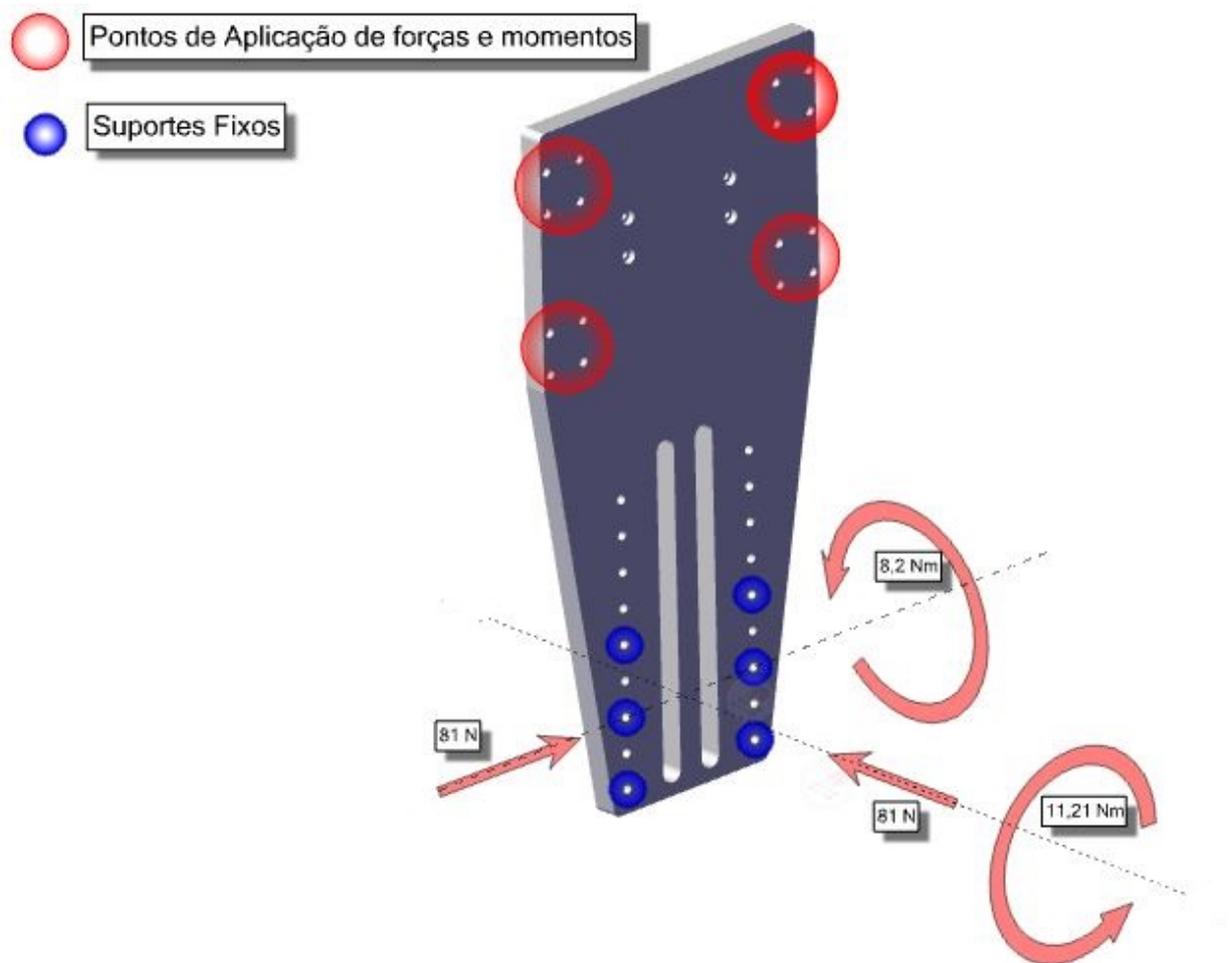


Figura 4.20: Condições de contorno da placa do "spindle"

(c) Resultados

Os resultados da simulação em elementos finitos estão apresentados na Figura 4.21, sendo: (a) o descolamento máximo igual a 0,052 mm; (b) a tensão equivalente de von-Mises igual a 21,3 MPa; e (c) o fator de segurança à fadiga igual a 4,05.

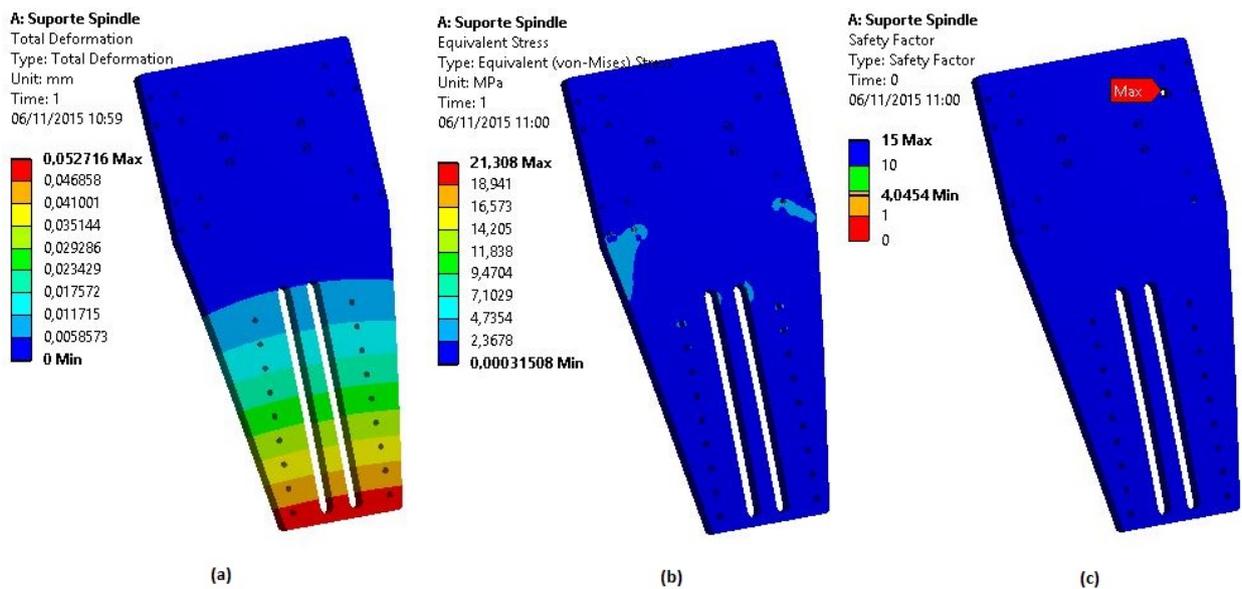


Figura 4.21: Resultados de deslocamento máximo (a), tensão equivalente de von-Mises (b) e fator de segurança à fadiga (c) da Simulação em Elementos Finitos da placa do spindle

2. Conjunto Placa Base + Suporte dos Trilhos + Trilhos das Guias Lineares

(a) Malha

A malha resultante da convergência, mostrada na Figura 4.22, apresenta 1,01 milhões de nós e 677,45 mil elementos, possui tem elementos de tamanho 5 mm com refinamento nas áreas críticas com elementos de 0,75 mm.



Figura 4.22: Malha do conjunto base da estrutura, suporte dos trilhos e trilhos das guias lineares

(b) Condições de Contorno

O cenário considerado para análise foi a usinagem quando a placa do spindle está na posição mais alta, conforme apresentado na Figura 4.23. As forças são aplicadas na área de contato dos patins com os trilhos das guias lineares, juntamente com os momentos gerados pelos braços de alavanca. Condições de fixação são colocadas nos furos que aparafusam a base às guias lineares da ponte.

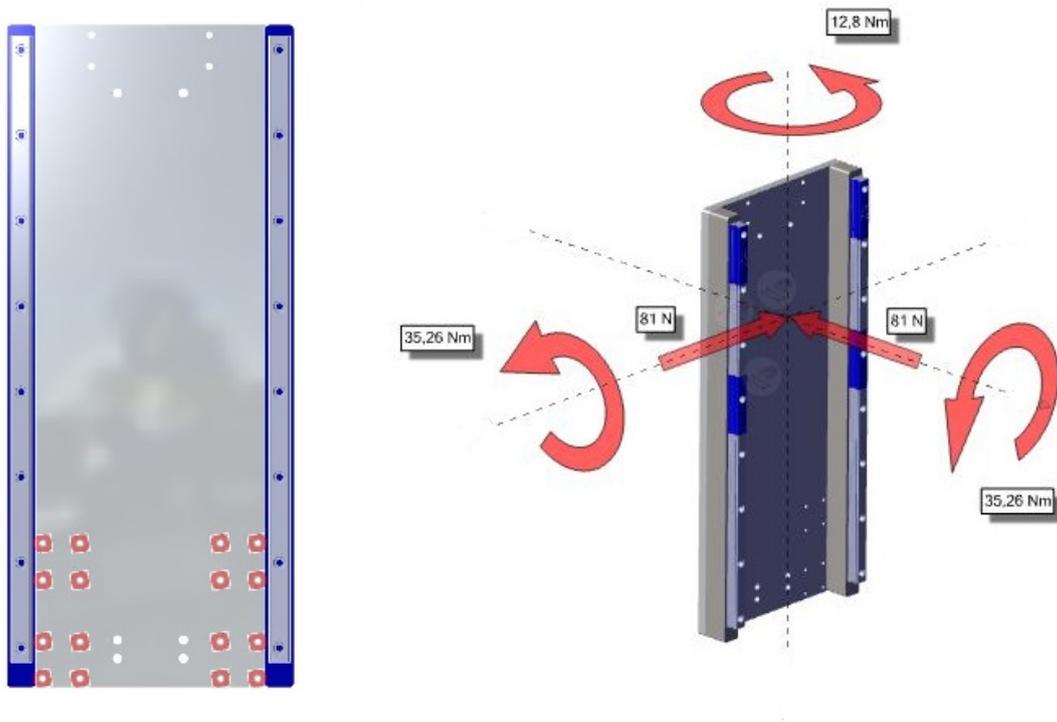


Figura 4.23: Condições de Contorno do conjunto Placa Base, Suporte dos Trilhos e Trilhos das Guias Lineares

Além dessas condições de contorno, para realização da simulação da montagem, utilizou-se relação de contato entre as faces que estão unidas e relação de aparafusamento onde vão os parafusos dos trilhos das guias lineares.

(c) Resultados

Os resultados da simulação em elementos finitos estão apresentados na Figura 4.24, sendo (a) o deslocamento máximo igual a 0,027 mm; (b) a tensão equivalente de von-Mises igual a 13,24 MPa; e (c) o fator de segurança à fadiga igual a 6,24.

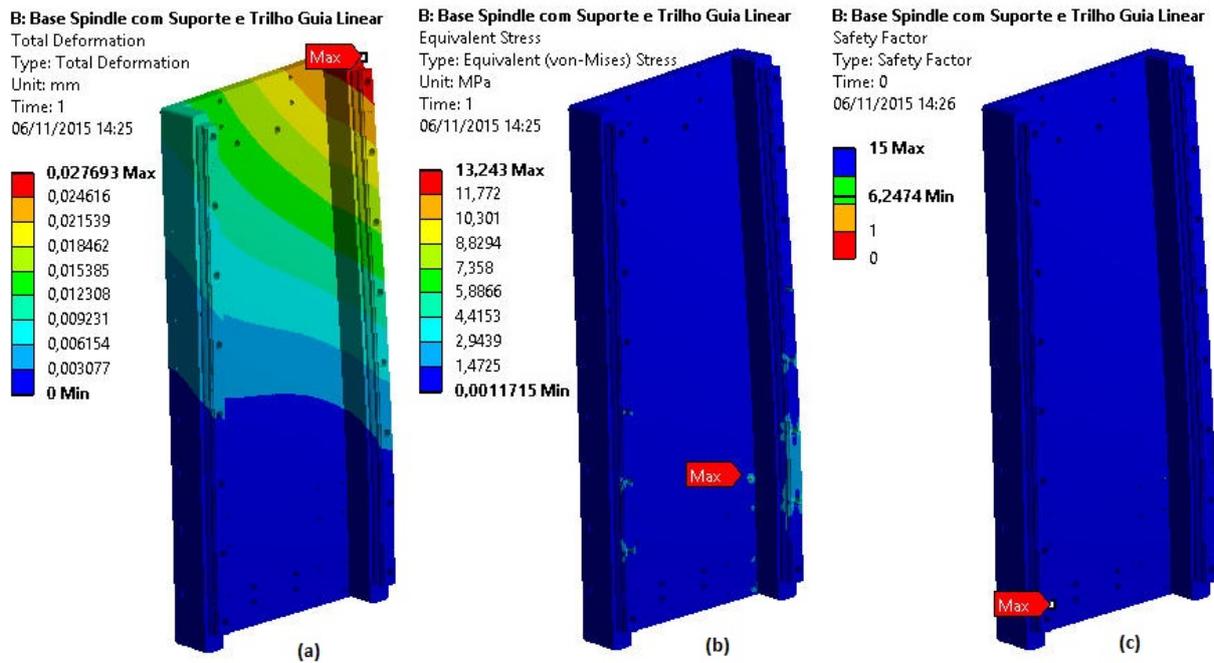


Figura 4.24: Resultados de deslocamento máximo (a), tensão equivalente de von-Mises (b) e fator de segurança à fadiga (c) da Simulação em Elementos Finitos do conjunto Placa Base, Suporte dos Trilhos e Trilhos das Guias Lineares

Feita a análise dos resultados das simulações realizadas percebe-se que do ponto de vista de resistência mecânica a estrutura do carro de usinagem está longe de sofrer algum tipo de falha nas operações demandadas pela máquina. O critério mais importante a se observar é a rigidez estrutural. Os deslocamento máximos de 0,05 mm e 0,02 mm, respectivamente para a primeira e a segunda simulação, são satisfatórios tendo em vista que a tolerância admissível para as peças prototipadas é de 0,1 a 0,2mm. Além disso, tais deslocamentos não impactam na tolerância dimensional das peças fabricadas na máquina, uma vez que essas forças ocorrem em operações de desbaste, sendo que as operações de acabamento são mais suaves e diretamente ligadas à dimensão final da peça.

4.1.3 Fabricação

4.1.3.1 Suporte do Spindle

As faces frontal e traseira do suporte do spindle (Figura 4.25) devem ser retificadas para garantir o paralelismo entre as peças que fazem contato com esta. Os rasgos e os furos devem ser feitos em fresadora CNC, para garantir precisão na furação. No processo de usinagem deve ser utilizada três fresas diferentes, sendo todas elas de topo reto, uma vez que o acabamento já foi feito pela retífica. Primeiro será utilizada uma fresa de 10 mm para os rasgos, uma segunda fresa de 4 mm para fazer furos de 6 mm e 5 mm em uma operação de fresamento helicoidal e uma última fresa de 2,5 mm para o furo de 3,24 mm, também em uma operação helicoidal.



Figura 4.25: Suporte do spindle

4.1.3.2 Chapa do Spindle, Chapa da Flange e Chapa do Switch

As chapas do spindle (Figura 4.26), da flange (Figura 4.27) e do switch (Figura 4.28) são responsáveis pelo correto posicionamento de componentes essenciais da fresadora, sendo então necessária grande precisão na furação, garantindo o alinhamento do spindle e do servo motor e os limites de funcionamento do spindle, respectivamente. Estas placas serão fabricadas em corte a laser.



Figura 4.26: Chapa do spindle

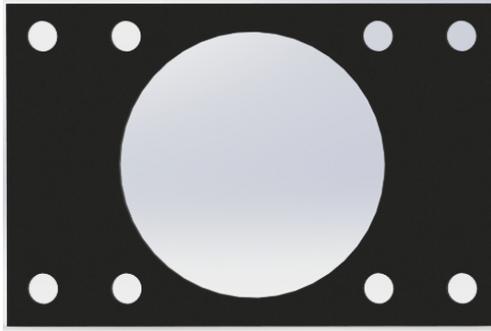


Figura 4.27: Chapa da flange

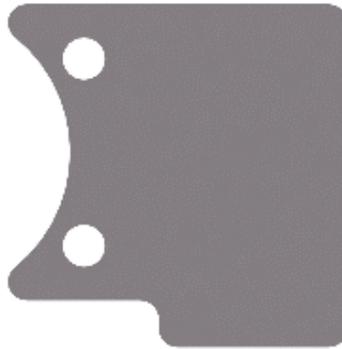


Figura 4.28: Chapa do switch

4.1.3.3 Suporte da Castanha do Fuso

O suporte da castanha do fuso (Figura 4.29) deve ser usinado, porém ela possui uma complicação adicional, devido ao fato de ter que ser reposicionada na fresadora por possuir duas origens diferentes e, portanto, tem que ser zerada duas vezes (uma para cada origem), o que pode levar a um erro dimensional na peça caso o operador não tome os devidos cuidados.

Na primeira parte da usinagem, com a mesa de trabalho sendo coincidente com o plano XY, será utilizada uma fresa de topo reto de 12 mm para o desbaste grosso, uma de topo reto de 6 mm para um desbaste intermediário e uma última de topo reto de 4 mm para dar acabamento e finalizar os filetes lateral da peça. Para acabar esta etapa da usinagem, utiliza-se uma fresa *ball nose* de 3 mm para fazer o filete superior.

Na segunda parte da usinagem, com a mesa de trabalho sendo coincidente com o plano XZ, utiliza-se uma fresa de topo reto de 5 mm para fazer a furação da peça.

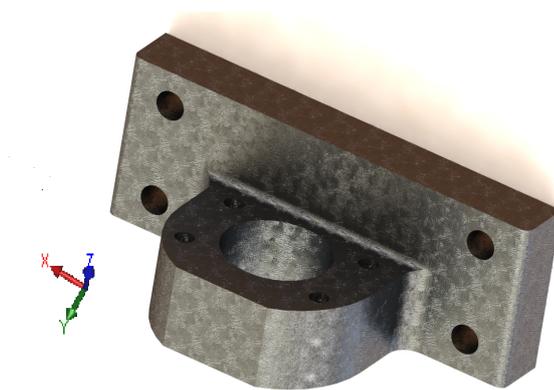


Figura 4.29: Suporte da castanha do fuso

4.1.3.4 Flange

A flange (Figura 4.30) também deverá ser usinada em mais de uma etapa, sendo que a primeira delas é com a mesa de trabalho coincidente com o plano YZ. Utilizando um fresa de topo reto de 12 mm serão feitas duas operações, uma de desbaste grosso e outra de acabamento. Finalizado essa parte, serão usinados os dois furos com broca de 5 mm.

A segunda parte é realizada invertendo a posição da peça, repetindo as mesmas operações com a fresa de 12 mm. Posteriormente será utilizada uma fresa de topo reto de 8 mm para fazer o rebaixo do furo e então uma *ball nose* de 5 mm para o filete.

Uma terceira operação será feita com a mesa de trabalho coincidente com o plano XZ, onde uma fresa de topo reto 5 mm fará os dois furos da parte superior desta peça.

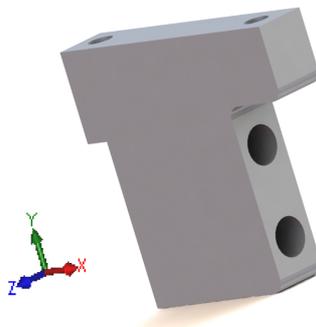


Figura 4.30: Flange do motor do eixo Z

4.1.3.5 Apoio da guia linear

Como o perpendicularismo entre a fresa e a mesa de trabalho está diretamente ligada ao apoio da guia linear (Figura 4.31), suas faces frontal e traseira deverão ser retificadas, pra que haja boa precisão e acabamento. As demais faces serão usinadas com fresa de topo reto de 12 mm. As furações nesta peça serão todas feitas (tanto da parte frontal quanto da traseira) por fresa de topo reto de 5 mm em uma operação

de fresamento helicoidal.

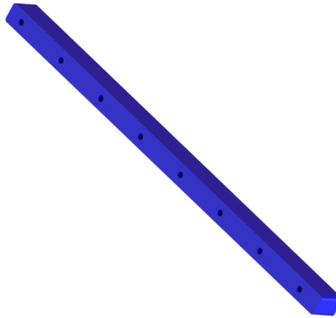


Figura 4.31: Apoio da guia linear do eixo Z

4.1.3.6 Base do Spindle

A base do spindle (Figura 4.32) também pode comprometer perpendicularismo entre a fresa e a mesa de trabalho e portanto suas faces frontal e traseira serão retificadas. Posteriormente será feita uma operação com uma fresa de topo reto de 12 mm para usinar as laterais da peça. Com uma fresa de topo reto de 4 mm serão feitos todos os vinte e quatro furos com diâmetro maior ou igual a 5 mm, os dezoito rebaiços dos furos e o rebaixo retangular do mancal inferior do fuso em uma operação de fresamento helicoidal. Uma segunda operação será feita com fresa de topo reto de 2,5 mm para fazer os dezesseis furos de 3,5 mm de diâmetro em uma operação de fresamento helicoidal.

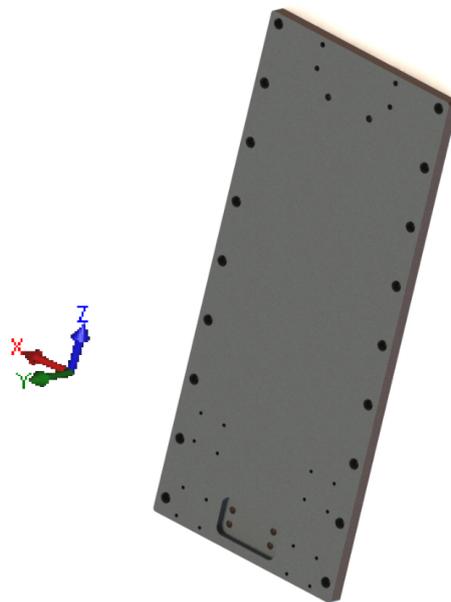


Figura 4.32: Base do spindle

4.1.4 Montagem

As instruções de montagem foram feitas considerando que todos os insertos metálicos já foram montados para que não haja parafusos de aço fazendo fixação em rosca de alumínio.

Para realizar a montagem do carro de usinagem, deve-se realizar os passos descritos a seguir:

4.1.4.1 Base Estrutura e Apoios das Guias Lineares

Aparafusar os apoios das guias lineares na base do estrutura com dezoito parafusos M5x16, conforme pode ser visto na Figura 4.33, onde as linhas tracejadas mostram a direção que os componentes devem seguir.

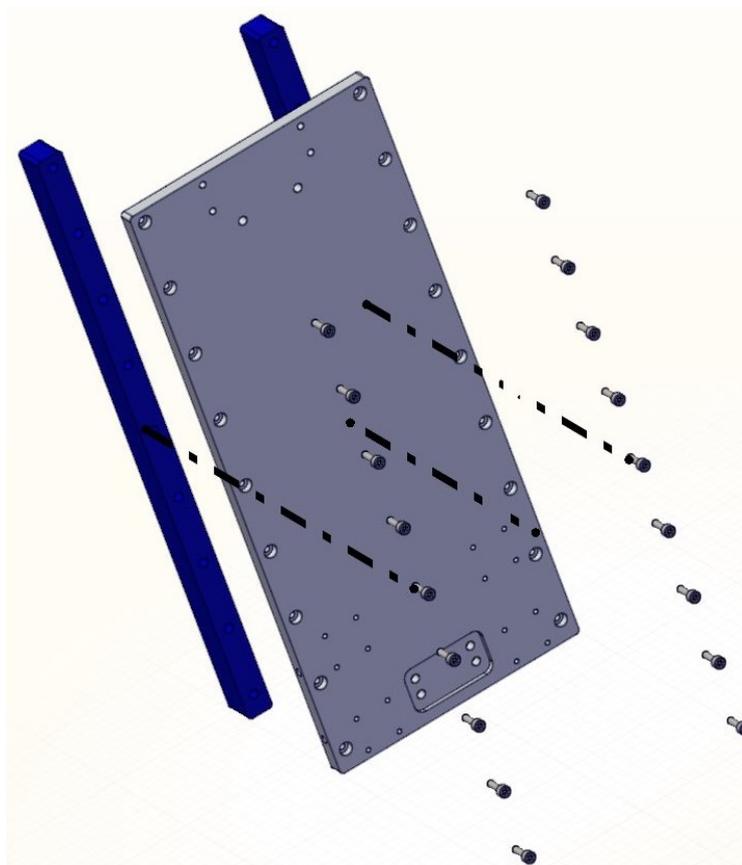


Figura 4.33: Montagem da Base Estrutura e Apoios das Guias Lineares

4.1.4.2 Guias Lineares, Mancais, Flange e Micro Switches

Fixado os apoios das guias lineares, monta-se os flanges, que são fixadas na base estrutura com quatro parafusos M5x50. Então é montado no flange a sua chapa com quatro parafusos M4x12. Nesta etapa também é feita a montagem do mancal superior (parafusos M6x55) e do mancal inferior (parafusos M5x50) já com rolamentos. As guias lineares (oito parafusos) e os micro-switches (quatro parafusos) também serão montados com seus parafusos padrões M4x12, como pode ser visto na Figura 4.34.

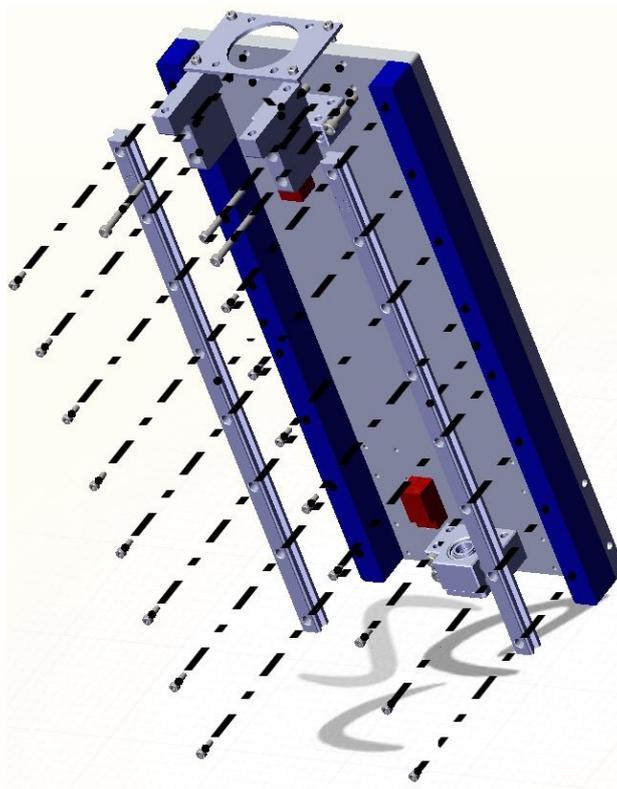


Figura 4.34: Montagem das Guias Lineares, Mancais, Flange e Micro Switches

4.1.4.3 Fusos e Servo Motor

Neste ponto já pode ser montado o fuso, primeiro encaixando a castanha do fuso e o suporte da castanha e então posicionando o fuso nos mancais já aparafusados, como pode ser visto na Figura 4.35, em que as linhas pontilhadas mostram o caminho que essas peças devem seguir para que fiquem no posicionamento correto. Finalizado esta etapa, monta-se o acoplamento elástico e posteriormente o servo motor, que será aparafusado no flange com quatro parafusos M5x20 e suas respectivas porcas e arruelas.

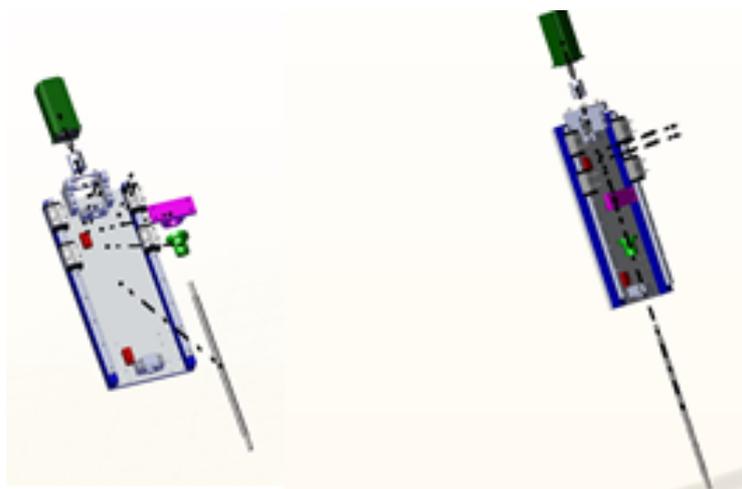


Figura 4.35: Montagem do Fuso e Servo motor

4.1.4.4 Suporte e Chapa do Spindle

Com todo o mecanismo interno montado, agora deve-se montar o suporte do spindle (Figura 4.36), que é aparafusado nos patins da guia linear (dezesseis parafusos M3x20) e no suporte da castanha (quatro parafusos M5x20). Feito isso, monta-se a chapa do spindle com parafusos M6x30 com suas respectivas porcas e arruelas. A montagem da chapa do spindle deve ser feita na furação que dê a regulagem desejada pelo operador.

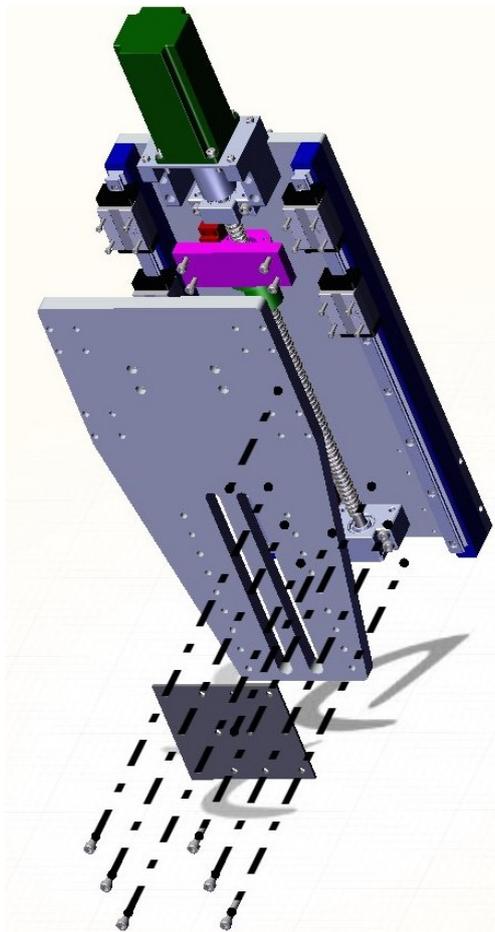


Figura 4.36: Montagem do Suporte e Chapa do Spindle

4.1.4.5 Spindle e Suporte da Castanha

Para finalizar a montagem do carro de usinagem, é necessário aparafusar o spindle em sua chapa com seus seis parafusos padrões e posteriormente fixar na base estrutura o suporte da castanha do fuso do eixo X com dois parafusos M6x30, como pode ser visto na Figura 4.37.

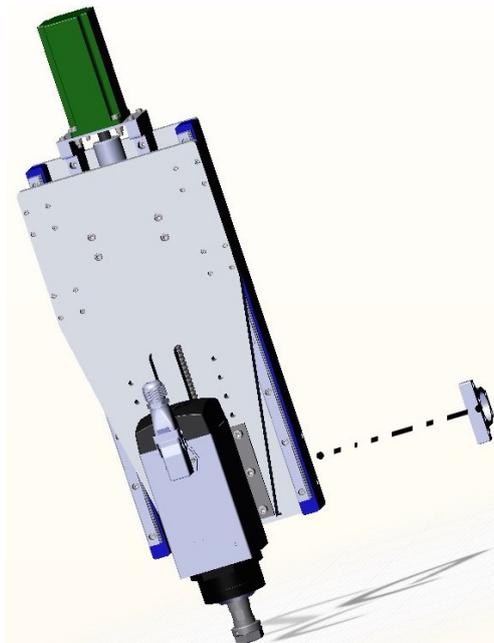


Figura 4.37: Montagem do Spindle e Suporte da Castanha

A montagem finalizada está apresentada na Figura 4.38

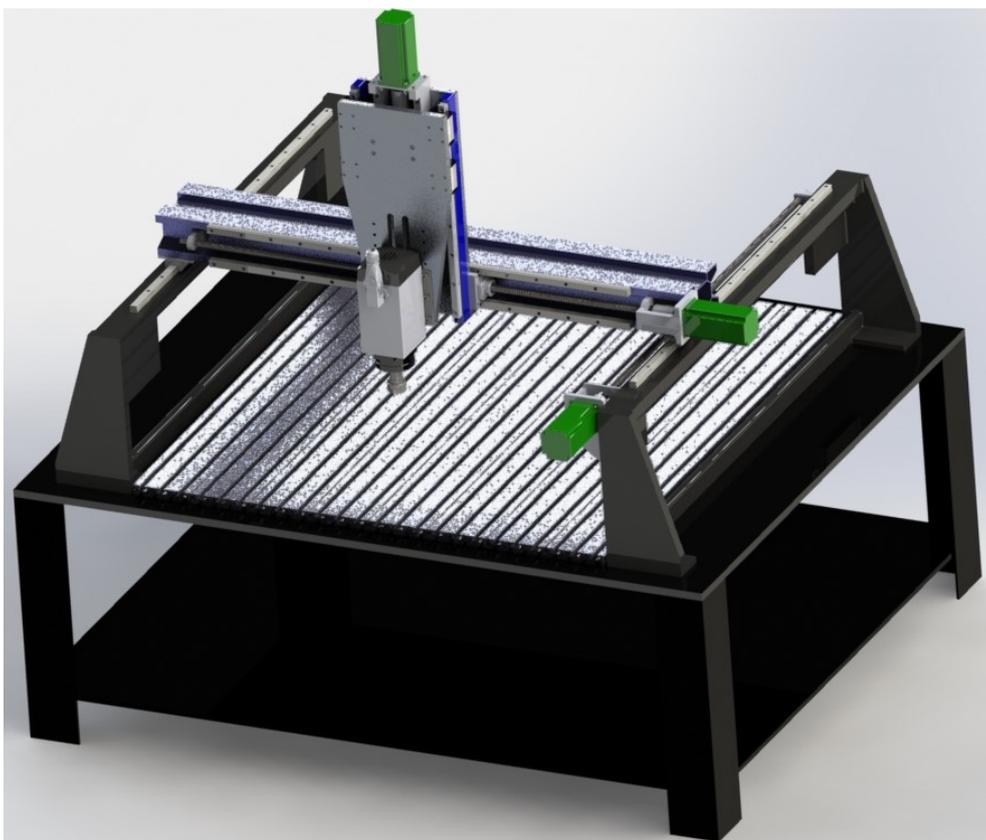


Figura 4.38: Montagem global da fresadora CNC transformada com o eixo adicional

4.2 MESA DE TRABALHO

A mesa de trabalho de uma fresadora CNC é responsável pela fixação e posicionamento da matéria prima que passará pela usinagem. É importante que a peça seja esquadrejada com os eixos da máquina, principalmente quando existir operações em mais de um lado no bloco a ser trabalhado.

Fresadoras do tipo “router” normalmente possuem mesas do tipo perfil ranhurado em T; fixação à vácuo; material de sacrifício ou mesa manufaturada especialmente para o projeto. A máquina atualmente utilizada pela empresa Avixy Tecnologia conta com uma mesa em perfil estrutural de alumínio ranhurado em T, que é adequada para as operações demandadas, além de ter um bom custo/benefício.

Com estes fatos, aliados com a experiência que já se tem trabalhando com este tipo de mesa, foi selecionada a mesa de perfil em T.

Para não se perder volume de usinagem, a altura do perfil estrutural deve ser a menor possível. Dado isto, selecionou-se o perfil de 20 x 120 mm da Alu-Cek [36] (Figura 4.39), indo de encontro com a recomendação do fabricante para aplicações em tampos de mesas de máquinas e para fixação de peças.

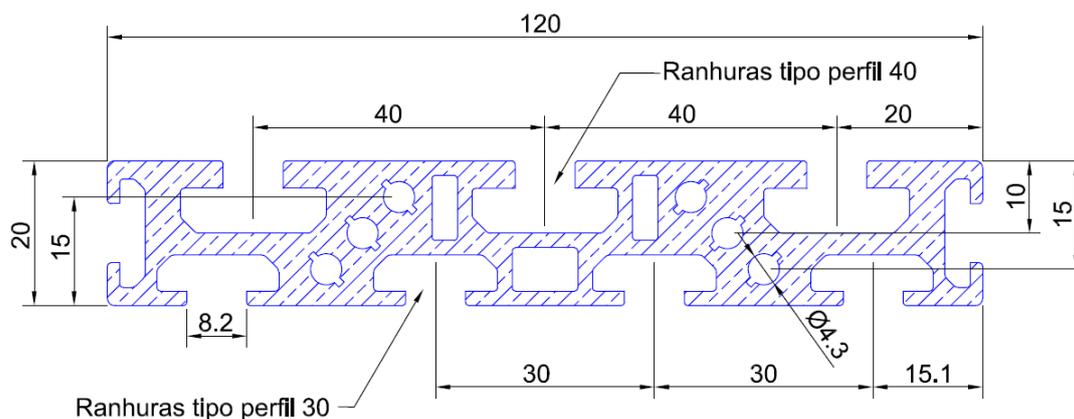


Figura 4.39: Perfil estrutural de alumínio 20 x 120 mm [36]

Para a instalação destes perfis na estrutura da máquina, devem ser utilizados parafusos em T (Figura 4.40, posicionando-os nos rasgos T inferiores. Então, a fixação ocorre através de furos na chapa de aço da estrutura da máquina e porcas na parte de baixo.



Figura 4.40: Parafuso e porca T [37]

Perfis estruturais são extrudados e podem ter pequenos empenamentos. Por mais que grande parte desse problema pode ser resolvido no momento fixação dos perfis na máquina, haveria ainda outra forma para contorná-la. Uma possível solução seria associar ao tipo de mesa selecionado, a utilização de material de sacrifício, que deve ser planificado na própria máquina para deixar toda a mesa de trabalho plana em relação à ferramenta. A solução pode ser realizada de maneira que não se perca os ranhurados em T, como mostra na Figura 4.41.

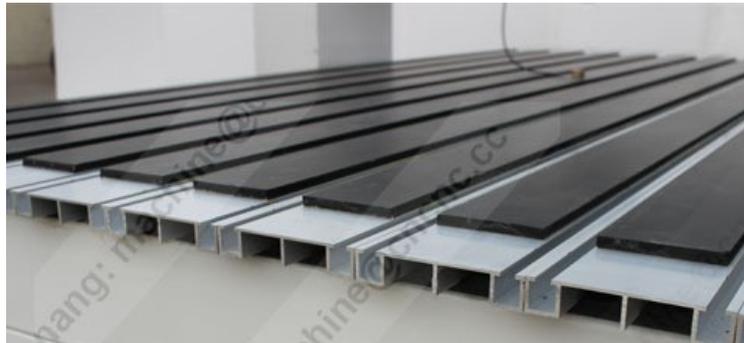


Figura 4.41: Mesa de perfil estrutural de alumínio com material de sacrifício [38]

A área disponível para fixação dos perfis para compor a mesa de trabalho é 970 x 1050 mm. Utilizando oito perfis com 1050 mm de comprimento obtém-se uma mesa de 960 x 1050 mm, como pode ser visto na Figura 4.43.

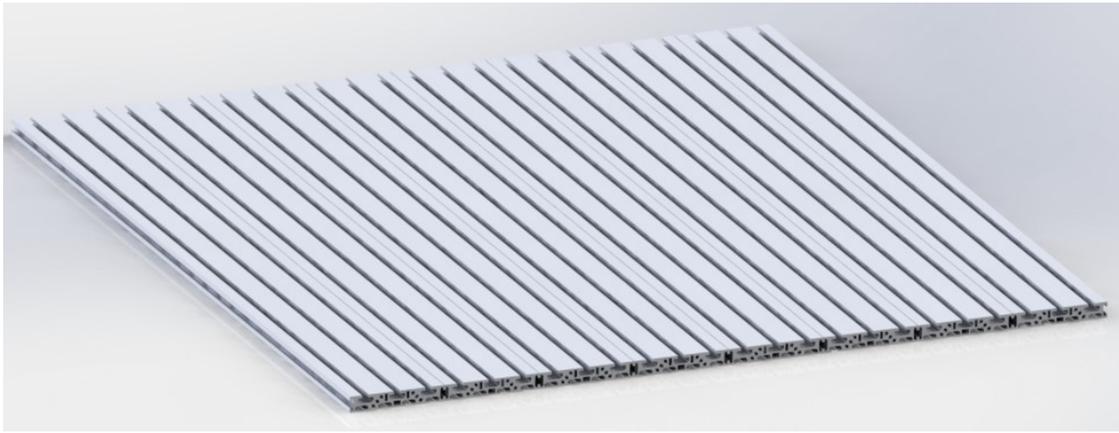


Figura 4.42: Mesa de perfil estrutural de alumínio rahurado em T

As maneiras de se prender as peças na mesa de trabalho variam com os esforços que são envolvidos na usinagem. Em geral, para usinagem de materias de baixa dureza, como plásticos e madeira, a fixação é feita por meio de fita dupla face e o alinhamento da peça é feito por meio de blocos de precisão paralelos, como os apresentados na Figura ???. Este método de fixação da peça já é difundido e habitualmente empregado na empresa Avixy Tecnologia, de forma que atinge-se as precisão desejada utilizando fita dupla face. Durante o alinhamento utiliza-se alguma aresta criada pela própria máquina como referência.



Figura 4.43: Blocos de precisão paralelos

Quando os materiais a serem usinados são mais duros, podem ser fixados por morsas de precisão ou grampos, ambos presos à mesa através de porca T e também auxiliados por blocos de precisão paralelos para alinhamento.

4.3 COMPONENTES ELÉTRICOS/ELETRÔNICOS

Apresenta-se a seguir os componentes que formam a parte de potência e parte lógica da máquina, além de suas características principais e ilustrações.

A parte lógica e de potência desse projeto foi inspirada na antiga Fresadora CNC da empresa Avixy,

pois apresenta um comportamento adequado para o bom funcionamento da antiga e nova máquina, além da experiência que já se tem com tais componentes, que pouparão tempo de instalação e funcionamento, o que é de suma importância para a empresa.

4.3.1 Spindle

Spindle é a designação que se dá aos motores utilizados especificamente em máquinas de processo de fabricação, que pode ter como função girar a peça que está sendo trabalhada ou girar uma ferramenta que realiza o processo, onde este último é o caso deste projeto. Geralmente são motores de indução ou servomotores de corrente alternada com características diferentes de motores convencionais, pois tem potências mais altas, curva de torque e aspecto construtivo diferentes, com diâmetro de eixo maiores para acoplamentos de ferramentas ou cabeçotes.

Para a fresadora em estudo, foi selecionado um “spindle” refrigerado a ar, do tipo servomotor AC, como pode ser visto na Figura 4.44. Este “spindle” apresenta potência e rotação suficientes para as usinagens demandadas, conforme pode ser observado na Tabela 3.2, sendo que a maior potência demandada é de 1642 W e rotação de 18000 rpm.

Este componente fará parte do Carro de Usinagem, e terá grau de liberdade de deslocamento vertical no eixo Z. O “spindle” em questão apresenta as seguintes características:

- Potência: 3 KW
- Voltagem: 220V
- Frequência: 300 Hz
- Rotação máxima: 24000 rpm



Figura 4.44: Spindle 3kW refrigerado a ar [16]

4.3.2 Inversor de Frequência

Inversor de frequência é um equipamento que varia a rotação de motores trifásicos de indução por meio de alteração da frequência, provocando oscilação de tensão nas bobinas do motor. Sendo assim tem função

de manter o “spindle” na rotação solicitada pelo comando.

O inversor de frequência selecionado é do fabricante Delta Electronics, modelo VFD-037EL 5 CV [23] (Figura 4.45)



Figura 4.45: Inversor de frequência Delta Electronics modelo VFD-037EL 5 CV

4.3.3 Motor, Driver e Fonte de Alimentação

Para que se tenha movimentação no eixo X, Y e Z durante a usinagem é necessário um mecanismo que gere o deslocamento nestas direções, e este mecanismo deve ser acionado por um motor.

Para cumprir esta função foi selecionado um servomotor sem escova pois este tipo de motor possui uma curva de torque linear, entregando alto torque mesmo em altas rotações, mantendo, além de fornecer mais potência e alta eficiência comparado a outros tipos de motores, como o escovado ou motores de passo. Este componente estará posicionado no Carro de Usinagem por meio de uma flange, e cumprirá sua função acoplado à um fuso de esferas recirculantes por meio de um acoplamento elástico.

O servomotor em questão, mostrado na Figura 4.46, possui as seguintes características e especificações:

- Fase: Trifásico
- Potência: 400 W
- Tipo : Servo Motor
- Frequência: 50-60 HZ
- Modelo: 60SM01330
- Voltagem: 220-380 V
- Corrente: Alternada

- Amperagem: 8.4 A
- Torque: 1.3 Nm
- Máxima rotação: 3000 rpm



Figura 4.46: Servo motor do eixo z [24]

Os “drivers” e fontes de alimentação adequados para o bom funcionamento do sistema são fornecidos conjuntamente.

O "driver", mostrado na Figura 4.47, é um componente eletrônico que recebe o sinal proveniente de uma placa controladora e o interpreta para enviar ao motor o comando necessário para que ele faça o que foi solicitado. Suas principais características são

- Voltagem de Entrada: Fase Única AC220V 50-60 Hz
- Corrente de Saída: 8 A
- Peso: 0.5 kg



Figura 4.47: Driver modelo YZ ACSd608 [25]

Uma fonte de alimentação, como mostrada na Figura 4.48, é necessária para fornecer voltagem e corrente suficientes para os motores de avanço, sendo uma fonte para cada motor. As especificações principais são:

- Voltagem de Entrada: CC 48V
- Corrente de Saída: 7.5 A
- Peso: 1 kg



Figura 4.48: Fonte de Alimentação CC [26]

4.3.4 Placa Controladora

A placa controladora (ou “Breakout Board”) é o coração da unidade de controle da máquina. Ela está posicionada entre o computador e os motores e tem função principal de criar a interface entre esses dois elementos, além de características como proteção do circuito e distribuição de sinais. A placa controladora a ser aplicada neste projeto foi a de modelo C11G, apresentada na Figura 4.49.



Figura 4.49: Placa Controladora C11G [27]

4.3.5 MPG e Placa de Interface

O “MPG” (Manual Pulse Generator) é uma espécie de controle manual para configuração de posição de ferramenta, para pré-operação ou somente para proporcionar sinal para comandar a máquina manualmente. Este controle tem comunicação com a placa controladora a partir de um componente intermediador, que é a Placa de Interface do “MPG”.

Selecionou-se o “MPG” modelo MPG12, apresentado na Figura 4.50, e Placa de Interface do “MPG” modelo C22 , na Figura 4.51.



Figura 4.50: MPG Manual Pulse Generator [28]



Figura 4.51: Placa de Interface do MPG [29]

4.3.6 Placa Ethernet Smooth Stepper

A placa “Ethernet Smooth Stepper” é um dispositivo de controle de movimento externo que se conecta à porta de um computador e recebe comandos do software, que faz a leitura do código, e então produz pulsos de passo e de direção que conduzem os motores.

A placa selecionada é a ESS Warp9 (Figura 4.52).



Figura 4.52: Placa Ethernet Smooth Stepper [30]

4.3.7 Sensores Fim de Curso

Os sensores de fim de curso são dispositivos de segurança que criam limites superiores e inferiores nos três eixos da máquina, evitando problemas mecânicos de possíveis perdas de comunicação. Além disso, auxiliam na referência zero da máquina.

Os sensores selecionados, apresentados na Figura 4.53, são do tipo indutivos, os quais foram selecionados por serem precisos e de fácil instalação.



Figura 4.53: Kit de sensores indutivos [31]

4.3.8 Diagrama Elétrico

O diagrama elétrico para montagem dos componentes eletrônicos que compõe a parte lógica da máquina está apresentado na Figura 4.54.

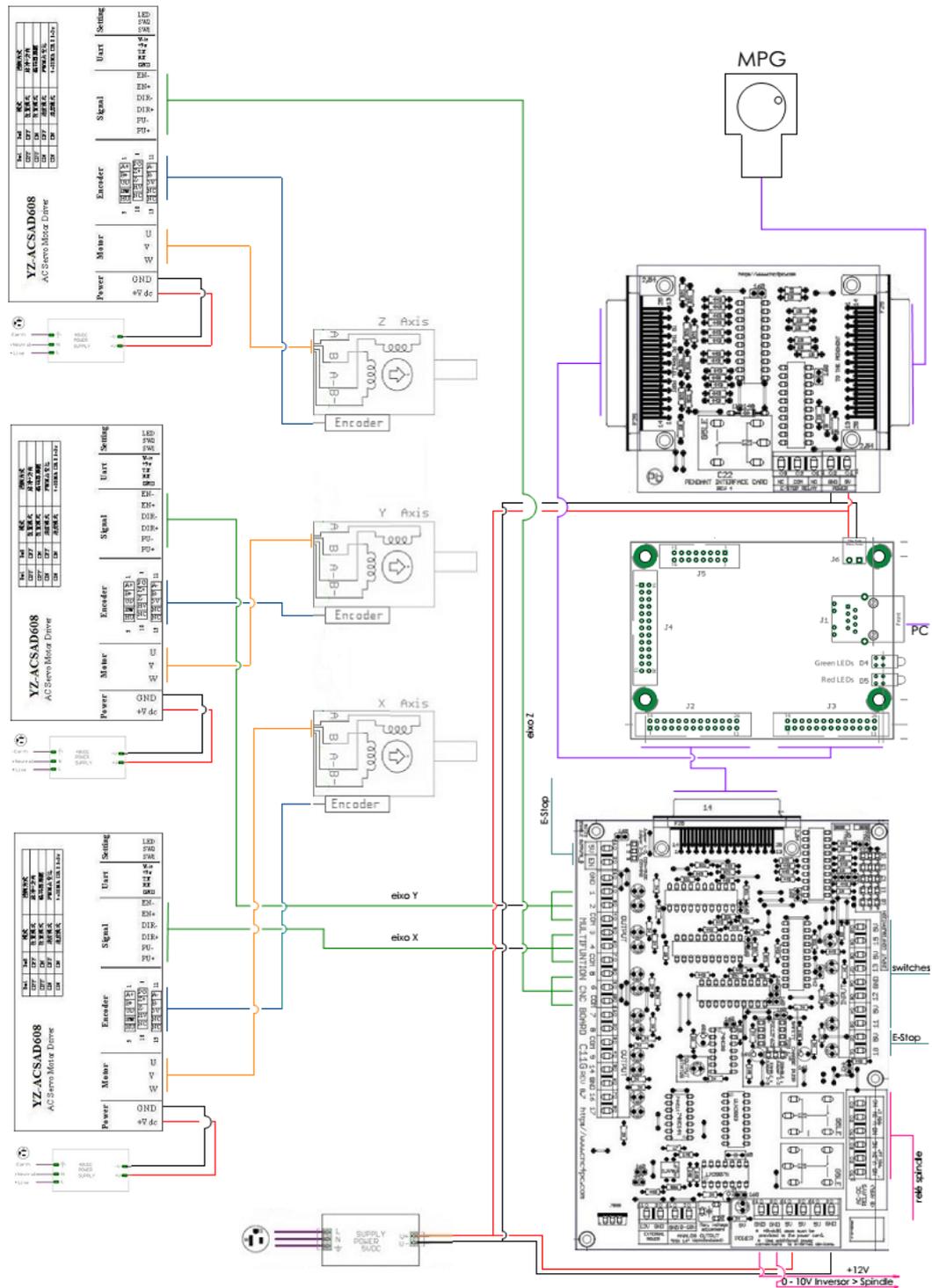


Figura 4.54: Diagrama elétrico da parte lógica

5 ESPECIFICAÇÕES

5.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

A Tabela 5.1 apresenta as principais especificações técnicas da fresadora CNC transformada.

Tabela 5.1: Características Técnicas

Dados Técnicos	Unid	Fresadora
Dimensões da mesa	mm	1050 x 960
Curso longitudinal (X)	mm	700
Curso transversal (Y)	mm	500
Curso vertical (Z)	mm	250
Guia linear	-	Kalatec TR15
Avanço longitudinal	mm/min	1350
Avanço transversal	mm/min	1350
Avanço vertical	mm/min	300
Motor de avanço do eixo horizontal	W	400
Motor de avanço do eixo vertical	W	400
Potência do Spindle	W	3000
Lubrificação	-	Manual
Peso líquido aproximado	Kg	400

5.2 CUSTOS

Essa seção aborda todos os custos envolvidos na transformação da máquina objeto deste projeto. Os custos foram divididos nas categorias: componentes elétricos/eletrônicos, componentes mecânicos selecionados, matéria prima para componentes mecânicos dimensionados, fabricação dos componentes mecânicos dimensionados e elementos de fixação, apresentados nas Tabelas 5.2 a 5.6.

Tabela 5.2: Tabela de custos dos componentes elétricos/eletrônicos (cotação do dolar em R\$3,90, taxa de 60% de importação e 17% de ICMS)

Componente	Descrição	Preço (U\$)	Preço (R\$)
Placa Controladora	C11G	\$109,00	-
Placa MPG	C22	\$29,65	-
MPG	MPG12	\$156,00	-
Placa Ethernet	Warp9	\$189,00	-
Fins de Curso	Kit 5 sensores de fim de curso indutivos	\$64,50	-
	1 Sensor de fim de curso indutivo	\$12,15	-
Spindle	3KW (4HP) AIR-COOLED SPINDLE	\$429,00	-
Inversor de Frequencia	Delta VFD-037EL 5 CV	-	R\$ 1.475,00
Kits Motores de Avanço	3 x AC Servo Motor + Driver + Power Supply	\$819,00	-
TOTAL			R\$14.677,04

Tabela 5.3: Tabela de custos dos componentes mecânicos selecionados

Peça	Qtd	Preço/Und	Preço
Mancal para Fuso BF12	1	R\$ 138,95	R\$ 138,95
Mancal para Fuso BK12	1	R\$ 268,92	R\$ 268,92
Trilho Guia Linear TRH15VL	2x 0,44m	R\$ 234,80/m	R\$ 206,62
Patins Guia Linear TRH15VL	4	R\$ 103,28	R\$ 413,12
Acoplamento OLDHAM 32K	1	R\$ 100,00	R\$ 100,00
Perfis Estruturais Alumínio 20x120	8x 1,05 m	R\$ 105,00/m	R\$ 882,00
TOTAL			R\$ 2.009,61

Tabela 5.4: Tabela de custos da materia prima para componentes mecânicos dimensionados

Peça	Qtd	Material	Peso [kg]	Preço/kg	Preço Material
Base Estrutura	1	ASTM 7075 T651	3,44	R\$ 50,00	R\$ 171,98
Apoio Guia Linear	2	ASTM 7075 T651	0,71	R\$ 50,00	R\$ 35,53
Suporte Castanha Eixo Z	1	ASTM 7075 T651	0,76	R\$ 50,00	R\$ 37,95
Suporte Spindle	1	ASTM 7075 T651	4,22	R\$ 50,00	R\$ 211,08
Chapa Spindle	1	AISI 1020	0,31	R\$ 15,00	R\$ 4,69
Flange do Motor - Abas Laterias	2	ASTM 7075 T651	0,29	R\$ 50,00	R\$ 14,28
Flange do Motor - Chapa superior	1	ASTM 7075 T651	0,06	R\$ 50,00	R\$ 2,89
Suporte da Castanha Eixo X	1	ASTM 7075 T651	0,19	R\$ 50,00	R\$ 9,55
Chapa Switch	1	AISI 1020	0,02	R\$ 15,00	R\$ 0,32
Total					R\$ 488,28

Tabela 5.5: Tabela de custos de Fabricação das peças dimensionadas

Peça	Qtd	Processos	Tempo (h) ou Qtd de Cortes	Preço/(hora ou corte)	Preço
Base Estrutura	1	Fresamento em CNC	3	R\$ 190,00	R\$ 570,00
		Retífica	3	R\$ 90,00	R\$ 270,00
Apoio Guia Linear	2	Fresamento em CNC	1,5	R\$ 190,00	R\$ 570,00
		Retífica	1,5	R\$ 90,00	R\$ 270,00
Suporte Castanha Eixo Z	1	Fresamento em CNC	2,6	R\$ 190,00	R\$ 494,00
Suporte Spindle	1	Fresamento em CNC	2,6	R\$ 190,00	R\$ 494,00
		Retífica	3	R\$ 90,00	R\$ 270,00
Chapa Spindle	1	Corte a Laser	13	R\$ 6,00	R\$ 78,00
Flange do Motor - Abas Laterias	2	Fresamento em CNC	2	R\$ 190,00	R\$ 760,00
Flange do Motor - Chapa superior	1	Corte a Laser	10	R\$ 6,00	R\$ 60,00
Suporte da Castanha Eixo X	1	Fresamento em CNC	2,25	R\$ 190,00	R\$ 427,50
Chapa Switch	1	Corte a Laser	3	R\$ 6,00	R\$ 18,00
Total					R\$ 4.281,50

Tabela 5.6: Tabela de custos dos elementos fixadores

Peça	Qtd	Preço/Und	Preço
Porca M6 x 1	12	R\$ 0,60	R\$ 7,20
Porca M5 x 0.8x12	8	R\$ 0,60	R\$ 4,80
Parafuso Allen M3x0.5x20	16	R\$ 0,60	R\$ 9,60
Parafuso Allen M4x0.7	20	R\$ 0,60	R\$ 12,00
Parafuso Allen M5 x 0.8 x 16	18	R\$ 0,70	R\$ 12,60
Parafuso Allen M5 x 0.8 x 20	8	R\$ 0,70	R\$ 5,60
Parafuso Allen M5 x 0.8 x 50	4	R\$ 0,70	R\$ 2,80
Parafuso Allen M6 x 1.0 x 30	8	R\$ 0,80	R\$ 6,40
Parafuso Allen M6 x 1.0 x 55	2	R\$ 0,80	R\$ 1,60
Parafuso Allen M6 x 1.0 x 50	4	R\$ 0,80	R\$ 3,20
Inserto M6	2	R\$ 2,00	R\$ 4,00
Inserto M5	22	R\$ 2,00	R\$ 44,00
Inserto M4	20	R\$ 2,00	R\$ 40,00
Arruela Parafuso M6	12	R\$ 0,20	R\$ 2,40
Arruela Parafuso M5	8	R\$ 0,20	R\$ 1,60
Parafuso T	85	R\$ 1,60	R\$ 136,00
Porca T	10	R\$ 1,60	R\$ 16,00
TOTAL			R\$ 309,80

Foi considerado nos custos em dolares uma cotação de R\$3,9 para cada U\$1,00, taxa de 60% de importação e 17% de ICMS.

Somando-se todos os totais das tabelas de custos apresentadas, chega-se a um custo global de R\$21766,63.

6 MANUTENÇÃO

Para garantir o correto funcionamento da fresadora CNC e aumentar sua vida útil, é necessário fazer manutenções periódicas seguindo o plano de manutenção da Tabela 6.1.

Tabela 6.1: Plano de manutenção

Diário	<ul style="list-style-type: none">• Remover limalha das coberturas de passagem e do vaso de fundo;• Limpar o ventilador do spindle com ar comprimido;• Verificar as conexões dos motores, micro switches e comunicação com computador.
Semanal	<ul style="list-style-type: none">• Limpe todas as superfícies externas com um detergente neutro. NÃO utilize Solventes;• Limpar com pano seco os fusos e guias lineares;• Lubrificar com almotolia os fusos e guias lineares (não usar ar comprimido);• Lubrificar a porca do spindle;• Limpar as pinças e a porca do spindle;• Limpar o painel de componentes eletrônicos com ar comprimido;• Verificar o funcionamento dos botões de emergência da máquina.
Mensal	<ul style="list-style-type: none">• Verificar o aperto das porcas e parafusos dos fusos, guias e pontes;• Verificar o posicionamento e funcionamento dos micro switches;• Verificar o nível da mesa;• Verificar o paralelismo dos eixos;• Lubrificação total da máquina.
Semestral	<ul style="list-style-type: none">• Verificar a integridade dos acoplamentos elásticos;• Verificar a integridade dos patins das guias lineares;• Verificar a integridade dos rolamentos;• Verificar se há ranhuras ou marcas de esforços excessivos nos fusos;• Verificar o aperto de todos os elementos de fixação da máquina;• Realizar teste de repetitividade da máquina;• Realizar teste de precisão da máquina;

7 CONCLUSÕES

O projeto em questão teve seu andamento em conformidade com as expectativas e objetivos. Após as análises de rigidezes dos componentes mecânicos da SMT, foi possível constatar que os deslocamentos totais dos componentes são satisfatórios. O maior deles foi 0,05 mm, o que é considerado um valor tolerado, tendo em vista a necessidade uma precisão de até 0,2 mm.

O projeto de desenvolvimento foi realizado de forma que, nesta fresadora, foram corrigidos os problemas detectados na fresadora já existente na empresa Avixy Tecnologia LTDA.

As dimensões das peças projetadas são compatíveis com as limitações físicas, sendo possível alcançar um curso de 250 mm do eixo vertical. Todo o projeto foi conduzido pensando em sua fabricação, de forma que os componentes desta máquina possuem processos de manufatura simples, baixa complexidade na montagem e fácil manutenção.

Visando a redução de custos desta conversão, reutilizou-se o maior número possível de componentes da máquina a ser convertida, contribuindo para que fosse alcançado um baixo custo de projeto.

A eletrônica selecionada para a máquina é capaz de produzir boa repetitividade, atestada por meio de teste sistemático feito com a estrutura atual da máquina rodando em velocidade máxima durante o período de uma hora.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] JUKI Mind e Technology., FTF Series: 32-56 mm Tape Feeders with deeper pocket., 2007. Disponível em: https://www.juki.co.jp/smt_e/information/press_release/release_ftf.html Acessado em: 21 maio. 2015
- [2] TirpakDual-delivery SMT 2000.
- [3] Siemens., Multi-head SMT placement machine 2000.
- [4] CIMM Machining on Line Ltda., Fresadora Vertical Disponível em: http://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/4869#.VYnDSP1Vikp Acessado em: 21 maio. 2015
- [5] CIMM Machining on Line Ltda.,Fresadora Horizontal Disponível em: http://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/4870#.VXxxys9Viko Acessado em: 21 maio. 2015
- [6] GrabCad., CNC Router Milling Machine Disponível em: <https://grabcad.com/library/cnc-router-milling-machine-ct-1-1> Acessado em: 21 maio. 2015
- [7] RBS Rockford Ball Screw., Fuso de esferas recirculantes e rolamento linear Disponível em: <http://www.rockfordballscrew.com/products/ball-screws/> Acessado em: 21 maio. 2015
- [8] NCO Comercio de mangueiras e vedaçõesAcoplamento elástico Disponível em: <http://ncovedacoes.com.br/acoplamento-elastico.htm> Acessado em: 21 maio. 2015
- [9] Laboratório de GaragemSensor de fim de curso Disponível em: <http://labdegaragem.com/forum/topics/rob-jabutino> Acessado em: 21 maio. 2015
- [10] AWEA The Ultimate Machinig PowerHigh Rigidity Structure of FMV Series Machine Disponível em: http://www.awea.com/awea_en/milling/5-axes/fmv/construction.htm Acessado em: 12 junho. 2015
- [11] Portal Metalica Construção CivilCalculo de esforços em fresamento frontal., Disponível em: <http://wwwo.metalica.com.br/equacionamento-da-forca-de-corte> Acessado em: 14 junho. 2015
- [12] Mitsubich Materials Corporation., Formulas para Potência de corte Disponível em: http://www.mitsubishicarbide.net/contents/mht/pt/html/product/technical_information/information/formula4.html Acessado em: 14 junho. 2015
- [13] Grupo IndaçoInformações técnicas, Tabela de escolha do tipo de fresa Disponível em: <http://www.grupoindaco.com.br/parametros/parametros.pdf> Acessado em: 14 junho. 2015
- [14] Processos de fabricação, Furação Disponível em: http://www.geocities.ws/cmovbr73/ProcFabr_Cap9_Furacao.pdf Acessado em: 14 junho. 2015

- [15] NSK Technical Journal., Linear Rolling Guides Disponível em: http://onexia.com/pdf/NSK_Linear_Guides.pdf Acessado em: 4 junho. 2015
- [16] Photobucket., Air cooled Spindle 3kW Disponível em: http://s626.photobucket.com/user/simon_elf/media/ZHANGYAOHUA/007.jpg.html Acessado em: 17 junho. 2015
- [17] Steel Technology., Fuso de esferas recirculantes Disponível em: <http://www.steel-technology.com/steeladmin/upload/productgallery/1383113872-img-image1.jpg> Acessado em: 17 junho. 2015
- [18] Thomson Industries ., Especificação e reparo de fusos esfericos Disponível em: <http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/1109-fuso-de-esferas-especificacao-e-reparo> Acessado em: 23 junho. 2015
- [19] NSK Global., Linear Guides Disponível em: <http://www.nsk.com/products/precisionmachine/linearguide/> Acessado em: 17 junho. 2015
- [20] SHIGLEY, J. E. et al. *Elementos de Máquinas de Shigley: Projeto de Engenharia Mecânica*, 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011
- [21] Machado, A. R., Silva, M. B., Abrao, A. M. e Coelho, R. T., *Tecnologia da Usinagem dos Materiais*, 2ª. ed., Artliber, São Paulo, Brasil
- [22] Diniz, A. E., Marcondes, F. C. e Coppini, N. L. *Teoria da Usinagem dos Materiais*, 1ª Ed, Ed. Blucher, São Paulo, Brasil
- [23] Delta Eletronics, Inc. ,Inversor de Frequência VFD-EL., Disponível em: http://www.kalatec.com.br/inversor_de_frequencia/VFD-EL_C_PR_20091019.pdf Acessado em: 4 novembro 2015
- [24] Aliexpress, Servomotor AC 400 W Disponível em: <http://pt.aliexpress.com/item/60CM-8M13330-AC-Servo-Motor-Driver-3-Kits-Complete-System-2500CPR.html> Acessado em: 4 novembro 2015
- [25] ThanksBuyer, YZ-ACSD608 Brushless servo driver Disponível em: <http://www.thanksbuyer.com/yz-acsd608-brushless-servo-motor-200w-29511> Acessado em: 4 novembro 2015
- [26] RP Eletronics, AC-DC Power Supply 150 W 15 VDC 10A Disponível em: <http://www.rpelectronics.com/s-150-15-ac-dc-power-supply-150w-15vdc-10a.html> Acessado em: 4 novembro 2015
- [27] CNC4PC, C11G Multifunction CNC Board Disponível em: <https://cnc4pc.com/c11g-multifunction-cnc-board.html> Acessado em: 4 novembro 2015
- [28] CNC4PC, MPG2 Pendant Disponível em: <https://cnc4pc.com/mpg2-pendant.html> Acessado em: 4 novembro 2015

- [29] CNC4PC, C22 Pendant Interface Card for LPT2 Disponível em: <https://cnc4pc.com/c22-pendant-interface-card-for-lpt2.html> Acessado em: 4 novembro 2015
- [30] Warp9 Tech Design, Inc., Ethernet Smooth Stepper Disponível em: <http://www.warp9td.com/index.php/documentation/doc-ess> Acessado em: 4 novembro 2015
- [31] CNC4PC, A61 Inductive Switch Assembly Disponível em: <https://cnc4pc.com/a61-inductive-switch-assembly-to-rj45.html> Acessado em: 4 novembro 2015
- [32] TBIMOTION, Linear Guide TRH15 Disponível em: <http://www.tbimotion.com.tw/product/category/15/1/en> Acessado em: 6 novembro 2015
- [33] Mech Utah, Mechanical Engineers UT. Ball Screw Selection and Calculations, 1998. Disponível em: <http://www.mech.utah.edu/me7960/lectures/Topic4-BallscrewCalculations.pdf> Acessado em: 19 novembro 2015
- [34] Mecatrônica atual, Fuso de esferas: especificação e reparo, 2001. Disponível em: <http://www.mecatronicaatual.com.fuso-de-esferas-especificacao-e-reparo> Acessado em: 19 novembro 2015
- [35] KalatecOldham 32-K Disponível em: <http://www.kalatec.com.br/oldhan> Acessado em: 6 novembro 2015
- [36] Alu-Cek Estruturas Modulares, Perfil Estrutural 20x120 Disponível em: http://www.alu-cek.com.br/site/index.php?option=com_content&view=article&id=208 Acessado em: 13 novembro 2015
- [37] OBR Equipamentos Industriais Ltda Porcas e parafusos T Disponível em: <http://www.obr.com.br/perfis/parafusos-e-porcass/parafuso-t.html> Acessado em: 13 novembro 2015
- [38] DKJ China, Mesa de sacrifício Disponível em: <http://g04.s.alicdn.com/kf/HTB1XXYLGVXXXXaeXVXXq6xXFXXXj/200631013/HTB1XXYLGVXXXXaeXVXXq6xXFXXXj.jpg> Acessado em: 13 novembro 2015
- [39] Shah, Chandresh, *TMesh Discretization Error and Criteria for Accuracy of Finite Element Solutions. Paper presented at the Ansys Users Conference, Pittsburgh, PA*

LS Series (Preloaded assembly)

Dimensions of LS Series (Preloaded assembly)

LS-CL (Medium load type)

LS-AL (High load type)

- Specification number of preloaded assembly (Custom made assembly)

Model number	Rail length (mm)	Ball slide shape	Material/surface treatment (See Page A24)	Number of ball slides per rail	Preload code	Accuracy grade
LH350840	AL	C	2	PN	Z0	II
					<ul style="list-style-type: none"> • Z0 fine clearance • Z1 slight preload • Z3 medium preload 	<ul style="list-style-type: none"> • PN normal grade • P6 precision grade • P5 high precision grade • P4 super precision grade • P3 ultra precision grade
					II refers to a set of 2 linear guides; no code refers to one	
					C: Standard material K: Stainless steel	

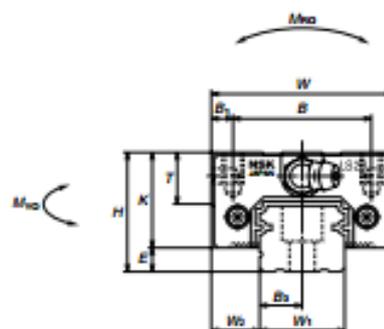
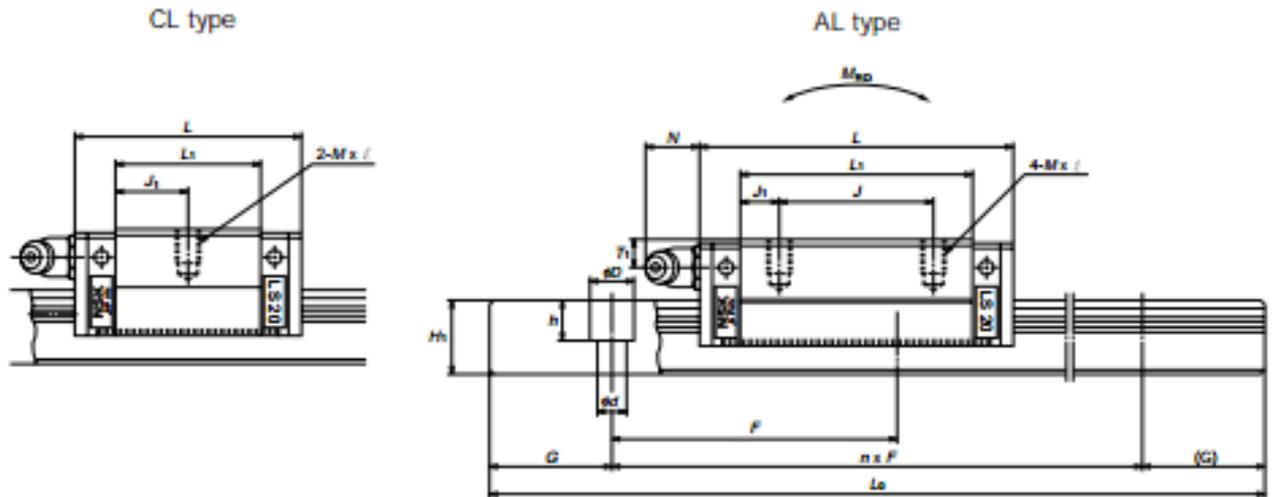


Table. I-5-8

Model No.	Assembly			Ball slide												
	Height H	E	W ₂	Width W	Length L	Mounting tap hole			B ₁	L ₁	J ₁	K	T	Grease fitting		
						B	J	M x pitch x ℓ						Hole size	T ₁	N
LS15CL	24	4.6	9.5	34	40.4	26	—	M4×0.7×6	4	23.6	11.8	19.4	10	φ 3	6	3
LS15AL					56.8		26			40	7					
LS20CL	28	6	11	42	47.2	32	—	M5×0.8×7	5	30	15	22	12	M6×0.75	5.5	11
LS20AL					65.2		32			48	8					
LS25CL	33	7	12.5	48	59.6	35	—	M6×1×9	6.5	38	19	26	12	M6×0.75	7	11
LS25AL					81.6		35			60	12.5					
LS30CL	42	9	16	60	67.4	40	—	M8×1.25×12	10	42	21	33	13	M6×0.75	8	11
LS30AL					96.4		40			71	15.5					
LS35CL	48	10.5	18	70	77	50	—	M8×1.25×12	10	49	24.5	37.5	14	M6×0.75	8.5	11
LS35AL					108		50			80	15					

*Either M3 (3.5x6x4.5) or M4 (4.5x7.5x5.3) is available for mounting LS15 rail. *T* is added to the end of length code in the reference number of interchangeable rail with M4 mounting hole.



Unit: mm

Rail							Basic load rating					Ball dia.	Weight	
Width	Height	Pitch	Mounting bolt hole	B_s	G (recommended)	Max. length L_{max} () for stainless	Dynamic C (N[kgf])	Static C_0 (N[kgf])	Static moment M_{s0} M_{s1} M_{s2} (N · m[kgf · m])			D_w	Ball slide (kg)	Rail (kg/m)
W_1	H_1	F	$d \times D \times h$											
15	12.5	60	* 3.5x6x4.5 4.5x7.5x5.3	7.5	20	2000 (1700)	4550	8300	39	20	20	2.778	0.14	1.4
							[465]	[845]	[4]	[2]	[2]			
20	15.5	60	6x9.5x8.5	10	20	3960 (3500)	6700	12500	69	49	49	3.175	0.19	2.3
							[685]	[1270]	[7]	[5]	[5]			
							8900	17500	127	88	88			
23	18	60	7x11x9	11.5	20	3960 (3500)	10600	18600	137	69	69	3.968	0.34	3.1
							[1080]	[1900]	[14]	[7]	[7]			
							14400	29100	245	206	196			
28	23	80	7x11x9	14	20	4000 (3500)	15900	26500	245	108	108	4.762	0.58	4.8
							[1620]	[2700]	[25]	[11]	[11]			
							23400	43000	470	355	355			
34	27.5	80	9x14x12	17	20	4000 (3500)	22100	36000	410	177	177	5.556	0.86	7.0
							[2250]	[3650]	[42]	[18]	[18]			
							32500	58500	775	570	560			
							[3320]	[5940]	[79]	[58]	[57]			

*Either M3 (3.5x6x4.5) or M4 (4.5x7.5x5.3) is available for mounting LS15 rail. *T* is added to the end of length code in the reference number of interchangeable rail with M4 mounting hole.

CL type

AL type

LY Series (Preloaded assembly)

Dimensions of LY Series (Preloaded assembly)

LY-AL (High load type)

LY-BL (Super high load type)

• Specification number of preloaded assembly
(Custom made assembly)

LY 35 0840 AL C 2 - P6 Z0 - II

Model number	LY	35	0840	AL	C	2	-	P6	Z0	-	II
Rail length(mm)											
Ball slide shape											
Material/surface treatment											
Number of ball slides per rail											

II refers to a set of 2 linear guides; no code refers to one

Preload code

- Z0 fine clearance
- Z1 slight preload
- Z3 medium preload
- Z4 heavy preload

Accuracy grade

- P6 precision grade
- P5 high precision grade
- P4 super precision grade
- P3 ultra precision grade

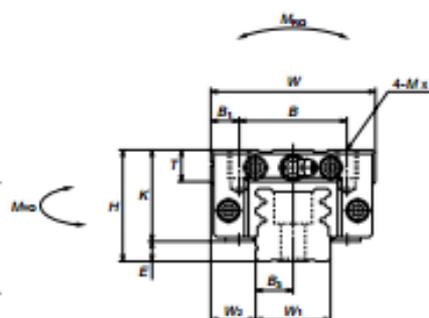


Table. I-5-19

Model No.	Assembly			Ball slide												
	Height H	E	W ₂	Width W	Length L	Mounting tap hole			B ₁	L ₁	J ₁	K	T	Grease fitting		
						B	J	M x pitch x ℓ						Hole size	T ₁	N
LY15AL	24	4.5	9.5	34	55	26	26	M4x0.7x6	4	39	6.5	19.5	10	φ 3	5	3
LY20AL	30	7	12	44	69.4	32	36	M5x0.8x8	6	50	7	23	12	φ 3	5	3
LY20BL					85.4											
LY25AL	36	5.5	12.5	48	80.8	35	35	M6x1x10	6.5	58	11.5	30.5	10	M6x0.75	6	11
LY25BL					102.8											
LY30AL	42	7.5	16	60	95.2	40	40	M8x1.25x11	10	68	14	34.5	11	M6x0.75	6.5	11
LY30BL					115.2											
LY35AL	48	7.5	18	70	110.4	50	50	M8x1.25x12	10	80	15	40.5	12	M6x0.75	8	11
LY35BL					133.4											
LY45AL	60	10	20.5	86	137	60	60	M10x1.5x16	13	102	21	50	13	PT1/8	10	13
LY45BL					169											



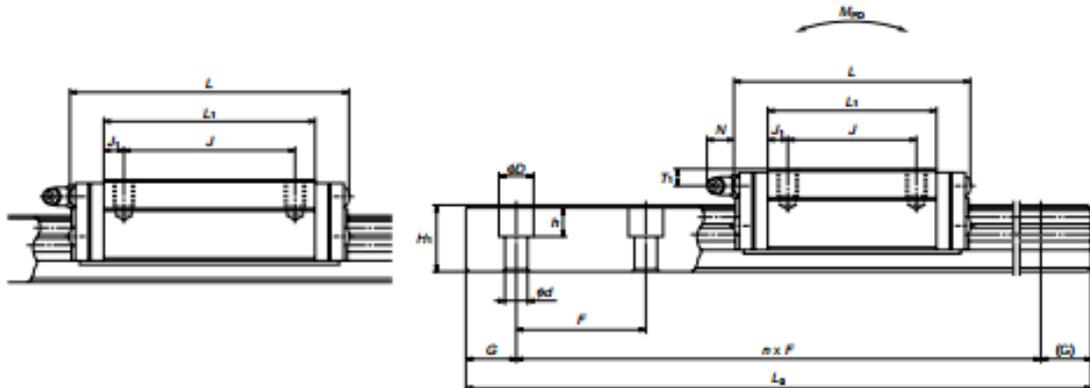
CL type

AL type



BL type

AL type

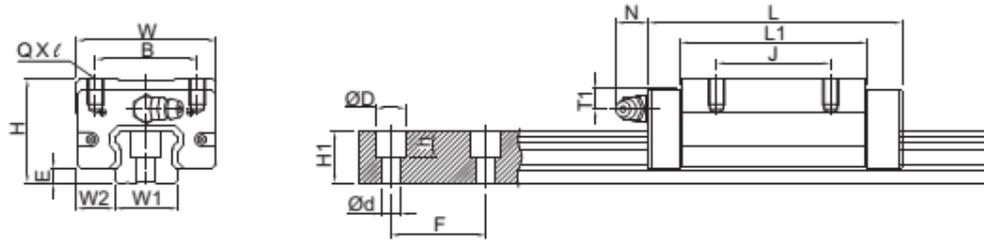


Unit: mm

Rail							Basic load rating					Ball dia.	Weight	
Width	Height	Pitch	Mounting bolt hole	B_s	G (recommended)	Max. length L_{max}	Dynamic C	Static C_s	Static moment			D_w	Ball slide (kg)	Rail (kg/m)
W_t	H_t	F	$d \times D \times h$				(N[kgf])		M_{b0}	M_{b1}	M_{b2}			
15	14	60	4.5×7.5×5.3	7.5	20	2000	5950 [605]	7300 [745]	69 [7]	49 [5]	49 [5]	3.175	0.16	1.6
20	19	60	6×9.5×8.5	10	20	2000	9550 [975]	11100 [1130]	137 [14]	88 [9]	88 [9]	3.968	0.3	2.9
							11700 [1190]	15100 [1540]	147 [15]	137 [14]	137 [14]		0.41	
23	22.5	60	7×11×9	11.5	20	2200	17100 [1740]	26000 [2650]	305 [31]	206 [21]	206 [21]	3.968	0.49	3.9
							22500 [2290]	38500 [3910]	345 [35]	430 [44]	430 [44]		0.66	
							25200 [2570]	37500 [3840]	530 [54]	355 [36]	355 [36]		4.762	
30500 [3120]	49500 [5030]	570 [58]	600 [61]	600 [61]	1.0									
34	31	80	9×14×12	17	20	3000	35000 [3590]	51000 [5220]	880 [90]	580 [59]	580 [59]	5.556	1.3	7.9
							42500 [4330]	67000 [6850]	920 [94]	940 [96]	940 [96]		1.6	
							51500 [5260]	77500 [7880]	1790 [183]	1160 [118]	1160 [118]		6.350	
63500 [6490]	104000 [10600]	1830 [187]	1880 [191]	1880 [191]	3.2									

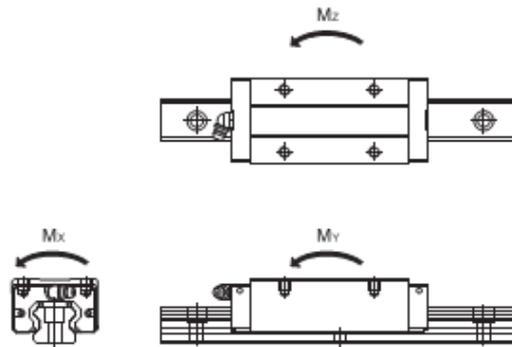
TRH-V Series Specifications

LINEAR GUIDE



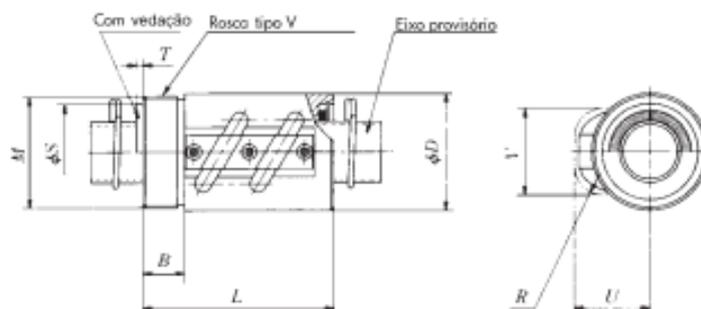
Model No.	Assembly(mm)			Block Dimension(mm)								Rail(mm)						
	H	W2	E	W	B	J	L	L1	QXℓ	T1	Oil Hole	N	W1	H1	ØD	h	Ød	F
TRH15VN	28	9.5	3.2	34	26	26	56.9	39.5	M4X8	9.5	M4X0.7	7	15	13	7.5	6	4.5	60
TRH15VL							65.4	48										
TRH20VN	30	12	4.6	44	32	36	75.6	54	M5X7	6.5	M6X1	14	20	16.5	9.5	8.5	6	60
TRH20VL							80.6	59										
TRH20VE							50	99.6										
TRH25VN	40	12.5	5.8	48	35	35	81	59	M6X8	11.5	M6X1	14	23	20	11	9	7	60
TRH25VL							93	71										
TRH25VE							50	110										
TRH30VN	45	16	7	60	40	40	96.3	69.3	M8X10	11	M6X1	14	28	23	14	12	9	80
TRH30VL							107	80										
TRH30VE							60	132										
TRH35VN	55	18	7.5	70	50	50	109	79	M8X10	15	M6X1	14	34	26	14	12	9	80
TRH35VL							123	93										
TRH35VE							72	153										
TRH45VL	70	20.5	8.9	86	60	60	140	106	M10X15	20.5	PT1/8	12.5	45	32	20	17	14	105
TRH45VE						80	174	140										
TRH55VL	80	23.5	13	100	75	75	162	118	M12X18	21	PT1/8	12.5	53	44	23	20	16	120
TRH55VE						95	200.1	156.1										
TRH65VL	90	31.5	14	126	76	70	197	147	M16X20	19	PT1/8	12.5	63	53	26	22	18	150
TRH65VE						120	256.5	206.5										

※The above standard provided is dedicated to XN, UN, please check table 2.2.17 for detail, if other accessories is required, please refer to page A90.※



Model No.	Load Rating (kgf)		Static Permissible Moment					Weight	
	C	Co	My(kgf-mm)			Mz(kgf-mm)		Block (kg)	Rail (kg/m)
			Single Block	Single Block	Double Block	Single Block	Double Block		
TRH15VN	1206	2206	16,436	14,884	70,960	14,884	70,960	0.13	1.32
TRH15VL	1343	2574	19,175	20,429	95,224	20,429	95,224	0.2	
TRH20VN	2050	3696	37,334	33,268	157,298	33,268	157,298	0.26	2.28
TRH20VL	2125	3891	39,299	36,965	176,924	36,965	176,924	0.29	
TRH20VE	2553	5058	51,089	63,229	284,163	63,229	284,163	0.38	
TRH25VN	2581	4503	52,239	43,407	207,324	43,407	207,324	0.54	3.17
TRH25VL	2875	5254	60,945	59,579	277,678	59,579	277,678	0.55	
TRH25VE	3248	6255	72,554	85,112	391,311	85,112	391,311	0.68	
TRH30VN	3807	6483	90,722	74,970	355,321	74,970	355,321	0.76	4.54
TRH30VL	4098	7203	100,803	93,100	438,966	93,100	438,966	0.85	
TRH30VE	4791	9004	126,003	147,000	677,068	147,000	677,068	1.12	
TRH35VN	5090	8346	142,722	106,070	519,799	106,070	519,799	1.31	6.27
TRH35VL	5502	9328	159,512	133,367	656,509	133,367	656,509	1.52	
TRH35VE	6667	12274	209,885	233,977	1,070,533	233,977	1,070,533	2	
TRH45VL	7572	12808	292,657	220,751	1,030,183	220,751	1,030,183	2.7	10.4
TRH45VE	8852	16010	365,821	348,554	1,598,703	348,554	1,598,703	3.58	
TRH55VL	14703	21613	571,342	411,729	2,019,184	411,729	2,019,184	3.60	16.1
TRH55VE	17349	27377	723,699	670,530	3,148,637	670,530	3,148,637	4.70	
TRH65VL	22526	31486	973,074	695,840	3,594,277	695,840	3,594,277	7.76	22.54
TRH65VE	27895	42731	1,320,601	1,307,568	6,312,759	1,307,568	6,312,759	11.15	

**Série R - Fusos de Esferas Laminados - Classe de Precisão C10
RNCT Diâmetro 10 mm x 3 mm até Diâmetro 50 mm x 16 mm**



Código da porca	Diâmetro nominal d	Passo l	Diâmetro das esferas Dw	B.C.D. d _m	Número de voltas	Capacidade de carga		Folga axial máx.
						Dinâmica kgf C _{0a}	Estática kgf C _a	
RNCT1003A3.5	10	3	2,381	10,65	3,5 x 1	385	685	0,10
RNCT1404A3.5	14	4	2,778 (7/64)	14,5	3,5 x 1	545	1100	0,10
RNCT1405A2.5	14	5	3,175 (1/8)	14,5	2,5 x 1	535	990	0,10
RNCT1808A3.5 RNCT1808A3.5S	18	8	4,762 (3/16)	18,5	3,5 x 1	1350	2630	0,15
RNCT2005A2.5 RNCT2005A2.5S	20	5	3,175 (1/8)	20,5	2,5 x 1	650	1450	0,10
RNCT2505A5 RNCT2505A5S	25	5	3,175 (1/8)	25,5	2,5 x 2	1310	3710	0,10
RNCT2510A5 RNCT2510A5S	25	10	6,350 (1/4)	26	2,5 x 2	3240	7170	0,20
RNCT2806A5 RNCT2806A5S	28	6	3,175 (1/8)	28,5	2,5 x 2	1380	4140	0,10
RNCT3210A5 RNCT3210A5S	32	10	6,350 (1/4)	33,75	2,5 x 2	3640	9410	0,20
RNCT3610A5 RNCT3610A5S	36	10	6,350 (1/4)	37	2,5 x 2	3890	10400	0,20
RNCT4010A7 RNCT4010A7S	40	10	6,350 (1/4)	41,75	3,5 x 2	5460	16800	0,20
RNCT4512A5 RNCT4512A5S	45	12	7,144 (9/32)	46,5	2,5 x 2	5060	15000	0,23
RNCT5010A7 RNCT5010A7S	50	10	6,350 (1/4)	51,75	3,5 x 2	6060	21000	0,20
RNCT5016A5 RNCT5016A5S	50	16	9,525 (3/8)	52	2,5 x 2	10200	29900	0,23

Obs.: 1 - Os tubos de recirculação não interferem com dimensões maiores que U, V e R.

38

2 - Comprimento máximo da haste pode ser ligeiramente superior ao nominal l_s .

3 - Os fusos de esferas NSK vêm de fábrica lubrificados com óleo protetivo, devendo



Codificação da haste

RS 25 10 A 20

$l_s \times 100$

Haste e porca vendidos separadamente



D.E.	Comp.	Dimensões da porca							Vedações	Dimensão da haste		Código da haste
		Dimensão da rosca		Projeção do tubo			Diã. da vedação			Diã. mín.	Comp. da haste	
D	L	M	B	U	V	R	S	T		dr	l_s	
20	38	M18 x 1,0	10	15	15	7	-	-	Não	8	400 800	RS 1003A
25	43	M24 x 1,0	10	19	20	7	-	-	Não	11,5	500 1000	RS 1404A
30	45	M26 x 1,5	10	22	21	8	-	-	Não	11	500 1000	RS 1405A
34	58	M32 x 1,5	12	27	27	14	-	-	Não Sim	13,5	500 1000 1500	RS 1808A
40	48	M36 x 1,5	12	28	27	10	-	-	Não Sim	17	500 1000 2000	RS 2005A
42	69	M40 x 1,5	15	28	31	10	-	-	Não Sim	22	1000 2000 2500	RS 2505A
44	92	M42 x 1,5	15	34	37	17	-	-	Não Sim	19	1000 2000 2500	RS 2510A
50	79	M45 x 1,5	15	33	34	10	-	-	Não Sim	25	1000 2000 2500	RS 2806A
55	97	M50 x 1,5	18	39	42	17	-	-	Não Sim	27	1000 2000 3000	RS 3210A
60	98	M55 x 2,0	18	42	46	17	-	-	Não Sim	30	1000 2000 3000	RS 3610A
65	125	M60 x 2,0	25	44	50	20	-	-	Não Sim	35	2000 3000 4000	RS 4010A
70	124	M65 x 2,0	30	47	55	20	-	-	Não Sim	39	2000 3000 4000	RS 4512A
80	140	M75 x 2,0	40	52	59	20	-	-	Não Sim	45	2000 3000 4000	RS 5010A
85	158	M80 x 2,0	40	57	63	25	-	-	Não Sim	42	2000 3000 4000	RS 5016A

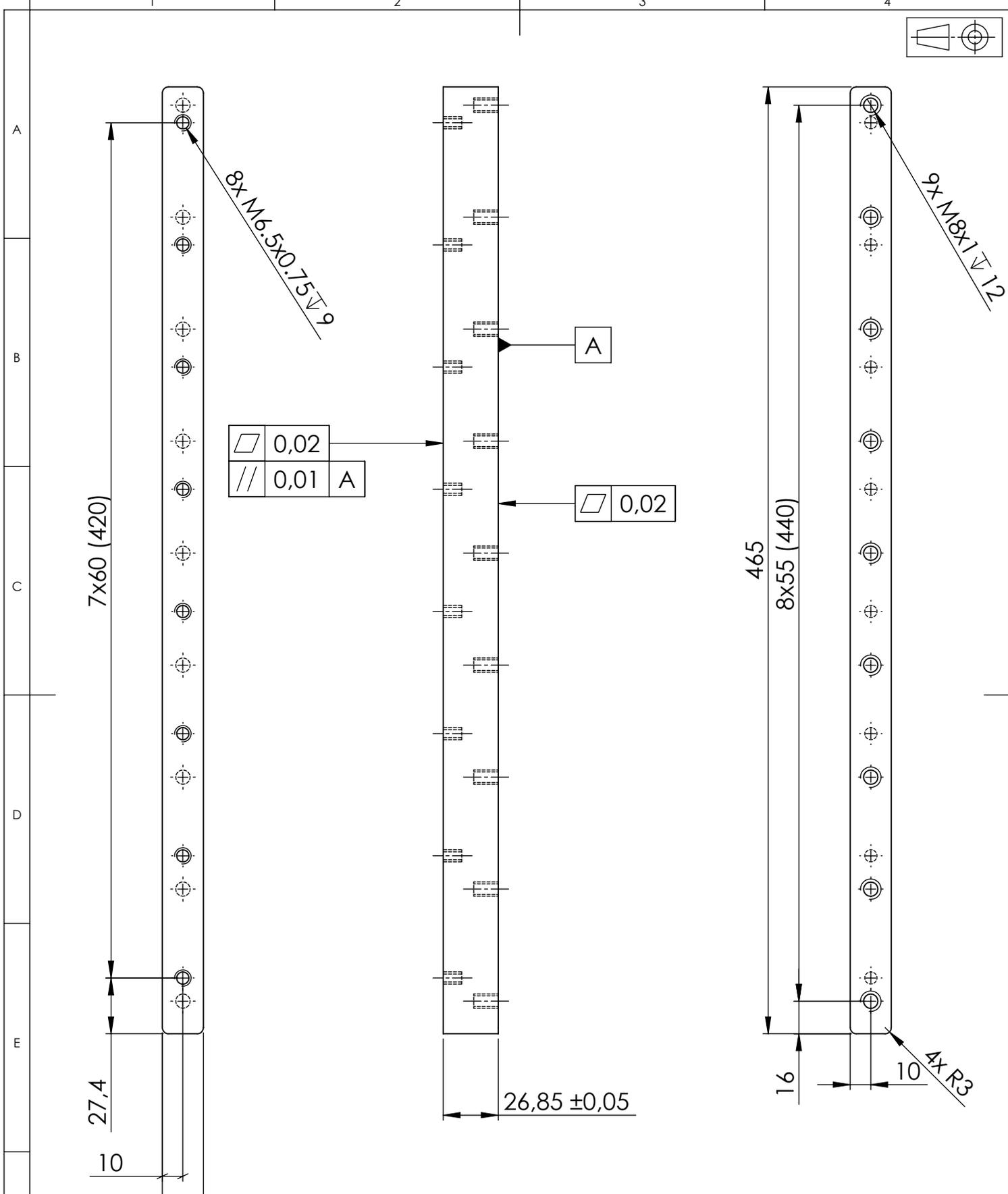
ser aplicado óleo lubrificante ou graxa antes de sua utilização.

4 - A inclusão de vedações não alteram as dimensões da porca.

5 - Produto importado. Consulte a NSK para informações sobre estoque disponível no Brasil.

8. APÊNDICE

8.1 DESENHOS TÉCNICOS



	0,02	
	0,01	A

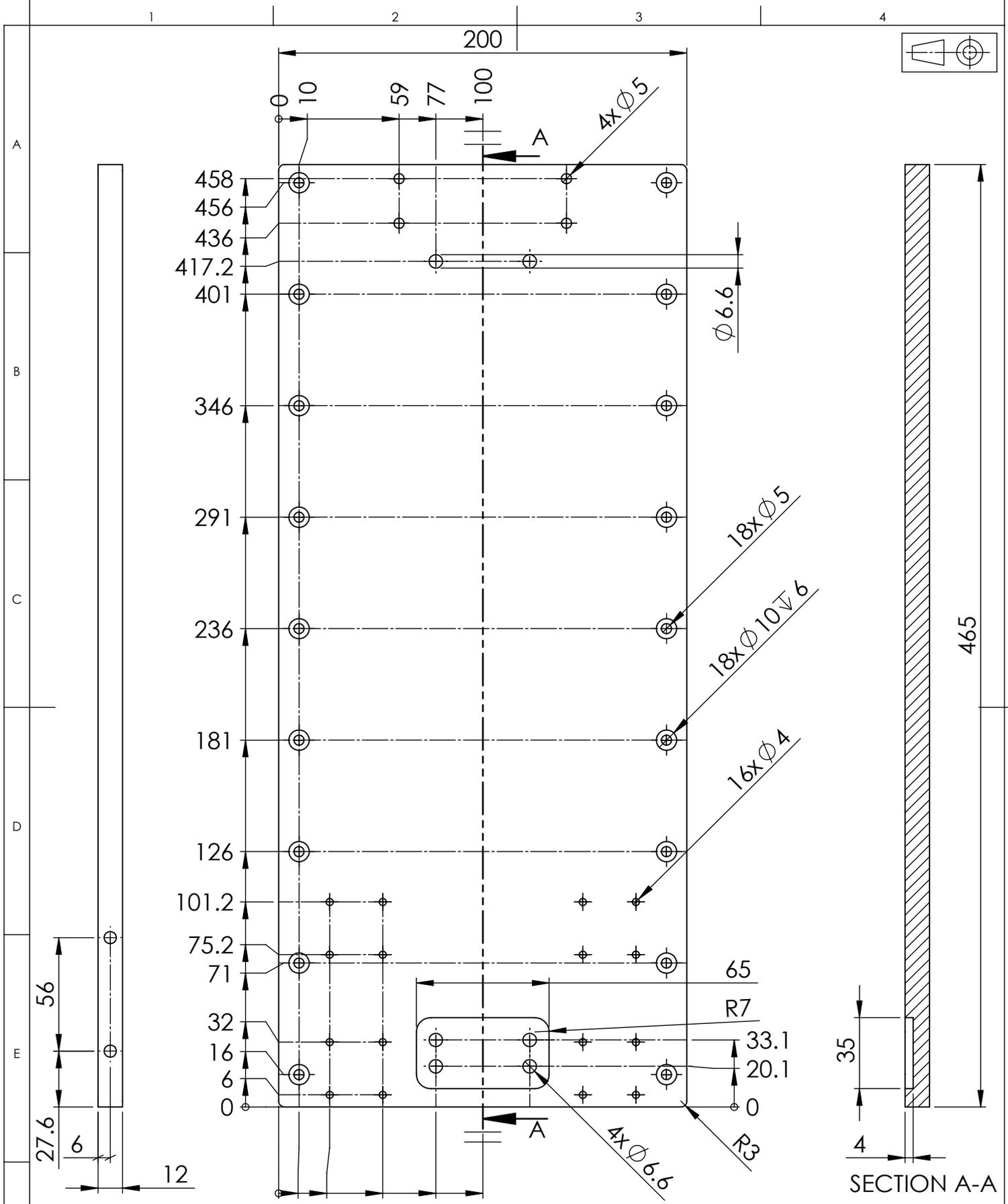
	0,02
--	------

DESCRIPTION				
Apoio Guia Linear				
PART NUMBER		DATE	PLACE	
		20/11/2015	BRASÍLIA - DF	
DRAWING		SHEET		
FELIPE CARRIJO		SHEET 1 / 1		
MATERIAL		QUANTITY	UNITS	SCALE
ASTM 7075 T651		2	mm	1:2.5
3 ±0,1	6 ±0,1	30 ±0,2	120 ±0,3	A
400 ±0,5	1000 ±0,8	2000 ±1,2	Angular: ±0,5°	

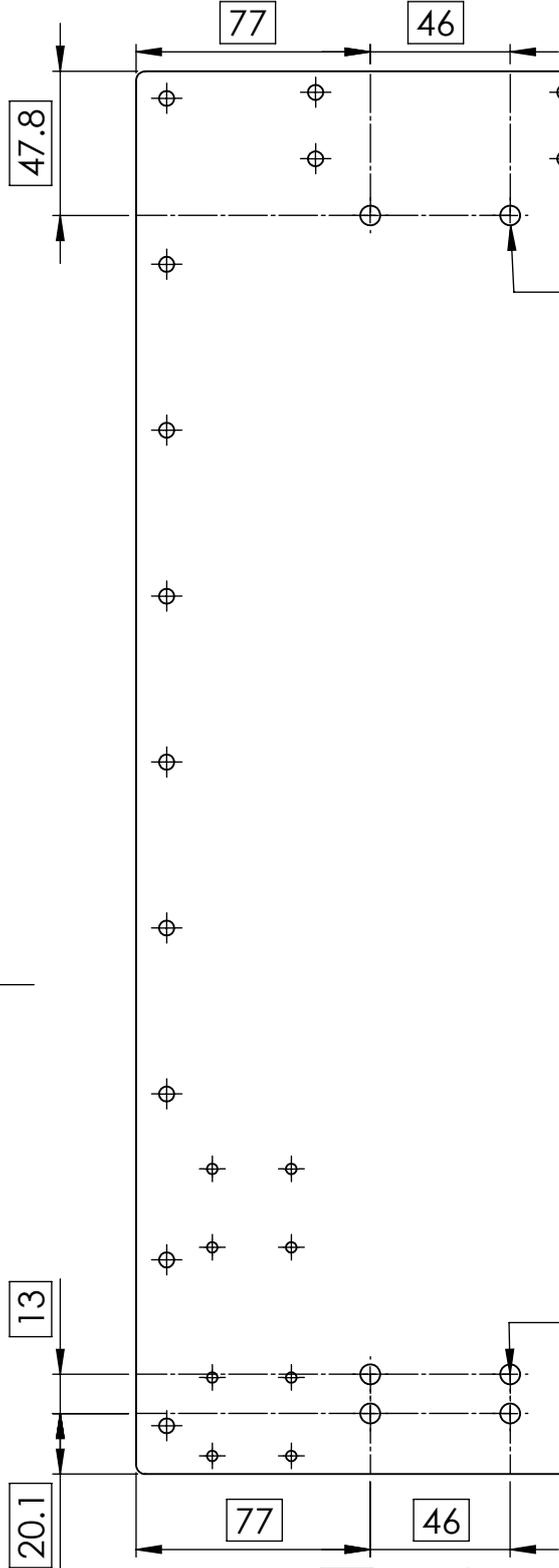
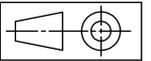
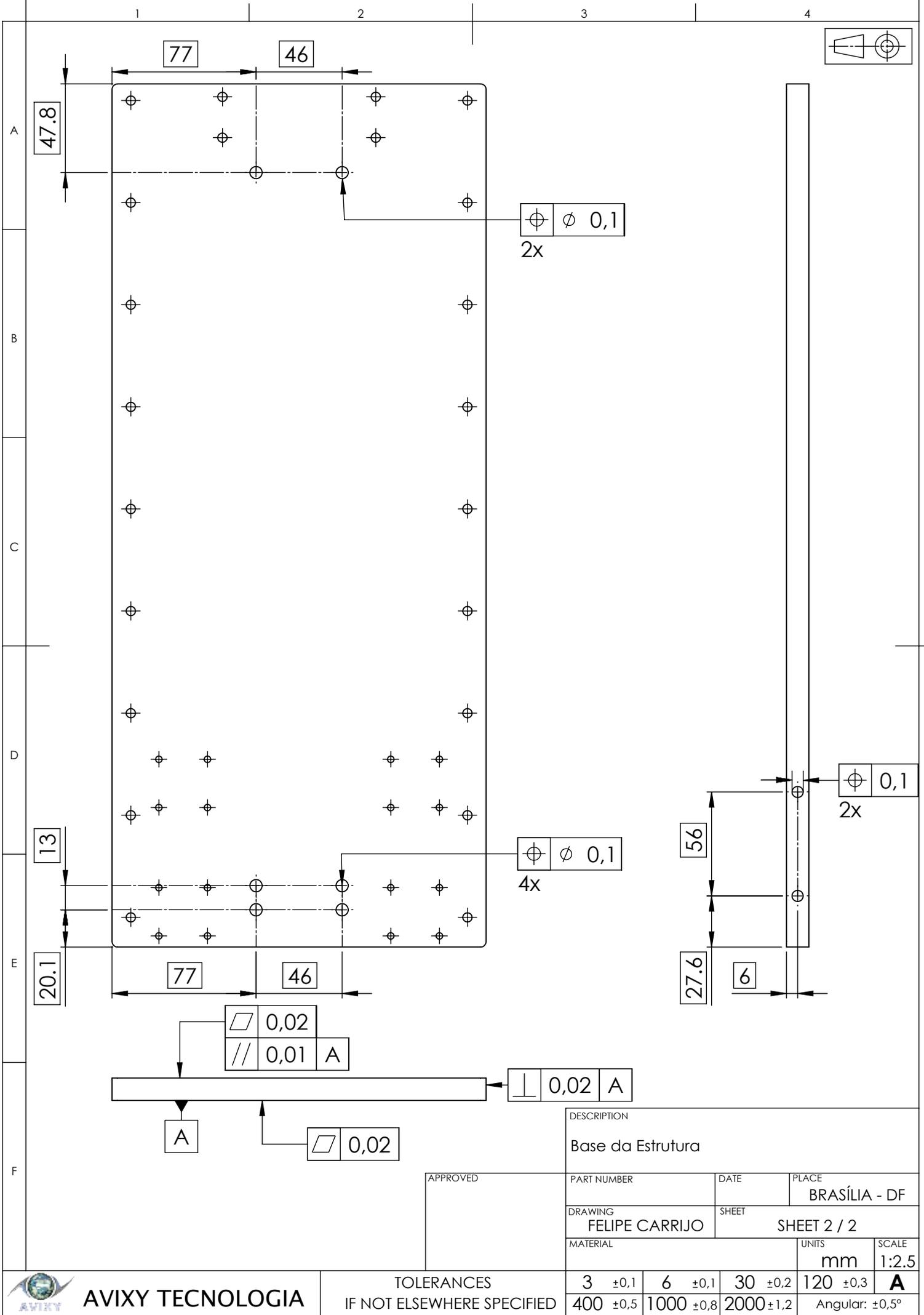


AVIXY TECNOLOGIA

TOLERANCES
IF NOT ELSEWHERE SPECIFIED



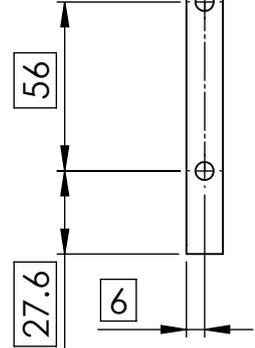
DESCRIPTION				
Base da Estrutura (Dimensões gerais)				
PART NUMBER	DATE	PLACE		
	19/11/2015	BRASÍLIA - DF		
DRAWING	SHEET	SHEET 1 / 2		
FELIPE CARRIJO				
MATERIAL	UNITS	SCALE		
	mm	1:2.5		
3 ±0,1	6 ±0,1	30 ±0,2	120 ±0,3	A
400 ±0,5	1000 ±0,8	2000 ±1,2	Angular: ±0,5°	



⊕ ∅ 0,1
2x

⊕ ∅ 0,1
4x

⊕ 0,1
2x



▧ 0,02
// 0,01 A

⊥ 0,02 A

▧ 0,02

A

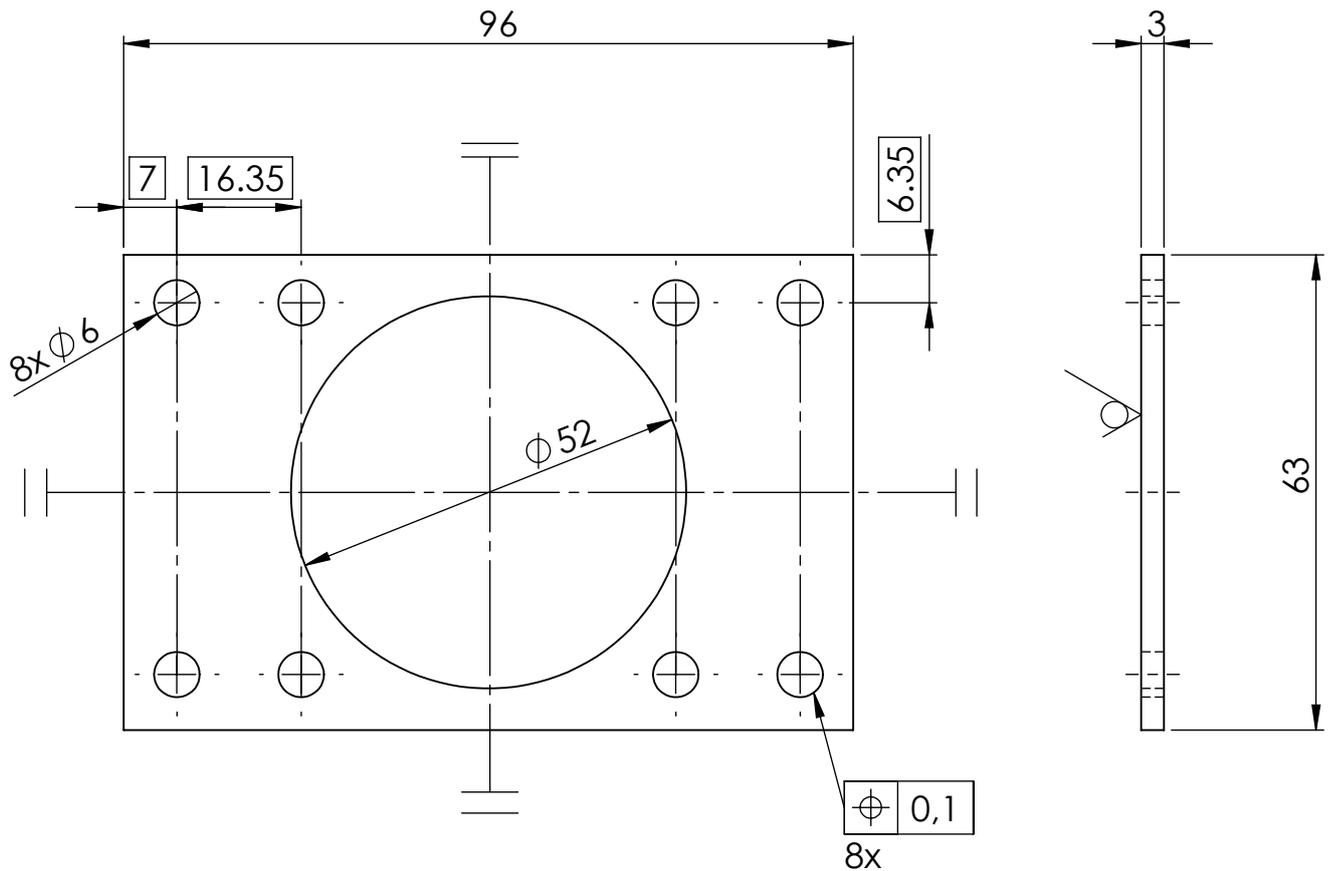
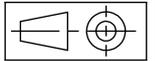
DESCRIPTION				
Base da Estrutura				
PART NUMBER		DATE	PLACE	
			BRASÍLIA - DF	
DRAWING		SHEET		
FELIPE CARRIJO		SHEET 2 / 2		
MATERIAL			UNITS	SCALE
			mm	1:2.5
3 ±0,1	6 ±0,1	30 ±0,2	120 ±0,3	A
400 ±0,5	1000 ±0,8	2000 ±1,2	Angular: ±0,5°	

APPROVED



AVIXY TECNOLOGIA

TOLERANCES
IF NOT ELSEWHERE SPECIFIED

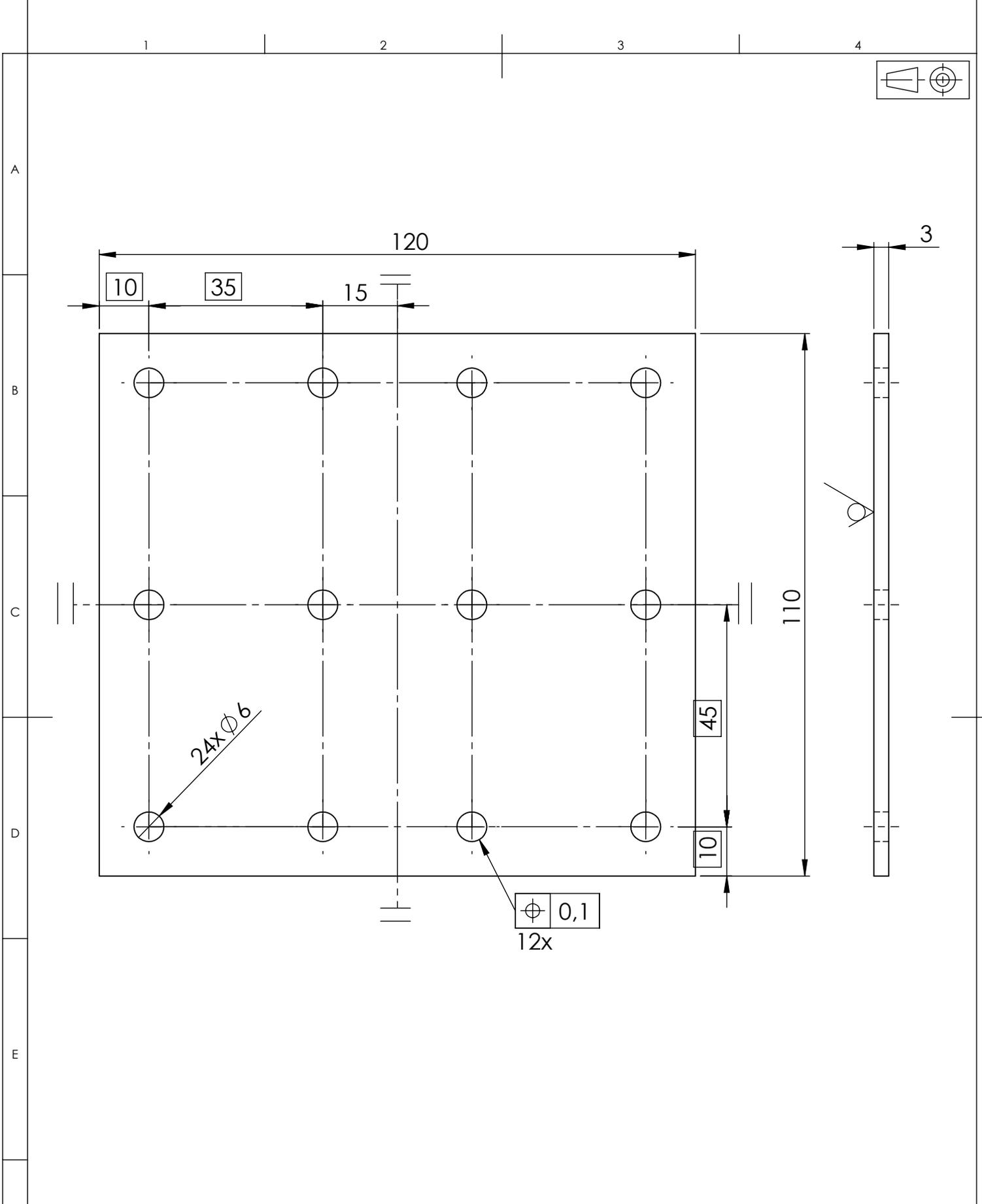


DESCRIPTION				
Chapa do flange				
PART NUMBER		DATE	PLACE	
		19/11/2015	BRASÍLIA - DF	
DRAWING		SHEET		
Rafael Moura		SHEET 1 / 1		
MATERIAL			UNITS	SCALE
AISI 1020			mm	1:1
3 ±0,1	6 ±0,1	30 ±0,2	120 ±0,3	A
400 ±0,5	1000 ±0,8	2000 ±1,2	Angular: ±0,5°	

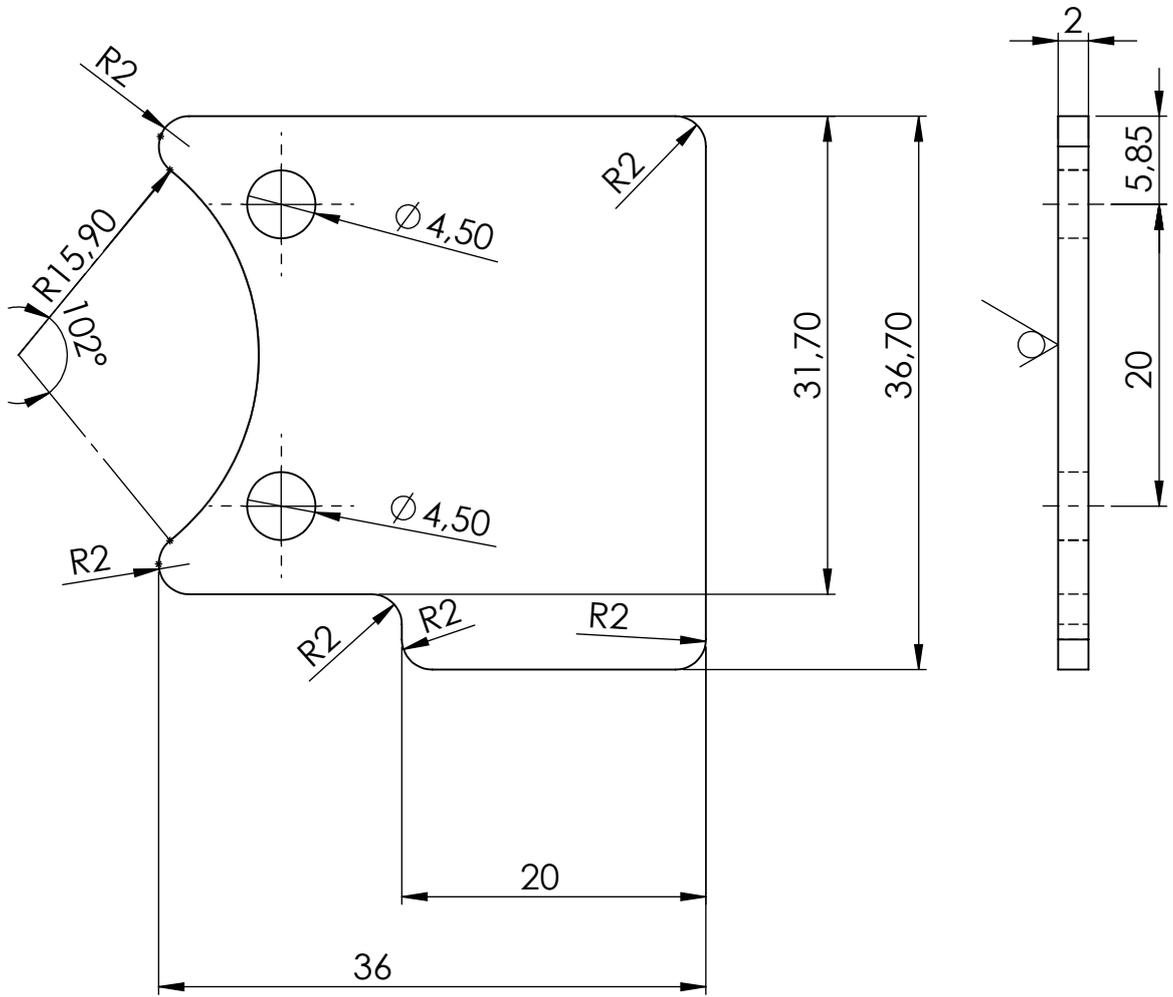
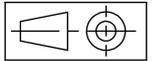


AVIXY TECNOLOGIA

TOLERANCES
IF NOT ELSEWHERE SPECIFIED



DESCRIPTION				
Chapa do spindle				
PART NUMBER		DATE	PLACE	
		19/11/2015	BRASÍLIA - DF	
DRAWING		SHEET		
Rafael Moura		SHEET 1 / 1		
MATERIAL			UNITS	SCALE
AISI 1020			mm	1:1
3	±0,1	6	±0,1	30 ±0,2
120	±0,3	A		
400	±0,5	1000	±0,8	2000 ±1,2
Angular: ±0,5°				

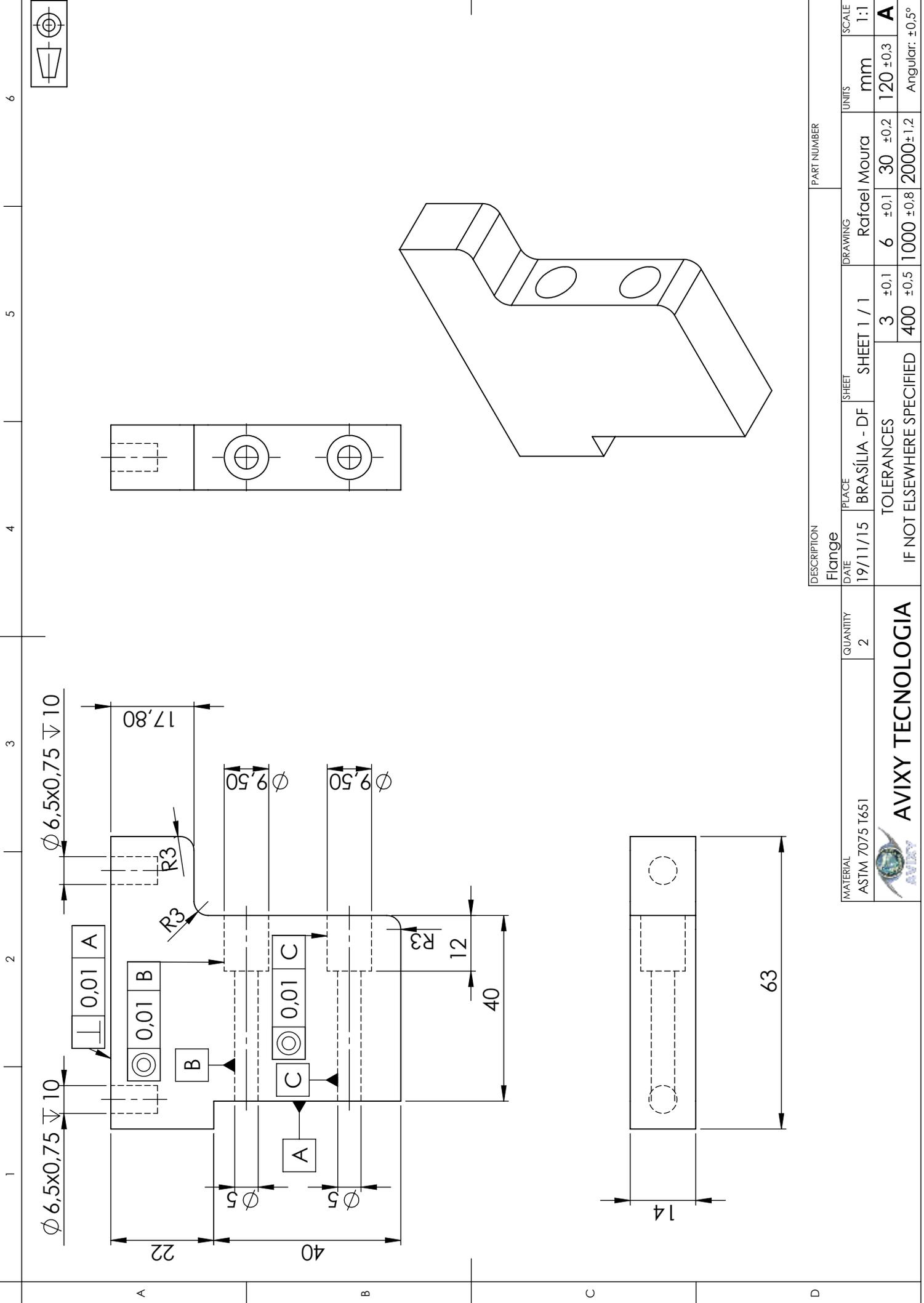


DESCRIPTION				
Chapa do micro switch				
PART NUMBER		DATE	PLACE	
		19/11/2015	BRASÍLIA - DF	
DRAWING		SHEET		
Rafael Moura		SHEET 1 / 1		
MATERIAL			UNITS	SCALE
AISI 1020			mm	2:1
3 ±0,1	6 ±0,1	30 ±0,2	120 ±0,3	A
400 ±0,5	1000 ±0,8	2000 ±1,2	Angular: ±0,5°	

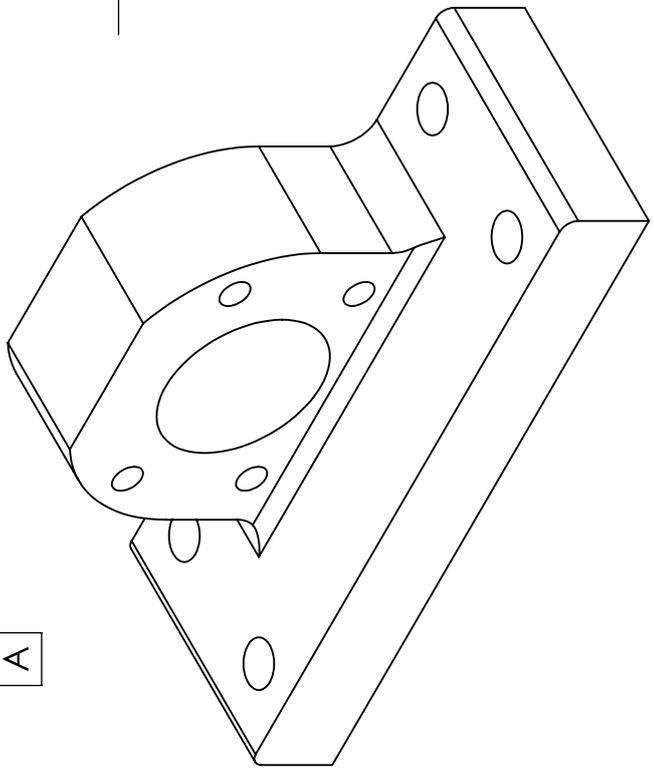
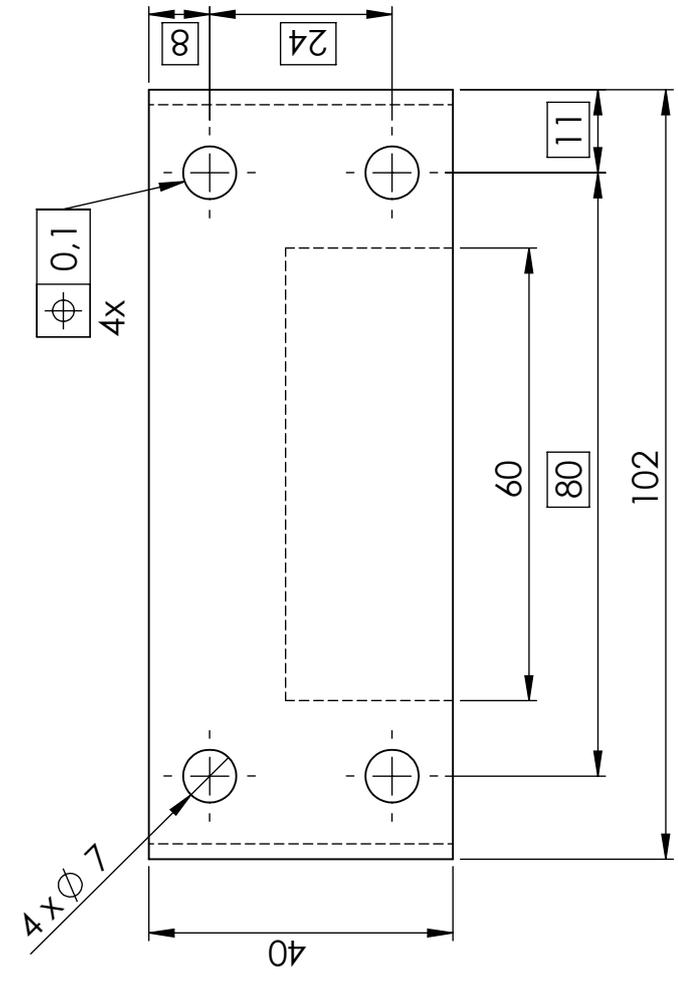
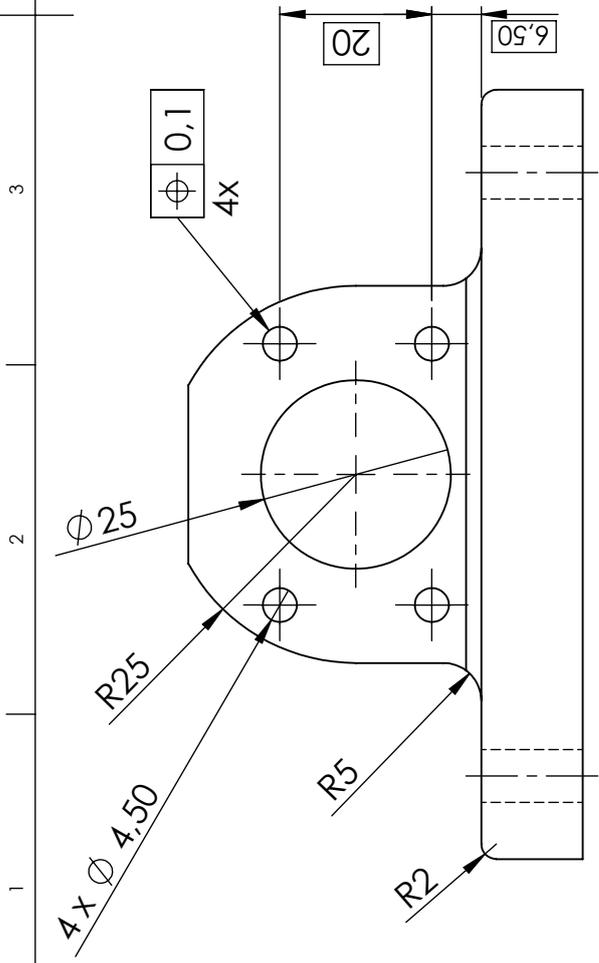
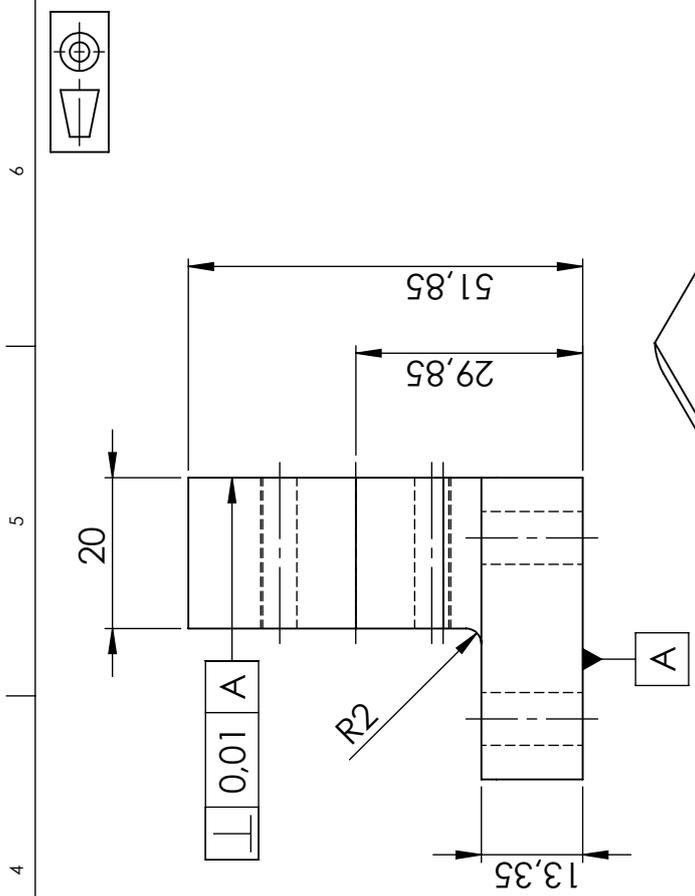


AVIXY TECNOLOGIA

TOLERANCES
IF NOT ELSEWHERE SPECIFIED



DESCRIPTION	QUANTITY	DATE	PLACE	DRIVING	SCALE
Flange	2	19/11/15	BRASILIA - DF	Rafael Moura	1:1
MATERIAL		TOLERANCES		UNIT	
ASTM 7075 T651		IF NOT ELSEWHERE SPECIFIED		mm	
AVIXY TECNOLOGIA		3 ±0.1	6 ±0.1	30 ±0.2	120 ±0.3
AVIXY		400 ±0.5	1000 ±0.8	2000 ±1.2	Angular: ±0.5°

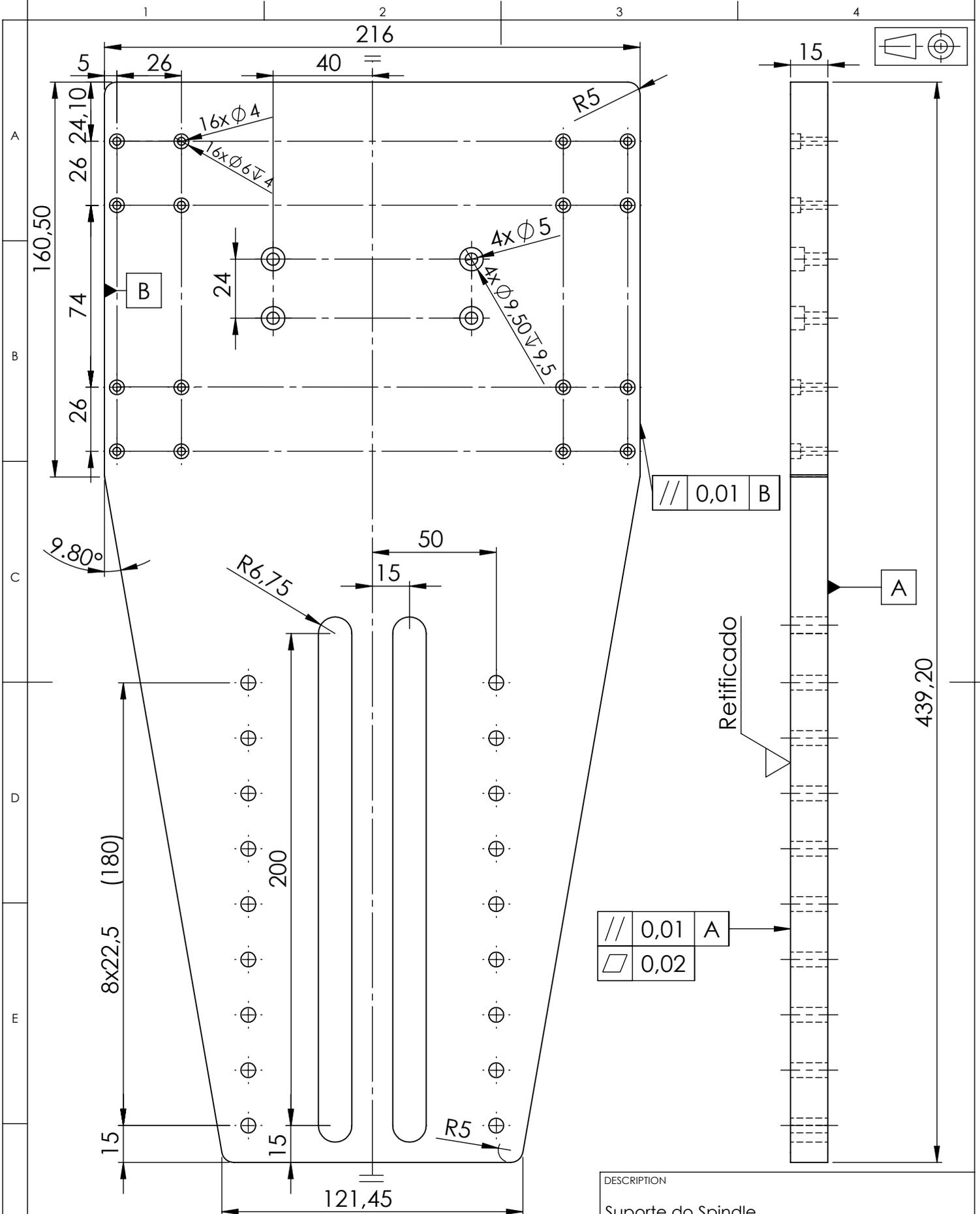


DESCRIPTION		PART NUMBER			
Suporte Castanha Fuso Z					
DATE	PLACE	DRAWING	UNITS	SCALE	
18/11/15	BRASILIA - DF	Rafael Moura	mm	1:1	
TOLERANCES		SHEET			
IF NOT ELSEWHERE SPECIFIED		3 ±0,1	6 ±0,1	30 ±0,2	120 ±0,3
		400 ±0,5	1000 ±0,8	2000 ±1,2	Angular: ±0,5°

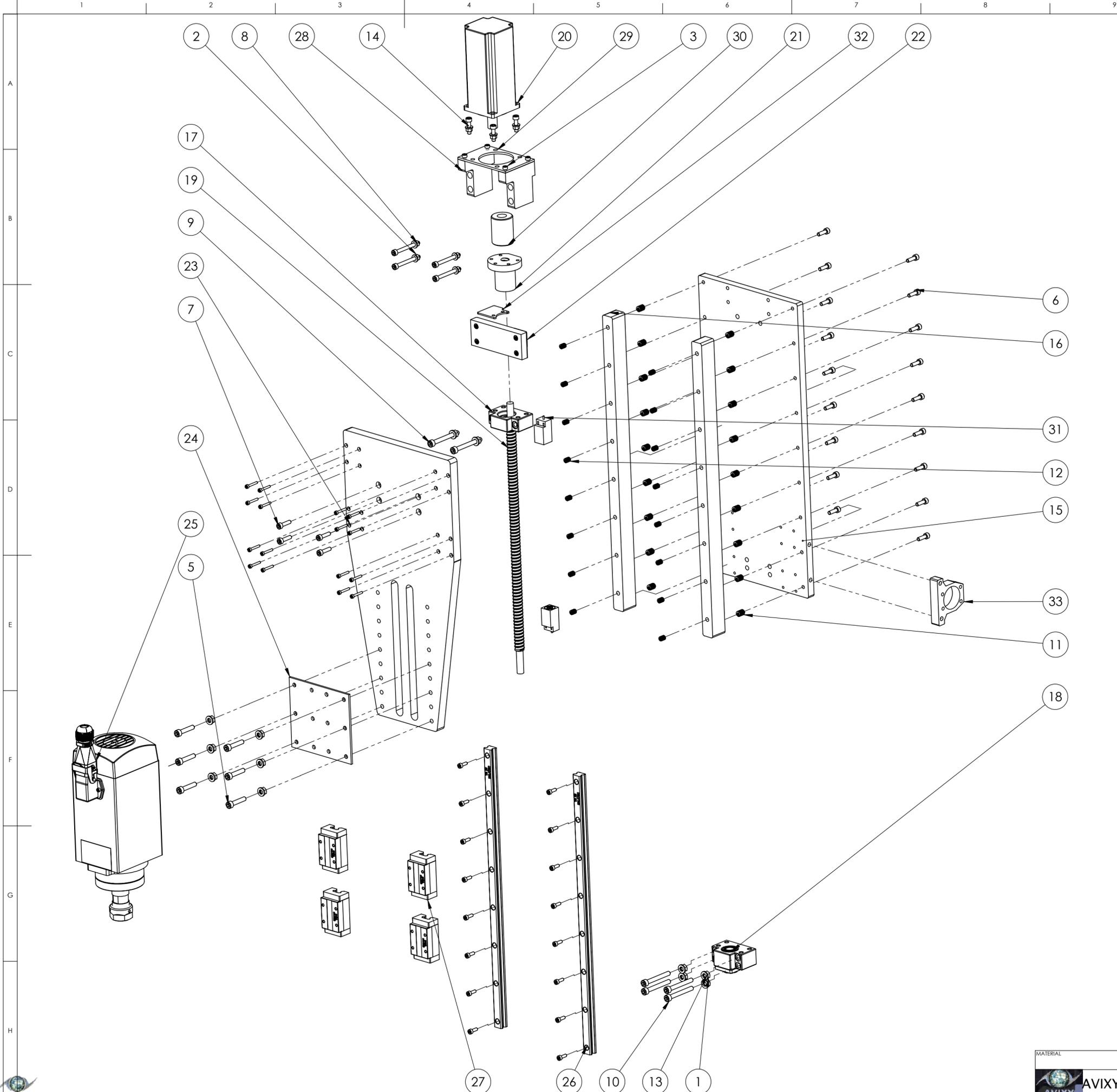
MATERIAL
ASTM 7075 T651

MASS
g

AVIXY TECNOLOGIA



DESCRIPTION				
Suporte do Spindle				
PART NUMBER		DATE	PLACE	
		19/11/2015	BRASÍLIA - DF	
DRAWING		SHEET		
Rafael Moura		SHEET 1 / 1		
MATERIAL			UNITS	SCALE
ASTM 7075 T651			mm	1:2
3	±0,1	6	±0,1	30 ±0,2
120	±0,3	A		
400	±0,5	1000	±0,8	2000 ±1,2
Angular: ±0,5°				



Nº DO ITEM	DESCRIÇÃO	QTD.
1	Porca M6 x 1	12
2	Porca M5 x 0.8x12	8
3	Parafuso Allen M4x0.7	20
4		16
5	Parafuso Allen M6 x 1.0 x 30	6
6	Parafuso Allen M5 x 0.8 x 16	18
7	Parafuso Allen M5 x 0.8 x 20	8
8	Parafuso Allen M5 x 0.8 x 50	4
9	Parafuso Allen M6 x 1.0 x 55	2
10	Parafuso Allen M6 x 1.0 x 50	4
11	Inserto M5	22
12	Inserto M4	20
13	Arruela Parafuso M6	12
14	Arruela Parafuso M5	8
15	Arruela Parafuso M5	1
16	Apoio Guia Linear	2
17	Mancal Simpes Fuso	1
18	Mancal Duplo Fuso	1
19	Fuso Eixo Z	1
20	Servomotor Eixo Z	1
21	Castanha Fuso Z	1
22	Suporte Castanha Fuso Z	1
23	Suporte Spindle	1
24	Chapa Spindle	1
25	Spindle	1
26	Guia Linear Eixo Z	2
27	Patim Guia Linear Eixo Z	4
28	Flange do Servomotor Deixo Z	2
29	Chapa da Flange	1
30	Acoplador Oldhan	1
31	Sensor de Fim de Curso	2
32	Chapa do Sensor de Fima de Curso	1
33	Suporte da Castanha do Eixo X	1

MATERIAL		MASS	DATE	PLACE	SHEET	DRAWING	UNITS	SCALE
		9	19/11/2015	BRASÍLIA - DF	1 / 1	FELIPE CARRIJO	mm	1:4
TOLERANCES		3 ±0.1	6 ±0.1	30 ±0.2	120 ±0.3	A		
IF NOT ELSEWHERE SPECIFIED		400 ±0.5	1000 ±0.8	2000 ±1.2	Angular: ±0.5°			

AVIXY TECNOLOGIA