

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

FREDERICO TEMP DA COSTA

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA ESTRUTURA AUTOMATIZADA PARA
SOLDAGEM**

**Alegrete
2020**

FREDERICO TEMP DA COSTA

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA ESTRUTURA AUTOMATIZADA PARA
SOLDAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Mecânica da Universidade Federal do
Pampa, como requisito parcial para
obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Mecânica

Orientador: Prof. Dr. Aldoni Gabriel
Wiedenhöft

**Alegrete
2020**



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal do Pampa

FREDERICO TEMP DA COSTA

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA ESTRUTURA AUTOMATIZADA PARA SOLDAGEM

Dissertação apresentada ao curso de engenharia mecânica da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de bacharel em engenharia mecânica.

Dissertação defendida e aprovada em: 13, maio de 2021.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Aldoni Gabriel Wiedenhof

Orientador

UNIPAMPA

Prof. Dr. Tonilson de Souza Rosendo

UNIPAMPA

Prof. Dr. Marco Antônio Durlo Tier

UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **TONILSON DE SOUZA ROSENDO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/05/2021, às 17:14, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **ALDONI GABRIEL WIEDENHOFT, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/05/2021, às 20:49, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **MARCO ANTONIO DURLO TIER, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/05/2021, às 22:07, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0525441** e o código CRC **BC882832**.

RESUMO

Uma estrutura mecânica pode ser capaz de realizar um cordão de solda de forma automatizada controlando alguns dos parâmetros do processo e aprimorando estabilidade e qualidade do cordão de solda. Poderá ser usada na área de pesquisa para análise da solda, pois o controle preciso das variáveis do processo nos garante que as propriedades físicas, químicas e metalúrgicas da junta soldada possuam uniformidade em toda extensão. O controle de abertura/fechamento do arco, distância tocha/peça e movimento linear da tocha será controlado através de um sistema eletrônico embarcado com Motores de Passo conectados aos eixos e uma placa controladora que recebe o comando do operador e transmite ao atuador (pode-se citar o Arduino que é um hardware livre de fácil acesso). Neste trabalho foi realizado o projeto, dimensionamento e construção da estrutura mecânica que terá uma tocha MIG/MAG acoplada para realizar a solda, materiais de fácil acesso e baixo custo serão utilizados na construção da estrutura. A metodologia do projeto consiste na revisão bibliográfica sobre projetos de máquinas, soldagem, componentes e peças, coletando informações de grande importância para a elaboração deste projeto. Após a construção a estrutura foi submetida a testes para avaliação do seu funcionamento. O resultado final foi satisfatório, a estrutura apresentou ótima funcionalidade e perfeita integração da parte mecânica com a eletrônica.

Palavras-Chave: solda, projeto, máquina, mecânica.

ABSTRACT

A mechanical structure may be able to make a weld bead in an automated way by controlling some of the process parameters and improving weld bead stability and quality. It can be used in the research area to analyze the weld, since the precise control of the process variables ensures that the physical, chemical and metallurgical properties of the welded joint have uniformity throughout. The control of opening / closing of the arc, torch / piece distance and linear torch movement will be controlled through an embedded electronic system with Stepper Motors connected to the axes and a controller board that receives the command from the operator and transmits to the actuator (can mention the Arduino, which is free hardware that is easily accessible). In this work, the design, dimensioning and construction of the mechanical structure was carried out, which will have a MIG / MAG torch attached to perform the welding, materials of easy access and low cost will be used in the construction of the structure. The methodology of the project consists of a bibliographic review on machine, welding, components and parts projects, collecting information of great importance for the elaboration of this project. After construction, the structure was subjected to tests to evaluate its functioning. The final result was satisfactory, the structure presented excellent functionality and perfect integration of the mechanical part with the electronics.

Keywords: welding, design, machine, mechanics

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Esquema soldagem por fusão.	16
FIGURA 2 – Processo MIG.	16
FIGURA 3 – Transferência metálica no processo MIG/MAG convencional.	17
FIGURA 4 – Alguns Tipos de Parafusos.	19
FIGURA 5 – Estilos de porcas.....	20
FIGURA 6 – Tipos de perfis das roscas.	21
FIGURA 7 – Fluxograma.....	22
FIGURA 8 – Vista em perspectiva.....	24
FIGURA 9 – Vista frontal.....	24
FIGURA 10 – Posição fixadores.....	28
FIGURA 11 – Deslocamento máximo	39
FIGURA 12 – Motor de passo KTC-HT23-400.....	40
FIGURA 13 – Área de trabalho UGS.....	41
FIGURA 14 – Diagrama circuito elétrico	42
FIGURA 15 – Arduino UNO R3.....	43
FIGURA 16 – Driver A4988.....	43
FIGURA 17 – CNC Shield V3.....	44
FIGURA 18 – Relé	44
FIGURA 19 – Montagem final do projeto	45
FIGURA 20 – Chapas de aço posicionadas em topo	46
FIGURA 21 – Código G.....	47
FIGURA 22 – Equipamento em operação.....	48
FIGURA 23 – Cordão de solda.....	49
FIGURA 24 – DCL sistema de movimentação eixo Y, plano YZ.....	55
FIGURA 25 – DCL Sistema de movimentação eixo X, plano YZ	57
FIGURA 26 – Gráfico pressão X velocidade	59
FIGURA 27 – Chapa de teste 1.....	71
FIGURA 28 – Chapa de teste 2.....	71

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Lista de fabricantes de robôs e suas linguagens de programação.....	14
TABELA 2 – Processos de soldagem por fusão.....	15
TABELA 3 – Dimensões Base.....	26
TABELA 4 – Dimensões Base móvel	27
TABELA 5 – Diâmetro e áreas de roscas.....	29
TABELA 6 – Propriedades mecânicas parafusos de aço	30
TABELA 7 – arruelas de pressão	30
TABELA 8 – Características parafuso	33
TABELA 9 – Dimensões sapata	34
TABELA 10 – Características fuso	35
TABELA 11 – Características dos materiais de mancais e buchas	37
TABELA 12 – Características mancais	38
TABELA 13 – Elementos de composição Aço SAE 52100	38
TABELA 14 – catálogo fusos Bimeccanica	58
TABELA 15 – Tabela teórica base ATI Brasil.....	60
TABELA 16 – Fator multiplicação comprimento de flambagem	68
TABELA 17 – Características material e soldagem	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MIG – Metal Inert Gás

MAG – Metal Active Gás

AWS – American Welding Society

C.C – Corrente Continua

C.A – Corrente Alternada

ESAB – Elektriska Svetsnings Aktie Bolaget

VD – Velocidade de deslizamento

RPM – Rotações por minuto

DCL – Diagrama de Corpo Livre

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Contextualização do problema	10
1.2	Objetivos	10
1.3	Justificativa	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1	Protótipo	12
2.2	Robô industrial	12
2.2.1	Componentes	12
2.2.1.1	Atuadores elétricos	13
2.2.1.2	Unidade de controle	13
2.2.1.3	Unidade de potência	13
2.2.1.4	Interface e Programação	13
2.3	Soldagem	14
2.3.1	Processo de soldagem por fusão	15
2.3.2	Poça de Fusão	16
2.3.3	Soldagem MIG/MAG	16
2.4	Projeto de máquinas	17
2.4.1	Elementos de fixação	18
2.4.1.1	Parafusos	18
2.4.1.2	Porcas	19
2.4.2	Parafuso de potência	20
2.4.3	Normas regulamentadoras	21
3	METODOLOGIA	22
3.1	Descrição da metodologia	23
3.1.1	Revisão bibliográfica	23
3.1.2	Concepção do projeto	23
3.1.3	Dimensionamento	25
3.1.4	Manufatura, aquisição de materiais e componentes	25
3.1.5	Construção	25
3.1.6	Execução de ajustes e testes	25

4	DESENVOLVIMENTO	26
4.1	Dimensionamento	26
4.1.1	Base	26
4.1.2	Base móvel	26
4.1.3	Torre	27
4.1.4	Sapatas	34
4.1.5	Fusos	34
4.1.5.1	Fuso horizontal	35
4.1.5.2	Fuso vertical	35
4.1.6	Mancais	35
4.1.7	Guias lineares	38
4.1.8	Motores	40
4.2	Sistema eletrônico de controle e operação	40
4.2.1	Interface de operação	41
4.2.2	Componentes eletrônicos	41
4.2.2.1	Arduino UNO R3	42
4.2.2.2	Driver A4988	43
4.2.2.3	CNC Shield V3	43
4.2.2.4	Relé	44
5	TESTES E AJUSTES	45
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
	REFERÊNCIAS	51
	APÊNDICES	54
	APÊNDICE A – FORÇAS ATUANTES	55
	APÊNDICE B – FUSOS	58
	APÊNDICE C – TESTES	71
	APÊNDICE D – DESENHOS TÉCNICOS	72
	ANEXOS	89
	ANEXO A- NR 12 – SEGURANÇA NO TRABALHO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS	90

ANEXO B- PROPRIEDADES AÇO A36.....	94
ANEXO C- PROPRIEDADES ALUMÍNIO.....	95
ANEXO D- PROPRIEDADES NYLON.....	96

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do problema

A soldagem é um método de união dos materiais que ocorre entre duas ou mais peças através da fusão com íntimo contato ou pela fusão de ambos com adição de outro material fundido (MACHADO,1996).

Definida como operação que visa obter a coalescência localizada dos metais ou não-metais, produzida pelo aquecimento dos materiais até a temperatura de soldagem, com ou sem a aplicação de pressão, com ou sem uso de material de adição (definição adotada pela AWS).

Devido à grande evolução dos processos de fabricação nos últimos anos, a necessidade de atribuir novas tecnologias a processos antigos vem crescendo, e dentro dessas tecnologias está incluso automatizar um processo que era realizado de forma manual, a fim de aumentar a eficiência, produção e reduzir custos, maximizando a produtividade de uma empresa como, por exemplo, a utilização de uma célula robotizada para um processo de soldagem.

A automação de um processo surgiu com a necessidade de melhorias para atender um mercado cada vez mais exigente e competitivo, trazendo inúmeros benefícios num processo de fabricação como o aumento da produtividade, padronização de processo e produto, otimização da qualidade, redução de desperdício e falha humana, aumentando a credibilidade do produto. (FERNANDES, 2020).

1.2 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo principal desenvolver uma estrutura mecânica automatizada, este mecanismo terá em sua extremidade uma tocha MIG/MAG acoplada, e será capaz de realizar uma solda de forma automática.

Como objetivos específicos citam-se:

- Desenvolver metodologia de projeto
- Definição de configuração e componentes utilizados

- Montagem de peças e componentes
- Realização de testes

1.3 Justificativa

A união dos metais é indispensável na construção de qualquer estrutura metálica ou fabricação de máquinas, a confiabilidade de uma estrutura ou máquina está ligada diretamente na solda a ela aplicada, e a integridade da solda está relacionada com os consumíveis de solda utilizados, procedimentos aplicados, precisão do cordão de solda e controle de qualidade.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O texto a seguir foi elaborado visando contextualizar o tema deste trabalho, explorando um pouco do que já foi publicado sobre todos os assuntos que abrangem a área de conhecimento aplicado neste trabalho.

2.1 Protótipo

Um protótipo é um produto ou modelo funcional em fase de teste, planejado e desenvolvido baseado nas especificações de um projeto, podendo ser construído no tamanho real ou em escala do produto final e sua finalidade é testar as funcionalidades permitindo ajustes antes da produção.

Já Volpato (2007, p. 3) cita protótipo como:” O protótipo de um produto ou componente é a parte essencial no seu processo de desenvolvimento, pois possibilita que a análise de sua forma e funcionalidade seja feita numa fase anterior a produção de ferramental definitivo”.

2.2 Robô industrial

Robôs industriais ou robôs cartesianos como também são chamados, são estruturas contendo elementos mecânicos e componentes eletrônicos trabalhando em conjunto, um mecanismo acionado por atuadores capaz de executar funções ou movimentos programados através do sistema eletrônico embarcado.

Segundo Romano e Dutra (2002), um conceito que melhor define “robô industrial” é: uma máquina manipuladora, com vários graus de liberdade, controlada automaticamente, reprogramável, multifuncional, e pode ter base fixa ou móvel para utilização em aplicações de automação industrial.

2.2.1 Componentes

Nesta seção serão descritos os principais elementos e suas funções que fazem parte da composição de um robô industrial, sendo eles de grande importância para compreensão e desenvolvimento deste trabalho.

2.2.1.1 Atuadores elétricos

Responsáveis por transformar energia elétrica em energia mecânica, fornecem a força motriz ao manipulador mecânico, são os mais empregados neste tipo de equipamento, podem ser do tipo rotacional ou linear e seu principal diferencial está na facilidade de implementar sistemas de controle devido seu comportamento dinâmico ser aproximadamente linear. (OLIVEIRA, 2007).

2.2.1.2 Unidade de controle

A unidade de controle é o sistema capaz de controlar dispositivos físicos, receber e modificar dados através de uma interface programável, responsável por receber um sinal de um sensor, interpretar e tornar o valor medido disponível ao usuário em seu dispositivo de controle. Cada atuador conectado ao microcontrolador realiza sua função, abre e fecha por exemplo, a partir da linguagem de programação implementada e dos sinais medidos pelos sensores. (BRITO, 2014).

2.2.1.3 Unidade de potência

Responsável pela alimentação dos atuadores, para os atuadores elétricos trata-se de uma fonte elétrica (fonte C.C e fonte A.C). (OLIVEIRA, 2007).

2.2.1.4 Interface e Programação

A interface entre usuário e unidade de controle é realizada com a utilização de softwares, que são programas computacionais onde o usuário insere os dados (código de programação). O programa interpreta as informações recebidas e se comunica com o hardware realizando o acionamento dos atuadores permitindo que cada um execute sua função.

“Programar um robô significa descrever os procedimentos a serem tomados pelo manipulador sob a ação do controlador” (HENRIQUES, 2002, p.109).

Cada fabricante utiliza um software, o qual possui linguagem própria de programação. Na tabela 1 alguns exemplos de linguagens de programação utilizadas.

TABELA 1 – Lista de fabricantes de robôs e suas linguagens de programação.

Fabricante	Linguagens de Programação
ABB	ARLA, RAPID
Fanuc	KAREL
Reiss	IRL
Staubli	V+
Adept	V+
Comau	PDL2
Eshed	ACL
IBM	AML/2
Kawasaki	AS
Motoman	Inform 1, Inform 2
Nachi	SLIM
Panasonic	Parl-1, Parl-2
PSI	PSI
Samsung	FARL-II
Seiko	DARL 4
Toyota	TL-1
TQ	TQ

Fonte: Henriques, 2002.

2.3 Soldagem

Soldagem é o processo de união entre duas partes metálicas, usando uma fonte de calor, com ou sem aplicação de pressão. A solda é o resultado desse processo. (BRANDI, 1992).

Variações deste processo são usados para deposição de material sobre uma superfície, visando a recuperação de peças desgastadas ou formar um revestimento com características especiais na peça. (MODENESI, 2005).

Na região de contato entre essas peças forma-se a junta soldada a qual necessita que suas propriedades físicas, químicas e metalúrgicas possuam certa uniformidade em toda sua extensão para garantir a união das peças.

2.3.1 Processo de soldagem por fusão

Consiste na aplicação de calor localizado na região de união das peças para fusão, podendo ou não ser utilizado metal de adição, produzindo a ligação pela solidificação do metal fundido. (MODENESI, 2012).

Existem diversos processos de soldagem por fusão, a tabela 2 mostra alguns processos de acordo com o tipo de fonte de energia utilizada para fundir as peças.

A figura 1, apresenta a região entre as partes onde o material de adição é depositado, e após a fusão, se solidifica formando o cordão de solda.

TABELA 2 – Processos de soldagem por fusão.

PROCESSO	FONTES DE CALOR	TIPO DE CORRENTE E POLARIDADE	AGENTE PROTETOR OU DE CORTE	OUTRAS CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÕES
Soldagem por eletro-escória	Aquecimento por resistência da escória líquida	Contínua ou alternada	Escória	Automática/Mecanizada. Junta na vertical. Arame alimentado mecanicamente na poça de fusão. Não existe arco	Soldagem de aços carbono, baixa e alta liga, espessura ≥ 50 mm. Soldagem de peças de grande espessura, eixos, etc.
Soldagem ao Arco Submerso	Arco elétrico	Contínua ou alternada. Eletrodo +	Escória e gases gerados	Automática/mecaniz. ou semi-automática. O arco arde sob uma camada de fluxo granular	Soldagem de aços carbono, baixa e alta liga. Espessura ≥ 10 mm. Posição plana ou horizontal de peças estruturais, tanques, vasos de pressão, etc.
Soldagem com Eletrodos Revestidos	Arco elétrico	Contínua ou alternada. Eletrodo + ou -	Escória e gases gerados	Manual. Vareta metálica recoberta por camada de fluxo	Soldagem de quase todos os metais, exceto cobre puro, metais preciosos, reativos e de baixo ponto de fusão. Usado na soldagem em geral.
Soldagem com Arame Tubular	Arco elétrico	Contínua. Eletrodo +	Escória e gases gerados ou fornecidos por fonte externa. Em geral o CO_2	O fluxo está contido dentro de um arame tubular de pequeno diâmetro. Automático ou semi-automático	Soldagem de aços carbono com espessura ≥ 1 mm. Soldagem de chapas
Soldagem MIG/MAG	Arco elétrico	Contínua. Eletrodo +	Argônio ou Hélio, Argônio + O_2 , Argônio + CO_2 , CO_2	Automática/mecaniz. ou semi-automática. O arame é sólido	Soldagem de aços carbono, baixa e alta liga, não ferrosos, com espessura ≥ 1 mm. Soldagem de tubos, chapas, etc. Qualquer posição
Soldagem a Plasma	Arco elétrico	Contínua. Eletrodo -	Argônio, Hélio ou Argônio + Hidrogênio	Manual ou automática. O arame é adicionado separadamente. Eletrodo não consumível de tungstênio. O arco é constricto por um bocal	Todos os metais importantes em engenharia, exceto Zn, Be e suas ligas, com espessura de até 1,5 mm. Passes de raiz
Soldagem TIG	Arco elétrico	Contínua ou alternada. Eletrodo -	Argônio, Hélio ou misturas destes	Manual ou automática. Eletrodo não consumível de tungstênio. O arame é adicionado separadamente.	Soldagem de todos os metais, exceto Zn, Be e suas ligas, espessura entre 1 e 6 mm. Soldagem de não ferrosos e aços inox. Passe de raiz de soldas em tubulações
Soldagem por Feixe Eletrônico	Feixe eletrônico	Contínua. Alta Tensão. Peça +	Vácuo ($\gg 10^{-4}$ mm Hg)	Soldagem automática. Não há transferência de metal. Feixe de elétrons focalizado em um pequeno ponto.	Soldagem de todos os metais, exceto nos casos de evolução de gases ou vaporização excessiva, a partir de 25 mm de espessura. Indústria nuclear e aeroespacial.
Soldagem a Laser	Feixe de luz		Argônio ou Hélio	Como acima	Como acima. Corte de materiais não metálicos
Soldagem a Gás	Chama oxi-acetilênica		Gás (CO , H_2 , CO_2 , H_2O)	Manual. Arame adicionado separadamente	Soldagem manual de aço carbono, Cu, Al, Zn, Pb e bronze. Soldagem de chapas finas e tubos de pequeno diâmetro

Fonte: Modenesi, 2012.

FIGURA 1 – Esquema soldagem por fusão.



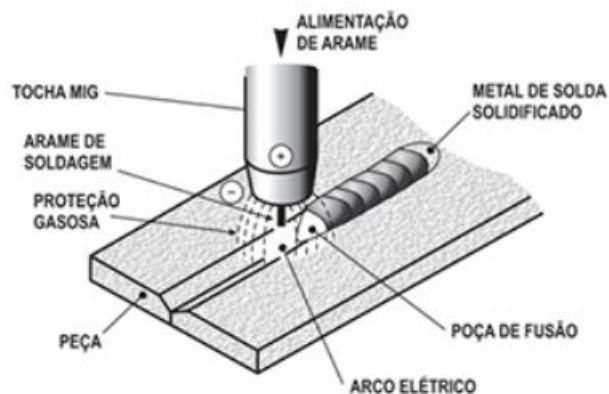
Fonte: Próprio Autor (2020).

2.3.2 Poça de Fusão

Formada devido ao aquecimento do metal base e metal de adição até a temperatura de fusão. A fusão efetua a coalescência dos metais ali presente, parte da poça é composta pelo metal de adição, e parte é composta pelo resultado da fusão entre arame e metal base. (ESAB, 2020).

Conforme ilustrado na figura 2, um processo de solda MIG apresentando a região onde ocorre a deposição de material e a solidificação do mesmo.

FIGURA 2 – Processo MIG.



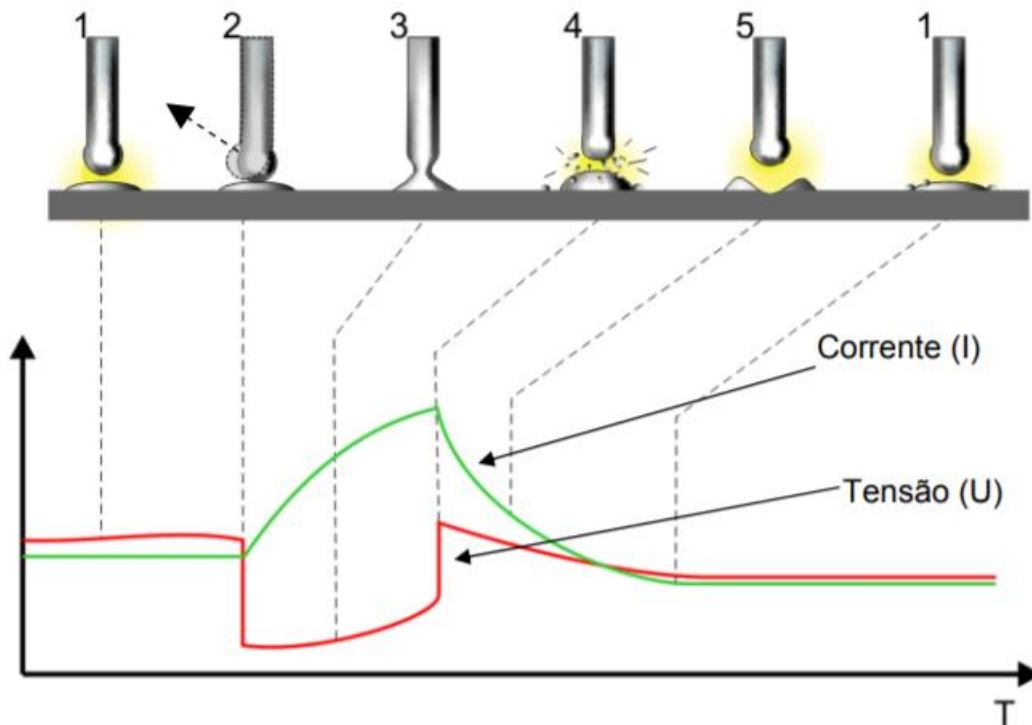
Fonte: ESAB, 2020.

2.3.3 Soldagem MIG/MAG

A transferência metálica por curto-circuito no processo de soldagem MIG/MAG ocorre pelo contato entre a gota metálica líquida, ainda ligada ao arame consumível, e à poça de fusão na peça. (SILVA, 2005).

A figura 3, apresenta em detalhes a fusão, o instante em que o arame consumível entra em contato com o metal base, fechando o curto-circuito entre os polos positivos e negativos.

FIGURA 3 – Transferência metálica no processo MIG/MAG convencional.



Fonte: Silva, 2005.

2.4 Projeto de máquinas

Uma máquina é algo que foi desenvolvido nos entregando confiança, segurança e funcionalidade. Existem diversas formas para definir uma máquina e que estão de alguma forma relacionada com força, movimento e transferência de energia.

O objetivo final do projeto de máquinas é dimensionar e dar forma as peças (elementos de máquinas) e escolher os materiais e os processos de manufatura apropriados, de modo que a máquina resultante possa desempenhar a função desejada sem falhar. (NORTON, 2013, p.4).

O projeto de máquinas é também uma tomada de decisões, se tratando de um projeto inovador com poucas informações, realizando ajustes à medida que informações adicionais são obtidas. Uma máquina está associada à produção e ao processamento de energia, o processo de desenvolvimento e projeto requer

habilidade, criatividade, conhecimento tecnológico para a solução de problemas, que combinados com ferramentas de engenharia resultam em um produto final próprio para ser fabricado, usado e comercializado. (SHIGLEY, 2011).

Para Pahl (2005) o projeto é desenvolver uma solução para problemas técnicos, atender aos objetivos propostos, converter o problema inicial em um desenho, projetando mecanismos, que são constituídos por peças, formando conjuntos que quando acoplados passam a ser chamados de máquinas.

O desenvolvimento do projeto necessita de um detalhamento que contém:

- Formato da peça
- Cotas (dimensões) e tamanho
- Restrições (legais e ambientais)
- Acabamento superficial
- Materiais
- Viabilidade
- Resistência
- Manutenção

2.4.1 Elementos de fixação

São componentes responsáveis pela união de peças como chapas, barras, perfis. O método de fixação móvel é considerado não destrutivo pois permite desmontagem sem danificação das partes. Os elementos mais conhecidos são os parafusos e porcas.

2.4.1.1 Parafusos

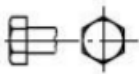



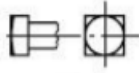


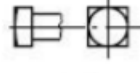
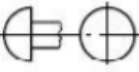

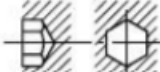
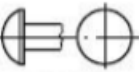


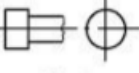

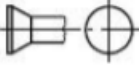

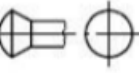
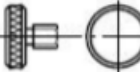
O parafuso de rosca helicoidal foi uma invenção de grande importância para junções não permanentes, permite unir e separar peças de maneira fácil sem causar danos às peças que foram unidas. (SHIGLEY, 2011).

Existem grandes variedades de parafusos disponíveis, para as mais diversas aplicações.

Variações nas formas padrão de roscas ocorrem em certas variedades de parafusos, especialmente aqueles utilizados em aplicações envolvendo parafusos autoatarrachantes. Parafusos de fixação podem ser classificados de diferentes maneiras: por meio do uso pretendido, pelo tipo de rosca, pelo

tipo de cabeça e por sua resistência. Parafusos de fixação de todos os tipos estão disponíveis em grande variedade de materiais, incluindo aço, aço inoxidável, alumínio, bronze e plásticos. (NORTON,2013, p.876).

FIGURA 4 – Alguns Tipos de Parafusos.

Formas de cabeça	Formatos do corpo	Pontas	Dispositivos de atarraxamento
 sextavada	 com a parede roscada de diâmetro igual ao da não roscada	 cônica	 sextavado
 quadrada	 com a parede roscada de diâmetro maior que o da não roscada	 arredondada	 quadrado
 redonda		 plana com chanfro	 sextavado interno
 abaulada		 plana	 fenda
 cilíndrica			 fenda cruzada
 escareada			 borboleta
 escareada abaulada			 recartilhado

Fonte: Moro, 2006.

2.4.1.2 Porcas

Associada a roscas e parafusos, a porca também é um elemento de fixação, sua função é travar a rosca do parafuso evitando o afrouxamento das partes fixadas.

“Porca é uma peça de forma prismática ou cilíndrica, geralmente metálica, com um furo roscado, no qual se encaixa um parafuso ou uma barra roscada. Em conjunto com um parafuso, ela é um acessório amplamente utilizado na união de peças.” (DORTE, 2010, p.27).

FIGURA 5 – Estilos de porcas.



Fonte: Adaptado de Norton, 2013.

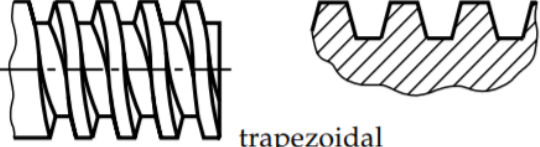
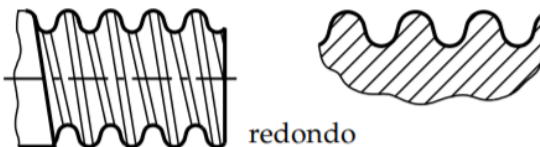
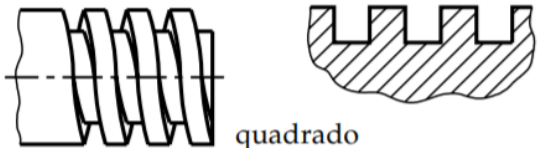

2.4.2 Parafuso de potência

Parafusos de potência também conhecidos como parafusos de avanço, ou fusos são utilizados para transformar movimento rotacional em linear, produzem grande vantagem mecânica elevando grandes cargas com baixo esforço. (NORTON, 2013).

O parafuso de potência é um dispositivo usado em maquinaria para transformar o movimento angular em movimento linear e, usualmente, para transmitir potência. Aplicações familiares incluem os parafusos de avanço de tornos mecânicos e parafusos para morsas, prensas e macacos. (SHIGLEY, 2011, p.426)

Devido as diferenças quanto ao formato da rosca, os parafusos de potência atendem a diversas necessidades, uma rosca quadrada quando se exige força, ou uma rosca redonda trabalhando com esferas para movimentos precisos.

FIGURA 6 – Tipos de perfis das roscas.

TIPOS DE ROSCAS (PERFIS) PERFIL DE FILETE	APLICAÇÃO
 <p>trapezoidal</p>	<p>Parafusos que transmitem movimento suave e uniforme. Ex.: Fusos de máquinas.</p>
 <p>redondo</p>	<p>Parafusos de grandes diâmetros sujeitos a grandes esforços. Ex.: Equipamentos ferroviários.</p>
 <p>quadrado</p>	<p>Parafusos que sofrem grandes esforços e choques. Ex.: Prensas e morsas.</p>
 <p>rosca dente-de-serra</p>	<p>Parafusos que exercem grande esforço num só sentido Ex.: Macacos de catraca</p>

Fonte: Adaptado de Gordo e Ferreira (2012, p.35).

2.4.3 Normas regulamentadoras

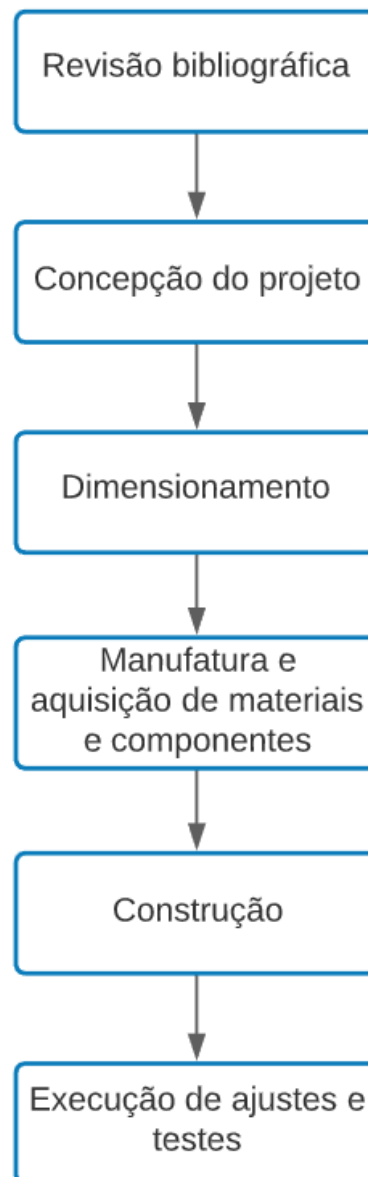
As normas regulamentadoras descrevem requisitos mínimos necessários para evitar acidentes e garantir a saúde, integridade e segurança dos trabalhadores, o empregador é o responsável em implementar as normas e o trabalhador é o responsável em cumpri-las. (MORAES, 2014).

A NR12 considera algumas medidas como: proteção coletiva, proteção individual e medidas administrativas ou de organização no trabalho.

3 METODOLOGIA

Nesta seção será apresentada a metodologia aplicada para o atendimento dos objetivos propostos, na figura 7 ilustramos o fluxograma apresentando a sequência de atividades planejadas para a execução do trabalho.

FIGURA 7 – Fluxograma.



Fonte: próprio autor (2020).

O método utilizado para a elaboração do projeto consiste em analisar os esforços e movimentos atuantes na estrutura, baseado nas referências bibliográficas

já citadas no presente estudo. Essa análise é essencial para a seleção e obtenção dos materiais adequados para a construção do projeto mecânico.

3.1 Descrição da metodologia

A seguir é realizado o detalhamento das atividades que compõem a metodologia aplicada no projeto.

3.1.1 Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica serve como base para a tomada de decisões durante a execução do projeto, auxilia na organização e planejamento do trabalho, impulsionando o conhecimento na área de estudo.

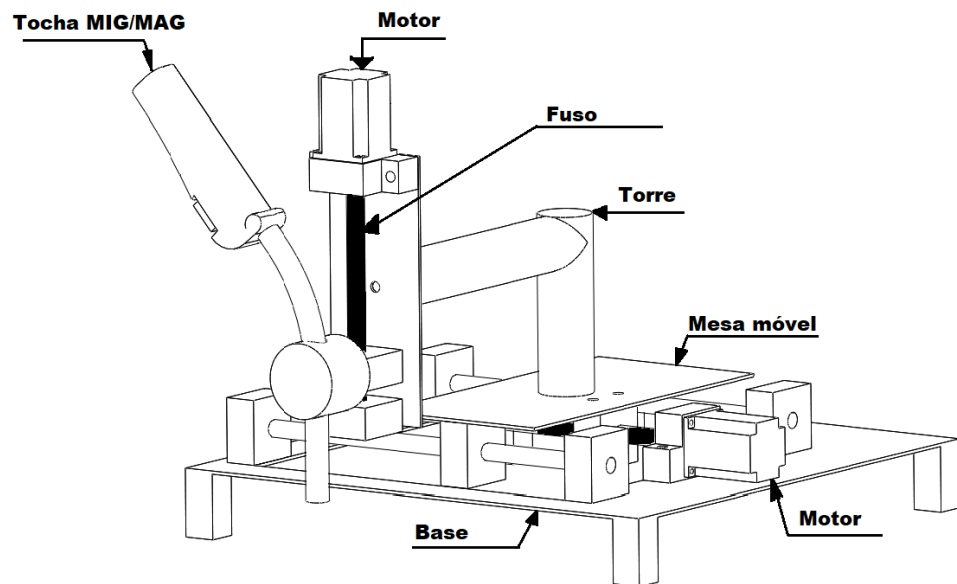
3.1.2 Concepção do projeto

A concepção é a atividade em que se cria e organiza as ideias, se descreve o funcionamento e principais elementos que compõem o projeto, e com a soma das ideias e resumos elaborados se define o escopo do projeto.

Toda movimentação da máquina será controlada por uma placa Arduino, a abertura e fechamento do arco de solda será controlado por um relé, os parâmetros de soldagem como tensão e velocidade do arame no próprio aparelho de solda.

Na figura 8 é apresentada a concepção da estrutura mecânica que será desenvolvida. O desenho em perspectiva apresenta os principais componentes do equipamento.

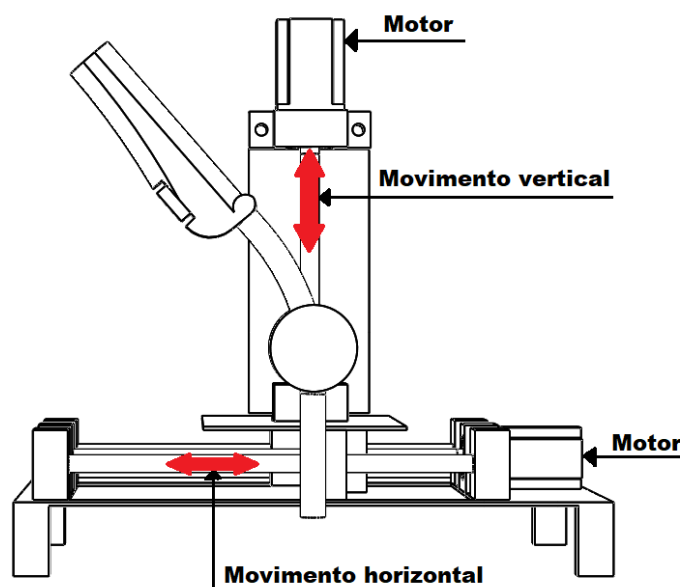
FIGURA 8 – Vista em perspectiva.



Fonte: próprio autor (2020).

O desenho de uma vista frontal ilustrada na figura 9 permite visualizar o movimento horizontal, que é responsável pela direção da soldagem, e o movimento vertical, que é responsável pelo deslocamento da tocha até o plano de solda.

FIGURA 9 – Vista frontal.



Fonte: próprio autor (2020).

3.1.3 Dimensionamento

No dimensionamento se verificam as forças atuantes e os esforços gerados nos componentes que juntos compõem a estrutura do projeto. São definidas as geometrias e matérias-primas a serem utilizadas na fabricação de peças, garantindo que as solicitações impostas pelo projeto sejam atendidas.

3.1.4 Manufatura, aquisição de materiais e componentes

Atividade em que se utiliza as informações obtidas anteriormente para a seleção dos materiais e componentes que serão adquiridos ou elaborados em um processo de manufatura visando a viabilidade econômica e técnica para obtenção dos mesmos.

3.1.5 Construção

Consiste na execução do projeto elaborado nas etapas anteriores, para a realização desta atividade utiliza-se equipamentos e ferramentas disponíveis na Universidade Federal do Pampa/Campus Alegrete e de minha propriedade.

3.1.6 Execução de ajustes e testes

Com o equipamento desenvolvido pelo projeto devidamente montado, realizam-se pequenos ajustes e testes a fim de verificar a funcionalidade e competência na movimentação dos eixos e na realização da solda, validando todo o trabalho realizado.

4 DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento do seguinte trabalho será detalhado neste capítulo, o dimensionamento, os componentes da estrutura, sistemas de movimentação, sistema de controle e interface com o usuário. As figuras 8 e 9 mostram a identificação e localização dos componentes da máquina.

4.1 Dimensionamento

Para a realização dos cálculos alguns parâmetros iniciais para o projeto necessitam serem escolhidos como: o material a ser utilizado em cada peça, quais peças poderão ser fabricadas e as que serão compradas.

4.1.1 Base

A base é a estrutura onde serão montados todos os componentes que constituem o equipamento.

Como base será utilizada uma chapa de aço ASTM A36, cujas propriedades estão apresentadas no anexo B, na página 94. As dimensões estipuladas estão exibidas na tabela 4. Esse material possui boas características e já se tinha acesso a ele, o que influenciou na decisão de utilizá-lo na base.

TABELA 3 – Dimensões Base

Comprimento[mm]	Largura[mm]	Espessura[mm]
510	510	3

Fonte: próprio autor (2020).

4.1.2 Base móvel

A base móvel será construída do mesmo aço ASTM A36, ela irá acoplada às guias lineares e ao fuso que realiza o movimento horizontal e será o suporte da torre, as dimensões adotadas estão exibidas na tabela 5 abaixo.

TABELA 4 – Dimensões Base móvel

Comprimento[mm]	Largura[mm]	Espessura[mm]
280	40	3

Fonte: próprio autor (2020).

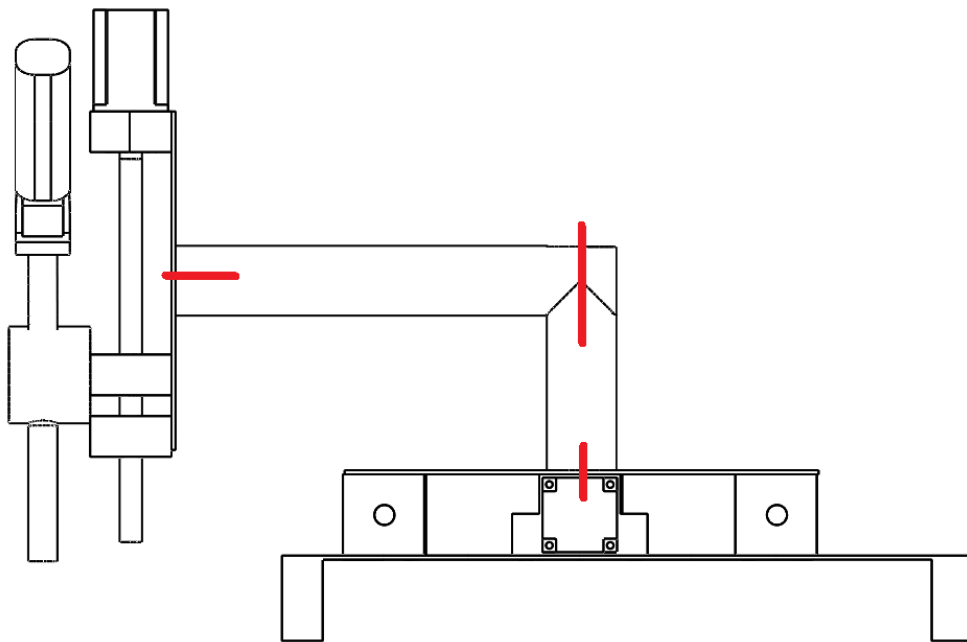
4.1.3 Torre

Para a torre, optou-se em utilizar alumínio por possuir menor peso e baixo custo, diminuindo assim o peso total da máquina. Suas propriedades são apresentadas no anexo C, página 95.

A torre é constituída de duas partes, uma peça vertical com 280mm de comprimento e uma peça horizontal com 370mm de comprimento, fixadas por parafuso. A barra de alumínio utilizada na fabricação da torre possui diâmetro de 25mm e suas dimensões foram adotadas visando maior proteção do equipamento contra os respingos gerados pelo processo de soldagem.

Na torre são utilizados parafusos como fixadores, para o dimensionamento dos parafusos foi utilizado como força atuante a própria força peso dos componentes acoplados a torre, na parte inferior é onde ocorre a maior sollicitação que tende a separar a junta. Na figura 10 os locais em destaque representam onde os parafusos serão utilizados na montagem das partes.

FIGURA 10 – Posição fixadores



Fonte: próprio autor (2020).

Conforme encontrado no apêndice A, página 55, a carga que tende a separar a junta tem um valor de:

$$P = 42,918 \text{ N}$$

O modelo de parafuso selecionado para a fixação foi o parafuso sextavado com rosca métrica, diâmetro de 8mm e passo de rosca de 1,25mm, conforme tabela 5.






TABELA 5 – Diâmetro e áreas de roscas

Diâmetro maior nominal d mm	Passo p mm	<i>Série de passo grosso</i>		<i>Série de passo fino</i>		
		Área de tensão de tração A_t , mm ²	Área de diâmetro menor A_r , mm ²	Passo p mm	Área de tensão de tração A_t , mm ²	Área de diâmetro menor A_r , mm ²
1,6	0,35	1,27	1,7			
2	0,40	2,07	1,79			
2,5	0,45	3,39	2,98			
3	0,5	5,03	4,47			
3,5	0,6	6,78	6,00			
4	0,7	8,78	7,75			
5	0,8	14,2	12,7			
6	1	20,1	17,9			
8	1,25	36,6	32,8	1	39,2	36,0
10	1,5	58,0	52,3	1,25	61,2	56,3
12	1,75	84,3	76,3	1,25	92,1	86,0
14	2	115	104	1,5	125	116
16	2	157	144	1,5	167	157
20	2,5	245	225	1,5	272	259

Fonte: adaptado de Shigley, 2011.

A classe do parafuso foi selecionada conforme a tabela das propriedades mecânicas dos parafusos de aço, mostrados na tabela 6.

TABELA 6 – Propriedades mecânicas parafusos de aço

Categoria de propriedade	Intervalo de tamanho inclusivo	Resistência mínima de prova, [†] MPa	Resistência mínima de tração, [†] MPa	Resistência mínima de escoamento, [†] MPa	Material	Marcação de cabeça
4,6	M5-M36	225	400	240	Baixo e médio carbono	
4,8	M1,6-M16	310	420	340	Baixo e médio carbono	
5,8	M5-M24	380	520	420	Baixo e médio carbono	
8,8	M16-M36	600	830	660	Médio carbono, Q&T (temperado e revenido)	
9,8	M1,6-M16	650	900	720	Médio carbono, Q&T (temperado e revenido)	
10,9	M5-M36	830	1040	940	Baixo carbono, martensita, Q&T (temperado e revenido)	

Fonte: adaptado de Shigley, 2011.

Como complemento de fixação, juntamente com os parafusos, visando manter o aperto dos mesmos será utilizado arruela de pressão M8, conforme catálogo do fornecedor na tabela 7.

TABELA 7 – arruelas de pressão



MATERIAL:
AÇO ALTO CARBONO - TEMPERADO E REVENIDO
ACABAMENTO:
ENEGRECIDO DE TÊMPERA
DIMENSÕES:
DIN 7980

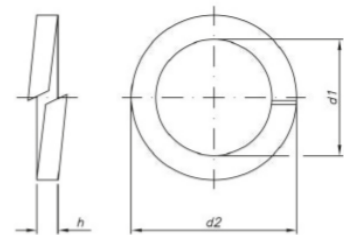


TABELA DE DIMENSÕES (MM) • QUANTIDADES POR EMBALAGEM

Diâmetro nominal	d1 (diâm. int.) mín.	d2 (diâm. ext.) máx.	h (espessura) mín.	QTDD
M 4	4,10	7,00	1,10	5.000
M 5	5,10	8,80	1,50	5.000
M 6	6,10	9,90	1,50	2.000
M 8	8,10	12,70	1,90	1.000
M 10	10,20	16,00	2,35	1.000
M 12	12,20	18,00	2,35	500
M 14	14,20	21,10	2,80	500
M 16	16,20	24,40	3,30	200
M 18	18,20	26,40	3,30	200

Fonte: adaptado de napoles (2020).

O comprimento do parafuso é encontrado através da equação E.1.

$$L = l' + 2 * Lp \quad (E.1)$$

$$\begin{aligned} h &= t1 + tarruela \\ h &= 25 + 1,9 = 26,9mm \end{aligned} \quad (E.2)$$

$$\begin{aligned} l' &= h + \frac{d}{2} \\ l' &= 26,9 + \frac{8}{2} = 30,9mm \\ L &= 30,9 + 2 * 1,25 = 33,4mm \end{aligned} \quad (E.3)$$

Onde:

- L – Comprimento ideal total da união parafusada sem porca [mm];
- Lp – Comprimento do passo [mm];
- l' – Comprimento das chapas na união + arruela [mm];
- h – Comprimento arruela + chapa [mm].

Foi encontrado um valor para o tamanho do parafuso de 33,4mm e para utilizar um parafuso de tamanho comercial adotamos o comprimento de 35mm. O modelo escolhido possui rosca em toda extensão do corpo, portanto o coeficiente de rigidez Kb pode ser encontrado através da equação E.4.

$$Kb = \frac{At * E}{l'} \quad (E.4)$$

Onde:

- At – área da porção com rosca[mm²];
- E – Coeficiente de elasticidade do material do parafuso ($E = 207000$ Mpa).

$$Kb = \frac{36,6 * 207000}{30,9}$$

$$Kb = 0,24518 \text{ MN/mm}$$

O material utilizado na torre é o alumínio que possui modulo de elasticidade $E=71000 \text{ Mpa}$, a rigidez da junta é encontrada pela equação E.5.

$$Km = \frac{0,5774 * \pi * E * d}{2 * \ln \left(5 \frac{(0,5774 * l + 0,5 * d)}{(0,5774 * l + 2,5 * d)} \right)} \quad (\text{E.5})$$

Onde:

- d –Diametro do parafuso [mm]

$$Km = \frac{0,5774 * \pi * 71000 * 8}{2 * \ln \left(5 \frac{(0,5774 * 30,9 + 0,5 * 8)}{(0,5774 * 30,9 + 2,5 * 8)} \right)}$$

$$Km = 486094,91 \text{ MN/mm}$$

Com a equação E.6, encontramos a parcela de carga que age no parafuso, e para a pré-carga utilizamos a equação E.7.

$$C = \frac{Kb}{Kb + Km} \quad (\text{E.6})$$

$$C = \frac{0,24518}{0,24518 + 486094,91}$$

$$C = 0,000000504$$

$$F_i = 0,75 * S_p * A_t \quad (E.7)$$

Onde:

- S_p – Resistência mínima de prova ($S_p=310$ Mpa);
- F_i – Pré carga.

$$F_i = 0,75 * 310 * 36,6$$

$$F_i = 8509,5 N$$

Com os esforços que agem sobre os elementos calculados, encontra-se um coeficiente de segurança de separação da junta, que é dado pela equação E.8.

$$n_{sep} = \frac{F_i}{P(1 - C)} \quad (E.8)$$

$$n_{sep} = \frac{8509,5}{42,918(1 - 0,000000504)}$$

$$n_{sep} = 198,2$$

Este alto valor encontrado é devido aos parafusos utilizados, nos garantindo a união da junta parafusada.

A tabela 8 apresenta as principais características dos parafusos utilizados na fixação da torre.

TABELA 8 – Características parafuso

Material	Rosca	Cabeça	Classe	Passo	Comprimento
Aço	Métrica	sextavada	4.8	1,25 mm	35 mm

Fonte: próprio autor (2020).

4.1.4 Sapatas

As sapatas têm como função principal nivelar e dar apoio a todos os componentes da estrutura, ao total serão utilizados 04 pontos de apoio localizados nas extremidades da base, considerando toda a estrutura com peso aproximado de 10,734kg, cada ponto de apoio irá suportar 2,683kg aproximadamente. Dadas essas informações optou-se em utilizar sapatas de nylon, o qual já tínhamos acesso ao material e suas características construtivas são apresentadas na tabela 9, as propriedades do material são encontradas no anexo D, página 96.

TABELA 9 – Dimensões sapata

Base[mm]	Largura[mm]	Altura[mm]
35	35	60

Fonte: próprio autor (2020).

4.1.5 Fusos

A máquina será equipada com dois fusos responsáveis em transformar o movimento rotacional em linear. Um deles será responsável pelo movimento horizontal da base móvel e o outro pelo movimento vertical da tocha de solda.

O procedimento e o detalhamento dos cálculos para encontrar as forças atuantes nos fusos foi baseado nas equações e tabelas fornecidas pela empresa **BIMECCANICA**, traduzida pelo distribuidor **A.T.I BRASIL** e encontram-se no apêndice B, página 58.

4.1.5.1 Fuso horizontal

Para o movimento horizontal foi utilizado um fuso trapezoidal de 14mm de diâmetro e passo de 3mm. As principais características do fuso são apresentadas na tabela 10.

TABELA 10 – Características fuso

Material	Tipo de rosca	Resistência mecânica [N/mm^2]	HB
Aço R50	Trapezoidal	460/650	120/200

Fonte: próprio autor (2020).

4.1.5.2 Fuso vertical

No movimento vertical, optou-se em utilizar o mesmo fuso trapezoidal com 14mm de diâmetro e passo de 3mm, padronizando a montagem do equipamento sendo que o mesmo atende aos esforços que estão sendo solicitados na devida aplicação.

4.1.6 Mancais

São elementos de máquinas amplamente utilizados em máquinas e equipamentos, sua função é permitir o movimento relativo entre duas superfícies, servindo como apoio dos eixos e suportando os esforços radiais e axiais.

Para este projeto optou-se em utilizar mancais de deslizamento devido o equipamento não ser de uso contínuo nem possuir elevada carga de trabalho.

Dentre os materiais disponíveis para a utilização em mancais de deslizamento optou-se em utilizar o nylon por ser um material estável com boa resistência mecânica e térmica, com baixo coeficiente de atrito atendendo as necessidades propostas em serviço e ao qual já tínhamos acesso.

Os mancais são submetidos a esforços devido a força peso e pela movimentação dos fusos. Visando a padronização do equipamento, optou-se em utilizar o mesmo modelo de mancal em todos os eixos e guias lineares, portanto os

cálculos de dimensionamento são baseados no mancal onde se encontra o maior carregamento.

No dimensionamento dos mancais, necessitamos de algumas características do projeto já estabelecidas, como já definimos que o material utilizado nos mancais é o nylon, será realizado o dimensionamento para verificar se o material atende aos esforços solicitados.

Para o equacionamento consideramos:

- η – Velocidade angular [Rev/s];
- D – Diâmetro [m];
- w – Carga [N];

Primeiramente é necessário encontrar a velocidade linear de trabalho, através da equação E.9, visando aproximar de um valor médio de velocidade de soldagem de 30cm/min.

$$\begin{aligned} V &= \pi * D * \eta & (E.9) \\ V &= \pi * 0,012 * 0,132 \\ V &= 0,005 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Como o eixo possui rotação contínua, deve ser encontrado a relação, L/d, comprimento e diâmetro necessário do mancal para suportar o carregamento submetido. Como será utilizado lubrificação mista, recomenda-se L/d=1, através da equação E.10 encontramos o comprimento mínimo requerido do mancal.

$$\begin{aligned} L &= 1 * D & (E.10) \\ L &= 1 * 12 \\ L &= 12 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sabendo o tamanho mínimo necessário, adota-se como fator de segurança o comprimento de L=24 mm.

A pressão do eixo é obtida através da equação E.11.

$$\begin{aligned} P &= \frac{w}{l * d} & (E.11) \\ P &= \frac{21,46}{24 * 12} \\ P &= 0,0745 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

E o produto da carga com a velocidade linear, que é o parâmetro fundamental para saber a capacidade do material de acomodar a energia gerada pelo atrito entre as superfícies, é dada pela equação E.12.

$$pV = P * v \quad (E.12)$$

$$pV = 0,0745 * 0,005$$

$$pV = 0,000372 \text{ Mpa. m/s}$$

A tabela 11 apresenta alguns polímeros e seus respectivos valores de pV , materiais que são comumente utilizados na fabricação de mancais e buchas. Segundo (Mott, 2013) o valor pV deve ser multiplicado por um fator de projeto igual a 2 antes de ser utilizado para encontrar o material apropriado, portanto:

$$pV = 0,000372 * 2$$

$$pV = 0,000745 \text{ Mpa. m/s}$$

Com este valor de pV encontrado, verificamos na tabela 11 que o valor pV para o nylon está bem acima do valor encontrado no equacionamento, garantindo que os mancais são capazes de suportar aos esforços sobre o qual estão submetidos.

TABELA 11 – Características dos materiais de mancais e buchas

Material	pV (MPa-m/s)	Descrição	Coefficiente de atrito	Velocidade máxima(m/s)
Bronze-manganês	5,25	SAE 430A; ASTM: B271, B584, B148 (65%Cu, 25%Zn, 4%Al, 3%Fe, 3%Mn)	-	-
Bronze-alumínio	4,38	ASTM: B271, B505, B148 (85%Cu, 11%Al, 4%Fe)	-	-
Ds, óleo	10	Metal Polímero a base de termoplástico, rugosidade mínima $Ra \leq$ 0,4	0,03 - 0,08	10
Vespel® SP-22	10,70	Poli-imida, reforço de 40% de grafite, temperatura 393 °C	0,09 - 0,20	2,54 - 5,08
nylon	0,14	Temperatura até 217 °C	-	3

Fonte: adaptada de Nunez (2020).

Abaixo a tabela 12 apresenta as principais características construtivas dos mancais.

TABELA 12 – Características mancais

Diâmetro do furo [mm]	Comprimento [mm]	Material
12	24	Nylon

Fonte: próprio autor (2020).

4.1.7 Guias lineares

As guias lineares são responsáveis em sustentar o peso da estrutura e suavizar o movimento de deslocamento, proporcionando estabilidade e precisão no posicionamento. Neste projeto serão utilizadas guias retificadas com 12 mm de diâmetro, feitas com o aço SAE 52100 que possui alta dureza e resistência ao desgaste. Sua composição é apresentada na tabela 13.

TABELA 13 – Elementos de composição Aço SAE 52100

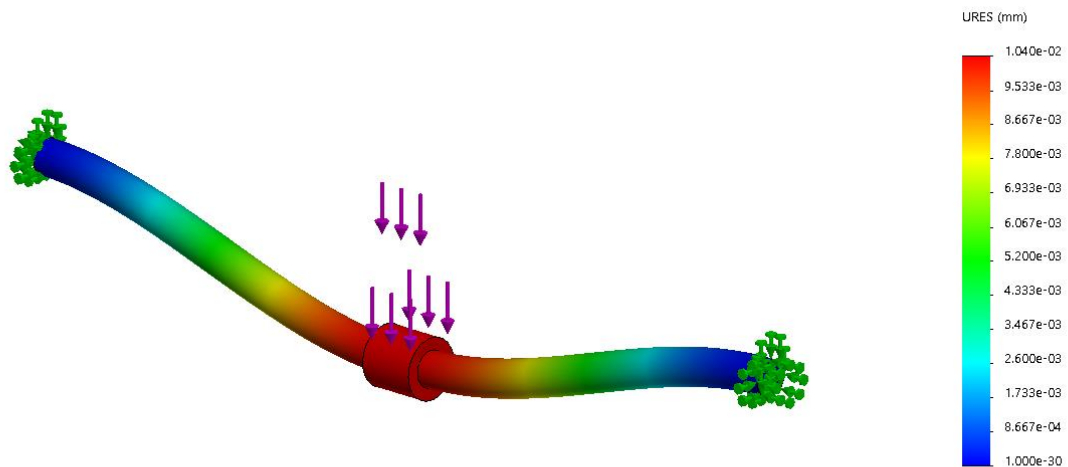
elemento	C	Cr	Fe	MN	P	Si	S
composição	0,98- 1,1%	1,3- 1,6%	96,5- 97,32%	0,25- 0,45%	<=0,025%	0,15- 0,30%	<=0,025%

Fonte: Aços Roman (2020).

Como a guia é fixa em suas extremidades e suporta uma carga que se desloca em um pequeno percurso, foram realizadas simulações por elementos finitos utilizando o software *Solidworks* para encontrar a maior deformação na guia no instante em que o carregamento está no meio do percurso, ou seja, o ponto mais afastado do apoio.

Na figura 11 é mostrado o resultado da simulação, com um valor de deslocamento máximo de 0,0104 mm

FIGURA 11 – Deslocamento máximo



Fonte: próprio autor (2020).

Para a simulação foi utilizada a força que é aplicada a cada uma das guias lineares, com valor de $F=21,459 \text{ N}$, verificando assim que o valor do deslocamento encontrado é satisfatório devido à baixa carga aplicada.

De modo a confirmar este valor foi realizado um cálculo analítico, de mesma forma, considerando as extremidades engastadas e a força aplicada no centro, através da equação E.13.

$$V_{max} = \frac{-P * L^3}{48 * E * I} \quad (\text{E.13})$$

Onde:

- V_{max} – Deslocamento máximo;
- P – Carga no guia;
- L – Comprimento do guia = 360 mm ;
- E – Modulo de elasticidade do material = 210 Gpa ;
- I – Inercia do guia = $1017,87 \text{ mm}^4$.

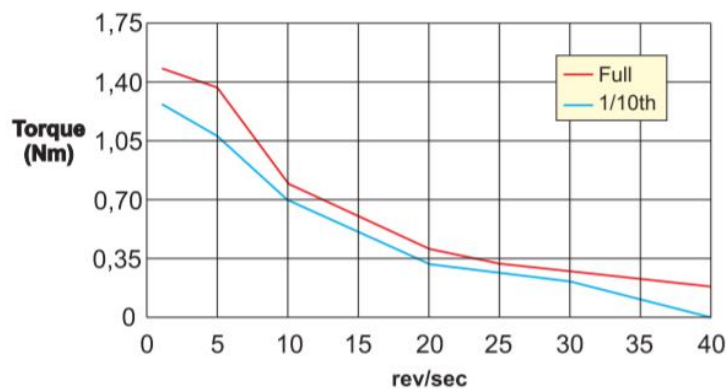
O valor de deslocamento máximo encontrado foi de $V_{max} = 0,097 \text{ mm}$, validando assim os resultados encontrados visto que ambos possuem valores aproximados.

4.1.8 Motores

O motor utilizado para movimentação dos eixos é o modelo KTC-HT23-400, da kalatec automação. Conforme cálculos realizados no dimensionamento apresentado no apêndice C, página 59, o momento torçor (torque) encontrado no eixo foi de $T=0,14 \text{ Nm}$, ou $T=1,42 \text{ kgf.cm}$, e as características do motor utilizado se encontram na figura 12.

FIGURA 12 – Motor de passo KTC-HT23-400

Flange: 56,0mm
Passo em Angulo: 1,8°
Torque Estático Bipolar: 1,90Nm (19,0kgf.cm)
Quantidade de Fios: 08
Ligações possíveis: Unipolar, Bipolar Serie e Bipolar Paralelo
Corrente Bipolar Serie: 1,40A/fase
Corrente Bipolar Paralelo: 2,80A/fase
Corrente Unipolar: 2,0A/fase
Inercia: 480g.cm ²
Temperatura de Operação: -20 a + 50 °C
Classe de isolamento: Classe B (130 °C)
Diâmetro do eixo: 1/4" (6,35 mm)
Peso: 1,0Kg



Fonte: adaptado de kalatec automação (2020).

4.2 Sistema eletrônico de controle e operação

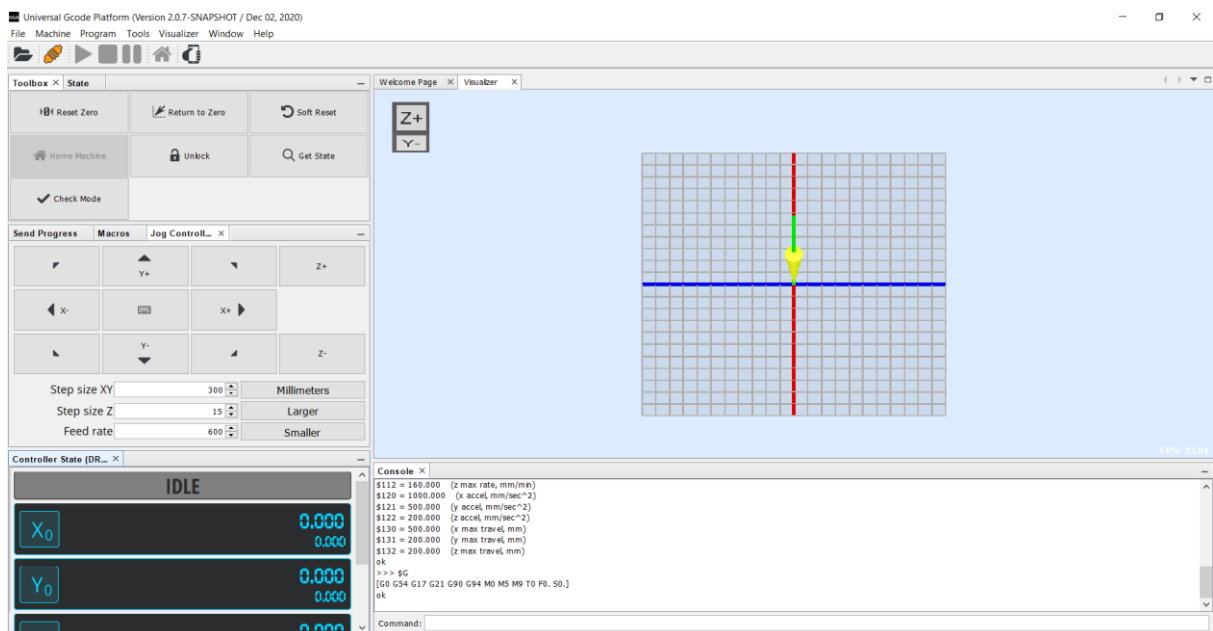
Todo o funcionamento do equipamento se dá através de um sistema eletrônico embarcado, que para seu funcionamento pode ser conectado a qualquer computador que possua uma entrada *USB* e que possua instalado o software de interface gráfica.

4.2.1 Interface de operação

A interação do operador com o equipamento é realizada através de um computador utilizando o *Universal G-code sender (UGS platform)* que é um software de interface gráfica desenvolvido para controle de máquinas CNC, ele apresenta as opções para controle do equipamento, campo para comando utilizando o Código-G, visualização da execução do Código-G em tempo real.

Como *Firmware* foi adotado o *Grbl*, apresentado na figura 13, que é o programa responsável em fazer com que o microcontrolador interprete os comandos que foram enviados pelo operador e os transforme nas ações de acionar os motores e ativar/desativar o módulo relé.

FIGURA 13 – Área de trabalho UGS

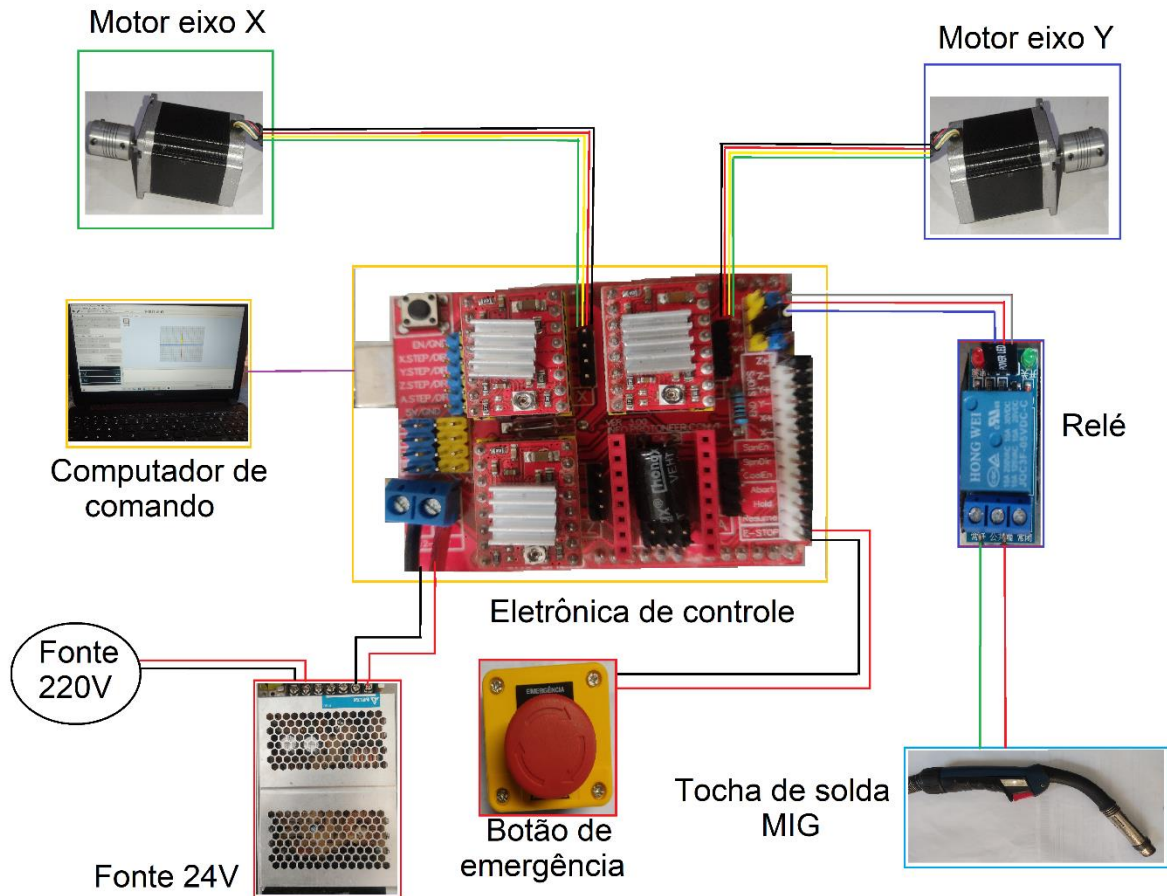


Fonte: próprio autor (2020).

4.2.2 Componentes eletrônicos

O equipamento possui um conjunto de componentes eletrônicos conectados entre si, e o resultado é o circuito elétrico representado na figura 14, descrevendo cada componente e suas respectivas ligações.

FIGURA 14 – Diagrama circuito elétrico



Fonte: próprio autor (2020).

4.2.2.1 Arduino UNO R3

O Arduino, figura 15, é uma plataforma eletrônica desenvolvida para prototipagem, é composto por microcontroladores e circuitos de entrada/saída, ele é capaz de armazenar e processar informações e também possui uma linguagem de programação o que nos permite implementá-lo no controle de diversos sistemas interativos.

FIGURA 15 – Arduino UNO R3

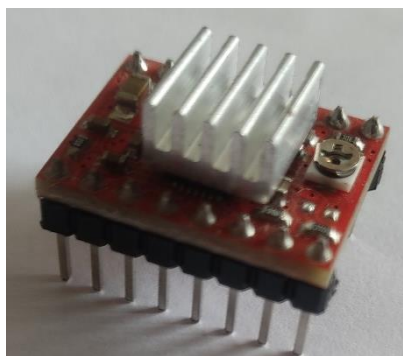


Fonte: próprio autor (2020).

4.2.2.2 Driver A4988

O Driver A4988, figura 16, é um módulo de controle para motores de passo, com ele é possível selecionar a resolução do motor de passo utilizado e a corrente máxima de saída para cada motor permitindo assim sua utilização para diversos modelos de motores de passo.

FIGURA 16 – Driver A4988



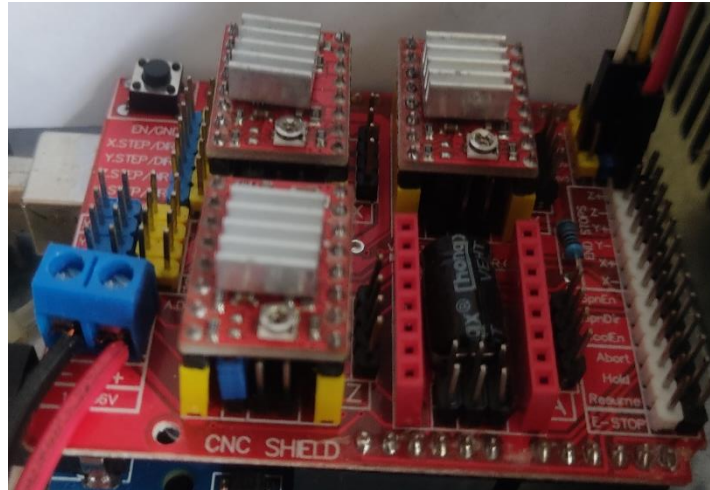
Fonte: Próprio autor (2020).

4.2.2.3 CNC Shield V3

A CNC Shield V3, apresentada na figura 17, é uma placa eletrônica projetada para controlar máquinas CNC a partir de uma placa Arduino, ela possui conexões para 4 drivers e com isso o uso de até 4 motores de passo, também possui conexões para

sensores de fim de curso, relés e botões de controle, itens que são amplamente utilizados em máquinas CNC, a disposição dos pinos permite que a CNC Shield seja acoplada em cima do Arduino de forma prática e eficiente.

FIGURA 17 – CNC Shield V3



Fonte: Próprio autor (2020).

4.2.2.4 Relé

A Relé tem função de um interruptor quando conectada à CNC Shield, conforme programação realizada, o Arduino envia um sinal que chaveia a relé permitindo a passagem de corrente através da mesma e quando o Arduino corta o sinal a relé é desativada.

A figura 18, apresenta o modelo utilizado, o led verde indica quando a relé está ativada e o led vermelho, quando está desativada.

FIGURA 18 – Relé

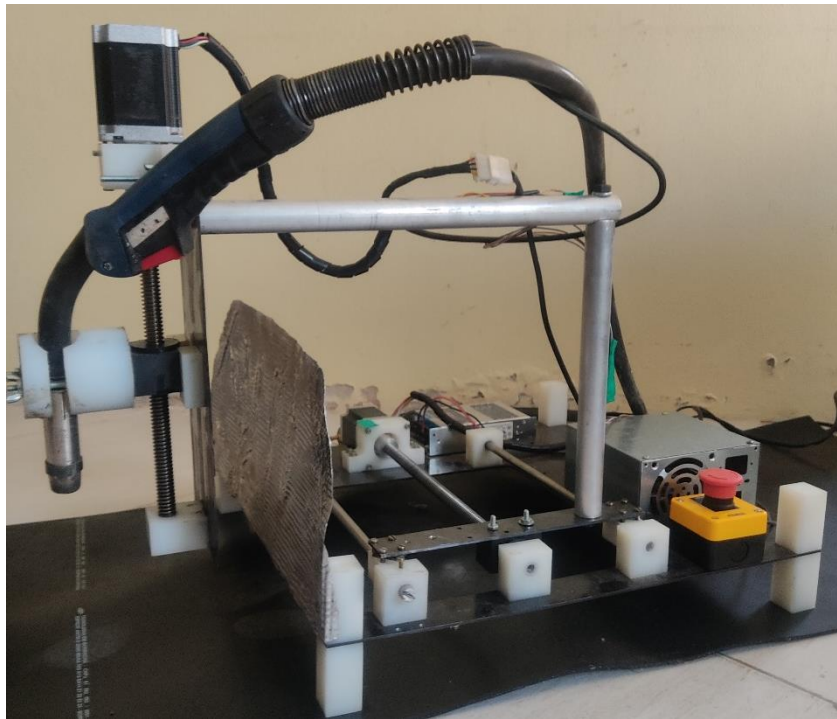


Fonte: próprio autor (2020).

5 TESTES E AJUSTES

Com o equipamento devidamente montado, conforme mostrado na figura 19, foram realizados alguns testes para verificar o funcionamento dos componentes mecânicos/eletrônicos e avaliar alguns aspectos durante operação do equipamento.

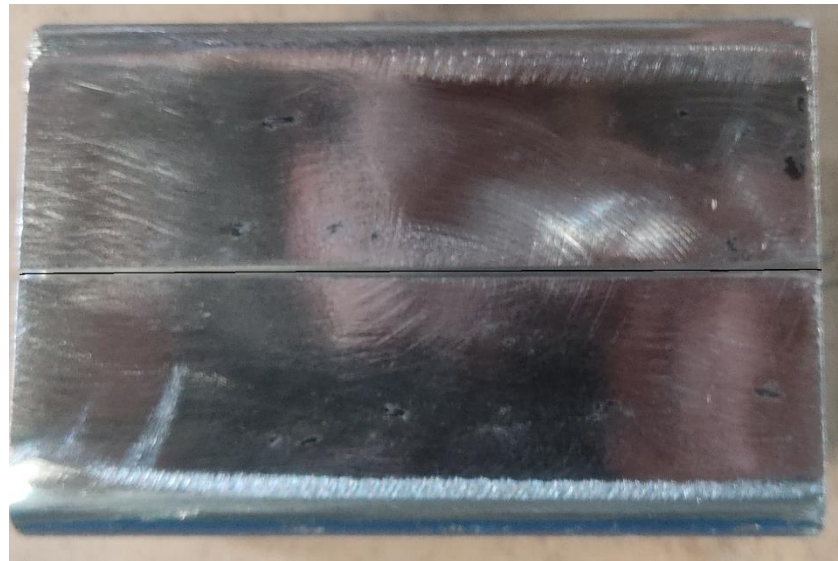
FIGURA 19 – Montagem final do projeto



Fonte: próprio autor (2020).

Para os testes foram utilizadas duas chapas de aço carbono SAE 1012, com espessura de 3 *mm*, que foram unidas através do processo de soldagem MIG, figura 20.

FIGURA 10 – Chapas de aço posicionadas em topo

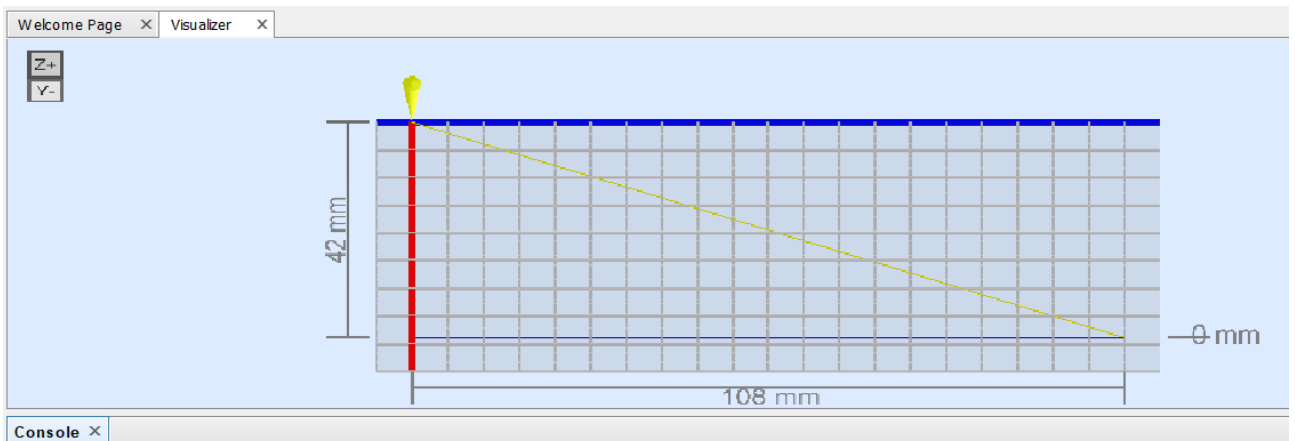


Fonte: próprio autor (2020).

Com o equipamento devidamente instalado e as chapas fixadas, foi definido o ponto zero XY da peça/máquina para que ela tomasse este ponto como referência quando executar o código de trabalho.

Para o ensaio foi elaborado um programa em código G, o qual executa toda a operação de soldagem sem necessitar de nenhuma ação do operador, o código criado para realizar a solda é apresentado na figura 21.

FIGURA 21 – Código G



```

- G90
- M5
- G01 F400 Y-42
- G01 F190 X108 M3
- G00 X0 Y0 M5
- M30

```

Fonte: próprio autor (2020).

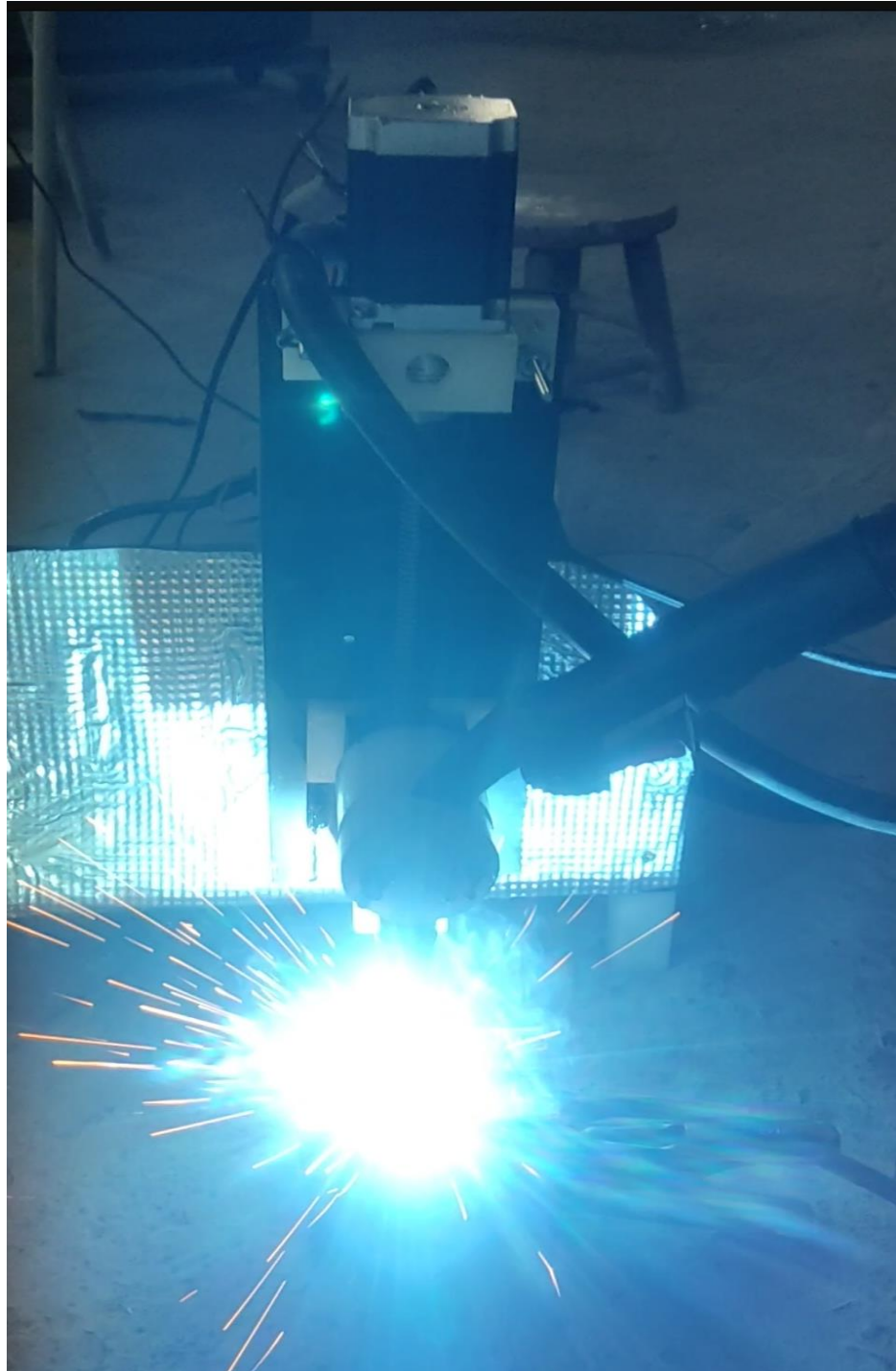
Onde:

- *G90* – Interpolação em coordenadas absolutas;
- *M5* – Desativa relé;
- *G01*– Interpolação linear;
- *F*– Velocidade [mm/min];
- *X, Y* – Eixos;
- *M3* – Ativa relé
- *G00* – Posicionamento rápido;
- *M30* – Fim de programa.

Para este teste, a velocidade de soldagem foi definida em 190mm/min, ou, 3,16mm/s conforme podemos observar no código gerado. A tensão de trabalho adotada foi de 21,96V e a velocidade do arame foi de 8m/min

A figura 22, mostra o equipamento durante operação.

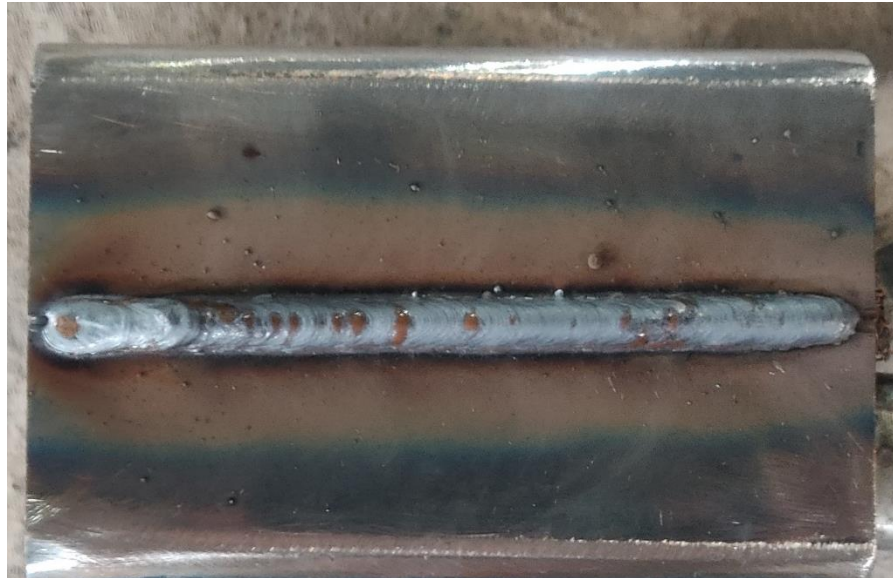
FIGURA 22 – Equipamento em operação



Fonte: próprio autor (2020).

Após o teste de soldagem observou-se que a solda, figura 23, teve uma uniformidade ao longo de todo comprimento não apresentando descontinuidades, gerando um resultado satisfatório.

FIGURA 23 – Cordão de solda



Fonte: próprio autor (2020).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foram realizados, o projeto e a construção de uma estrutura mecânica automatizada, que quando acoplada ao aparelho de solda é capaz de realizar um cordão de solda preciso. Seu controle é bastante simples já que sua programação é realizada através de código G, o que não exige um conhecimento profundo na área de programação.

O objetivo principal era desenvolver uma estrutura de baixo custo, que nos permitisse controlar com precisão a variável velocidade num processo de soldagem.

Após a concepção da máquina, foi realizado o dimensionamento dos principais componentes e a escolha dos materiais a serem utilizados na fabricação, foram realizadas simulações e análises conferindo a confiabilidade do projeto. Com o equipamento devidamente montado e instalado junto a um aparelho de solda MIG, realizou-se testes de soldagem assim possibilitando avaliar seu funcionamento, comprovando que a determinação dos materiais utilizados e o dimensionamento adotado supriu ao propósito do projeto.

O equipamento apresentou comportamento satisfatório durante os testes, manteve a precisão nos eixos X e Y, realizou um cordão de solda de ótima qualidade, mantendo estabilidade durante todas as movimentações realizadas nos testes, se mostrando uma ferramenta funcional quando se busca realizar uma solda com precisão para analisar as propriedades e parâmetros da soldagem.

Como sugestão para a realização de trabalhos futuros fica a caracterização da estrutura e a análise de uma solda realizada com o equipamento, permitindo fazer um comparativo com uma solda tradicional, demonstrando assim a influência do controle de velocidade no processo de soldagem.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8400: Cálculo de equipamento para levantamento e movimentação de cargas**. Rio de Janeiro. 1984.

ATI BRASIL. **Fuso de rosca trapezoidal**. Curitiba: ATI BRASIL, 2000. 41p. Disponível em: <https://www.atibrasil.com.br/img/cms/Catalogos/fuso-de-rosca-trapezoidal.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2021.

BIMECCANICA. Site da bimeccanica, 2021. **Catálogo técnico 76.19**. Disponível em: <http://www.bimeccanica.it/download-cataloghi>. Acesso em: 12 abr. 2021.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos – STME**. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 1978. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho/pt-br/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-12.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2020.

Brito, A; Alexandre, E. **Introdução a Arquitetura de Computadores**. João Pessoa: Editora da UFPB, 2014.

DORTE, Fernando C. et al. **Elementos de máquina**. Florianópolis: Editora Senai/SC, 2010.

ESAB. **Processo de soldagem: MIG/MAG (GMAW)**. 2020. Disponível em: https://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_mig_mag_gmaw.cfm. Acesso em: 04 nov. 2020.

Fernandes, J. P. **A IMPORTÂNCIA DA AUTOMATIZAÇÃO NOS PROCESSOS INDUSTRIAIS**. São Paulo. Disponível em: <https://www.finamac.com.br/noticias/2012/12/a-importancia-da-automatizacao-nos-processos-industriais>. Acesso em: 15 out. 2020.

GORDO, Nívia; FERREIRA, Joel. **Mecânica: Elementos de Máquinas**. São Paulo, 2012.

GRUPO A.R. **O que é aço 52100**. São Paulo. Aços Roman, 2021. Disponível em: <https://aco.com.br/o-que-e-sae-52100-aco-carbono-cromo/>. Acesso em: 22 mar. 2021.

GRUPO NAPOLES. **Site do grupo napoles**, 1969. Suprimentos e equipamentos comerciais. Disponível em: <http://www.gruponapoles.com.br>. Acesso em: 28 mar. 2021.

Henriques, R. V. B. Programação e Simulação de Robôs. In: Vitor Romano. (Org.). **Robótica Industrial: Aplicação na Indústria de Manufatura e de Processos**. 1 ed. São Paulo: Edgard Blücher, pp. 109-125; 2002.

MACHADO, Ivan Guerra. **Soldagem & técnicas conexas: processos**. Porto Alegre: Ed. Do Autor, 1996.

MODENESI, Paulo José; MARQUES, Paulo Villani; BRACARENSE, Alexandre Queiroz. **Soldagem-fundamentos e tecnologia**. Editora UFMG, 2005.

MODENESI, Paulo J.; MARQUES, Paulo V.; SANTOS, Dagoberto B. **Introdução à metalurgia da soldagem**. Belo Horizonte: UFMG, 2012.

MORO, N. **Apostila de Elementos de Máquinas**. Centro Federal de Educação.

MORAES, Giovanni. **Normas regulamentadoras comentadas e ilustradas**. 8. Ed. Rio de Janeiro: Livraria Virtual, 2014.

MOTT, Robert L. **Elementos de máquinas em projetos mecânicos**. Pearson Higher Ed, 2013.

NR-12 – SEGURANÇA NO TRABALHO – Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos. Disponível em: <http://abimaq.org.br/Arquivos/HTML/Documentos/NR12/NR12%20-%2031.07.2019.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2020.

NORTON, Robert L. **Projeto de máquinas**. 52ookman editora, 2013.

NUNEZ, David Lira. **Mancais de deslizamento: seleção correta para um projeto de máquina confiável**. Authorea Preprints, 2020.

Oliveira, M.F. **Projeto de um Robô Cartesiano com Acionamento Pneumático**. 2007. 119f. Dissertação (mestrado em engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

PAHL, Gerhard et al. **Projeto na engenharia**. Editora Blucher, 2005.

ROMANO, V.; DUTRA, M. Introdução a robótica industrial. **Robótica Industrial: Aplicação na Indústria de Manufatura e de Processo**, São Paulo: Edgard Blücher, p. 1-19, 2002.

SILVA, Régis Henrique Gonçalves et al. **Soldagem MIG/MAG em transferência metálica por curto-circuito controlado aplicada ao passe de raiz**. 2005.

SHIGLEY, Joseph Edward. **Shigley's mechanical engineering design**. Tata McGraw-Hill Education, 2011.

Volpato N. **Prototipagem rápida: tecnologia e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher; 2007.

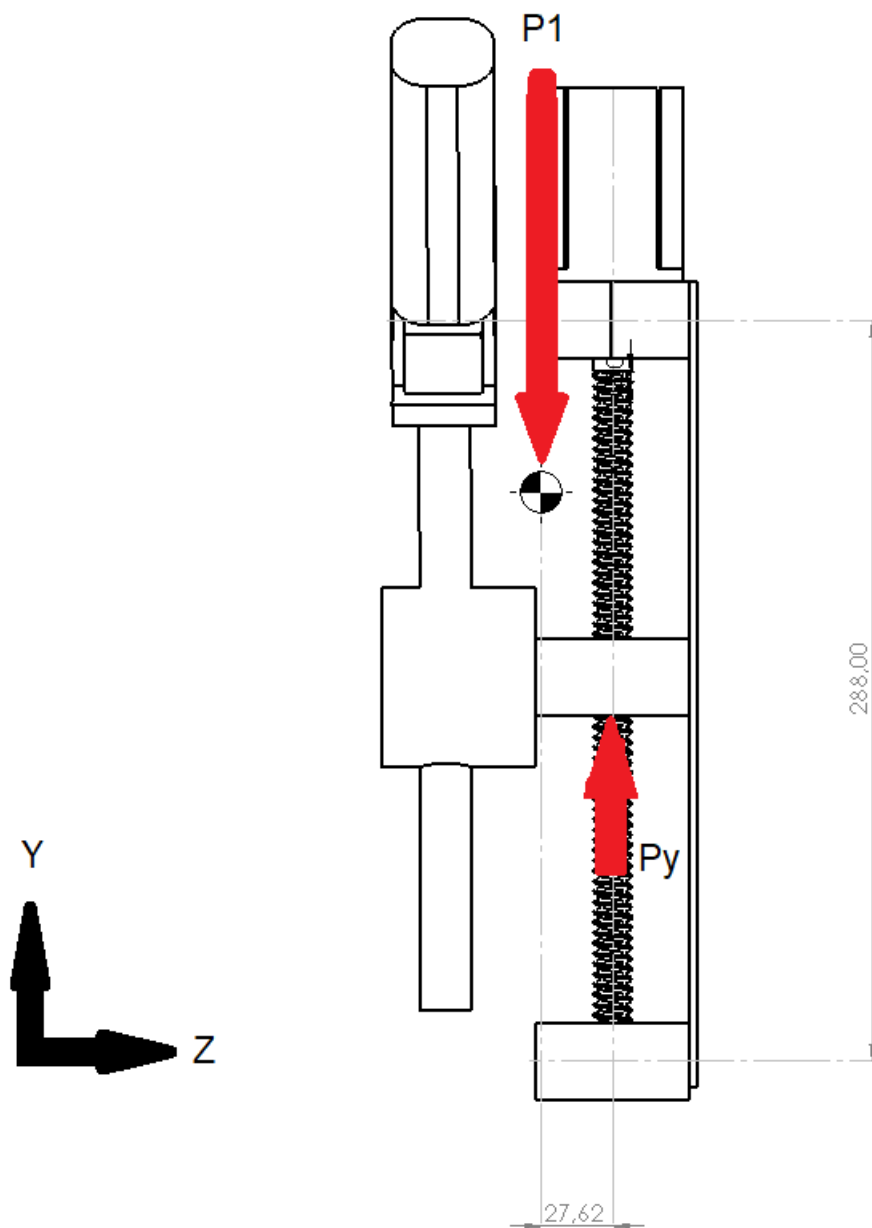
WAINER, Emílio; BRANDI, Sérgio Duarte; DE MELLO, Fabio Decourt Homem. **Soldagem: processos e metalurgia**. Editora Blücher, 1992.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Forças Atuantes

Neste apêndice serão mostrados os maiores esforços encontrados no equipamento e o somatório de forças para cada um dos eixos de movimentação. O (DCL) mostrado na figura 24 representa as forças atuantes no mecanismo de movimentação do eixo y.

FIGURA 24 – DCL sistema de movimentação eixo Y, plano YZ



Fonte: próprio autor (2020).

O sistema de movimentação não sofre ações de agentes externos, o que nos leva a fazer algumas considerações visando a simplificação dos cálculos:

- A castanha do fuso, suporta apenas esforços paralelos ao eixo y;
- A força que atua na estrutura é somente a força peso;
- Localização do centro de massa foi determinada utilizando o software Solidworks®.

A magnitude da força peso do sistema de movimentação y encontrada é de:

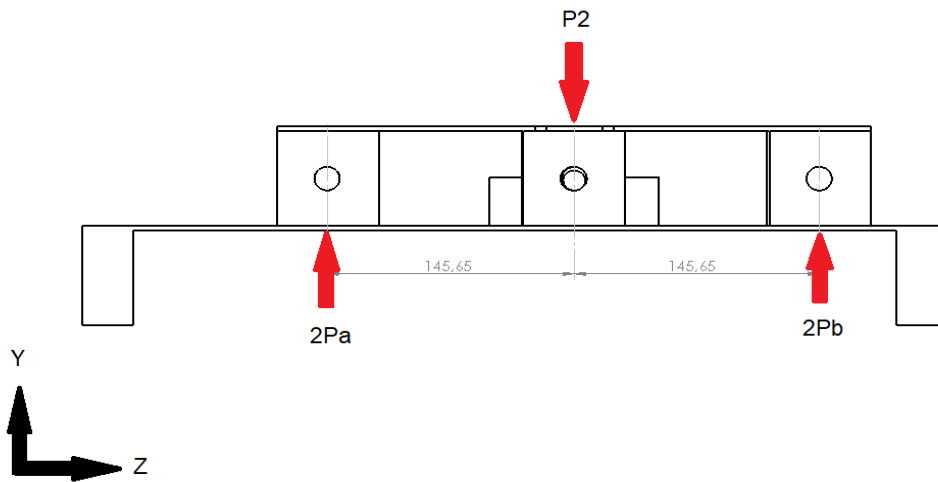
$$P1 = 9,016 N$$

Na castanha do fuso no eixo y a força P_y aplicada é encontrada pelo somatório de forças no eixo y, pela equação E.14.

$$\begin{aligned}\Sigma F_y &= 0 \\ -P1 + P_y &= 0 \\ P_y &= 9,016 N\end{aligned}\tag{E.14}$$

No sistema de movimentação do eixo x, exibido na figura 25, o (DLC) representa as forças que agem no sistema de movimentação do eixo x.

FIGURA 25 – DCL Sistema de movimentação eixo X, plano YZ



Fonte: próprio autor (2020).

Devido a estrutura não sofrer influência de forças externas, considera-se que as forças atuam somente no plano y-z, onde a força peso da estrutura montada em cima da base móvel é representada pela força $P2$. As forças aplicadas aos mancais de apoio são multiplicadas por dois, devido a carga ser suportada por quatro mancais, e o fuso sofre apenas reações devido a movimentação do peso da estrutura.

A magnitude da força $P2$ encontrada é de:

$$P2 = 42,918 \text{ N}$$

$$\Sigma Mb = 0$$

$$P2 * 14,65 - 2Pa * 29,3 = 0 \quad (\text{E.15})$$

$$Pa = 10,73 \text{ N}$$

$$\Sigma Fy = 0$$

$$-P2 + 2Pa + 2Pb = 0 \quad (\text{E.16})$$

$$Pb = 10,73 \text{ N}$$

APÊNDICE B – Fusos

O fuso escolhido neste projeto foi o Tr 14X3, fabricado pela bimeccanica, e distribuído pela ATI Brasil, conforme tabela 14.

TABELA 14 – catálogo fusos Bimeccanica

BARRE FILETATE STANDARD/R50									
BARRE FILETATE TRAPEZIE IN ACCIAIO "R50" (11SMnPb37 W.NR: 1.0737) TR10/100 DESTRE e SINISTRE (7e classe 100 in asportazione)									
- art.BFA (Dx/Sx) - Codice "MA (R/L)" Utilizzo generico per trasmissioni meccaniche a basso e medio carico - Serie BID = Lunghezze standard con filettatura Destra/Sinistra in unico pezzo.									
art.BFA/R50			NORME ISO 2901/2/3/4 - DIN 103						
BID = CON FILETTATURE Dx/Sx IN UNICO PEZZO			DATI TECNICI RIGUARDANTI TUTTE LE BARRE IF - FC - BID						
# Lunghezze Standard	1500 Dx + cd.20 + 1500 Sx (Ll.3020)	3000 Dx + cd.20 + 3000 Sx (Ll.6020) <u>SU RICHIESTA</u>	TR/cd. De 1/3 Ø ESTERNO	dn Ø NOCCIOLO mm	dm Ø MEDIO (max) mm	dm Ø MEDIO (min.) mm	Kg al mt. FILETTATURA	Kg al mt. CODOLO	GIRI E CARICHI max
* TR 10x2x CODICE	1500 Dx + cd.20 + 1500 Sx (Ll.3020) MA10230R/L	-	10	7	8,92	8,73	0,500	0,617	VEDI GUIDA GENERALE AI PRODOTT.
TR 10x3x CODICE	1500 Dx + cd.20 + 1500 Sx (Ll.3020) MA10330R/L	-	10	6	8,41	8,19	0,450	0,617	
TR 12x3x CODICE	1500 Dx + cd.20 + 1500 Sx (Ll.3020) MA12330R/L	-	12	8	10,41	10,18	0,680	0,888	
* TR 14x3x CODICE	1500 Dx + cd.20 + 1500 Sx (Ll.3020) MA14330R/L	-	14	10	12,41	12,19	0,960	1,208	
TR 14x4x CODICE	1500 Dx + cd.20 + 1500 Sx (Ll.3020) MA14430R/L	-	14	9	11,90	11,64	0,890	1,208	
TR 16x4x CODICE	1500 Dx + cd.20 + 1500 Sx (Ll.3020) MA16430R/L	-	16	11	13,90	13,64	1,200	1,578	
TR 18x4x CODICE	1500 Dx + cd.20 + 1500 Sx (Ll.3020) MA18430R/L	-	18	13	15,90	15,64	1,580	1,998	
TR 20x4x CODICE	1500 Dx + cd.20 + 1500 Sx (Ll.3020) MA20430R/L	-	20	15	17,89	17,62	1,950	2,466	
* TR 22x5x CODICE	1500 Dx + cd.20 + 1500 Sx (Ll.3020) MA22530R/L	-	22	16	19,39	19,11	2,340	2,984	
* TR 24x5x CODICE	1500 Dx + cd.20 + 1500 Sx (Ll.3020) MA24530R/L	-	24	18	21,39	21,09	2,900	3,551	

Fonte: adaptado de bimeccanica (2020).

Para os cálculos, foi selecionado o fuso horizontal, o qual possui um maior comprimento e uma carga axial com valor de:

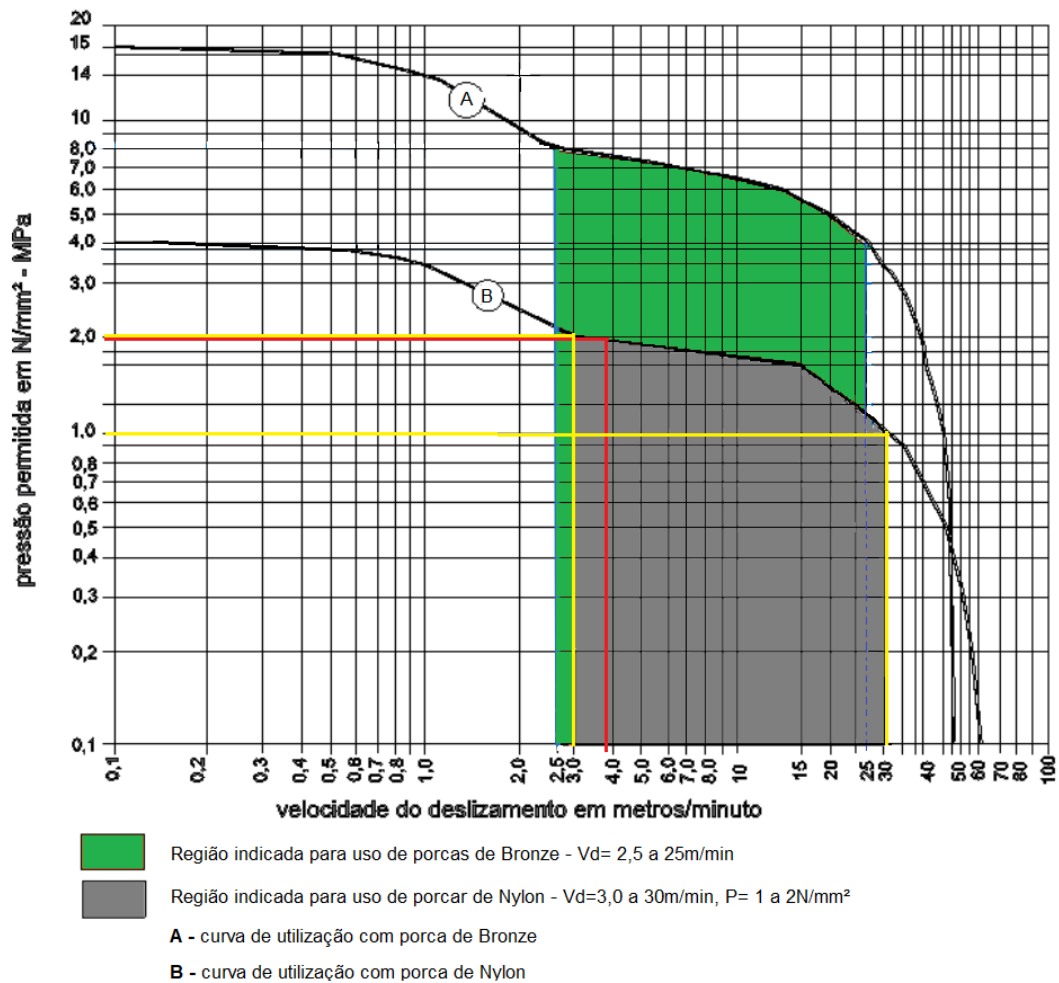
$$F_2 = 42,918 \text{ N}$$

Com o valor da carga axial e sabendo que o primeiro filete suporta um valor aproximado de 38% da força axial, portanto:

$$F_f = 42,918 \text{ N} * 0,38 \quad (\text{E.17})$$

$$F_f = 16,308 \text{ N}$$

FIGURA 11 – Gráfico pressão X velocidade



Fonte: adaptado de ATI Brasil (2020).

O fabricante disponibiliza este gráfico da pressão permitida X velocidade de deslizamento, figura 26, em destaque no gráfico a área recomendada para utilização de porcas de nylon com $Vd = 3$ a 30m/min e pressão $=1$ a 2N/mm^2

Para ficar dentro da pressão específica permitida segundo o fabricante, vamos encontrar uma área resistente mínima de um filete através da equação E.18, como segurança utilizamos o menor valor para pressão.

$$Ar = \frac{F}{P_{\text{permitida}}} \quad (\text{E.18})$$

$$Ar = \frac{16,308\text{ N}}{1\text{ N/mm}^2}$$

$$Ar = 16,306\text{ mm}^2$$

Onde:

- A_r – Área resistente mínima [mm²];
- F – Força aplicada [N];
- $P_{permitida}$ – Pressão permitida [M/mm²];

Conforme podemos observar na tabela 15, a área resistente do filete está dentro do especificado pelo fabricante.

TABELA 15 – Tabela teórica base ATI Brasil

dimensões normalmente não variáveis						
rosca trapezoidal	comprimento padrão da porca	número de filetes presos à porca	superfície de contato de um filete	superfície de contato em todo o perfil da porca	superfície de contato linear de um filete em toda a porca	η eficiência (f=0,10) com boa lubrificação
TR x Ø x PITCH	mm	n.	mm ²	mm ²	mm	-
TR 10x2	20	10	28,3	283	28,3	0,40
TR 10x3	20	6,7	40	268	26,7	0,51
TR 12x3	22	7,3	49,5	361	33	0,46
TR 14x3	25	8,3	58,9	489	39,2	0,42
TR 14x4	25	6,3	75,4	475	37,7	0,50
TR 16x4	30	7,5	88	660	44	0,46
TR 18x4	35	8,7	100,4	873	50,2	0,43
TR 20x4	40	10	113	1.130	56,5	0,40
TR 22x5	40	8	153	1.224	61,2	0,44
TR 24x5	45	9	168	1.512	67,5	0,41
TR 25x5	45	9	177	1.593	70,7	0,40

Fonte: adaptado ATI Brasil (2020).

A rotação do fuso é encontrada através da equação E.19, onde a velocidade considerada foi um valor médio da velocidade de soldagem.

$$n = \frac{V * 60}{P} \quad (E.19)$$

$$n = \frac{5 \text{ mm/s} * 60}{3 \text{ mm}}$$

$$n = 100 \text{ RPM}$$

Onde:

- n – Rotações por minuto;
- V – Velocidade [mm/s];
- P – Passo do fuso [mm];

A velocidade de deslizamento entre o fuso e porca, equação E.20.

$$Vd = \frac{dm * \pi * n}{1000} \quad (\text{E.20})$$

$$Vd = \frac{12,41 \text{ mm} * \pi * 100 \text{ rpm}}{1000}$$

$$Vd = 3,89 \text{ m/min}$$

Onde:

- Vd – Velocidade de deslizamento entre fuso e porca [m/min];
- dm – Diâmetro médio do fuso [mm];
- n – Rotações por minuto;

A velocidade de deslizamento relativa entre o fuso e a porca está dentro da faixa recomendada pelo fabricante quando se utiliza porca de nylon.

Sabendo que o primeiro filete suporta aproximadamente 38% da força axial, será verificado se o filete resiste ao carregamento encontrando as tensões.

Tensão de cisalhamento, equação E.21.

$$\tau_{ci} = \frac{F_f}{\frac{P}{2} * dm * \pi} \quad (\text{E.21})$$

$$\tau_{ci} = \frac{16,308 \text{ N}}{\frac{3}{2} * 12,41 \text{ mm} * \pi}$$

$$\tau_{ci} = 0,27 \text{ N/mm}^2$$

Onde:

- τ_{ci} – Tensão de cisalhamento [N/mm²];
- Ff – Força suportada pelo filete [N];
- P – Passo do fuso [mm];
- dm – Diâmetro médio do fuso [mm].

Área do primeiro filete que sofre esmagamento, equação E.22.

$$A = \pi * \left[\left(\frac{d}{2} \right)^2 - \left(\frac{di}{2} \right)^2 \right] \quad (\text{E.22})$$

$$A = \pi * \left[\left(\frac{14}{2} \right)^2 - \left(\frac{10}{2} \right)^2 \right]$$

$$A = 75,39 \text{ mm}^2$$

Onde:

- A – Área esmagamento primeiro filete [mm²];
- d – Diâmetro externo do fuso [mm];
- di – Diâmetro mínimo do fuso [mm];

Tensão de esmagamento, equação E.23.

$$\sigma_e = \frac{Ff}{A} \quad (\text{E.23})$$

$$\sigma_e = \frac{16,308 \text{ N}}{75,39 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_e = 0,216 \text{ N/mm}^2$$

Onde:

- σ_e – Tensão de esmagamento [N/mm²];
- F_f – Força suportada pelo filete [N];
- A – Área esmagamento primeiro filete [mm²];

As tensões encontradas são menores que a tensão admissível do material da porca e abaixo do limite demarcado no gráfico de 2 N/mm²

Outro requisito é verificar o diâmetro mínimo necessário do fuso para suportar o carregamento que atua sobre ele e para essa verificação uma serie de cálculos são realizados a seguir.

Ângulo de avanço do fuso, equação E.24.

$$\theta = \frac{P}{\pi * dm} * \frac{180^\circ}{\pi} \quad (\text{E.24})$$

$$\theta = \frac{3 \text{ mm}}{\pi * 12,41} * \frac{180^\circ}{\pi}$$

$$\theta = 4,4^\circ$$

Onde:

- θ – ângulo de avanço do fuso;
- P – Passo do fuso [mm];
- dm – Diâmetro médio do fuso [mm].

Força tangencial na rosca, equação E.25.

$$F_t = F * \frac{\mu_f * \pi * dm * \sec\alpha + P * Ne}{\pi * dm - \mu_f * P * Ne * \sec\alpha} \quad (\text{E.25})$$

$$F_t = 42,918N * \frac{0,15 * \pi * 12,41mm * 1,154 * 3 * 1}{\pi * 12,41mm - 0,15 * 3 * 1 * 1,154}$$

$$F_t = 22,58 N$$

Onde:

- F_t – Força tangencial na rosca [N];

- μ_f – Coeficiente de atrito entre fuso e porca, considerando 0,15;
- P – Passo do fuso [mm];
- d_m – Diâmetro médio do fuso [mm].
- F – Força aplicada [N];
- $\sec\alpha$ – Ângulo da rosca=30° - $\sec 30^\circ = 1,154$;
- N_e – Número de entradas ou filetes da rosca;

Força de atrito no mancal de apoio, equação E.26.

$$Fat = F * \mu_m \quad (E.26)$$

$$Fat = 42,918N * 0,01$$

$$Fat = 0,429 N$$

Onde:

- Fat – Força de atrito no mancal [N];
- μ_m – Coeficiente de atrito mancal de apoio, considerando 0,01;
- F – Força aplicada [N];

E a força necessária para rotacionar o fuso é a soma da força de atrito gerada pelo conjunto e a força de atrito gerada pelo mancal de apoio, equação E.27.

$$Fs = Ft + Fat \quad (E.27)$$

$$Fs = 22,58N + 0,429N$$

$$Fs = 23,009 N$$

Onde:

- Ft – Força tangencial na rosca [N];
- Fat – Força de atrito no mancal [N];

- F_s – Força necessária para rotacionar o fuso [N];

Momento de torção no eixo, equação E.28.

$$Mt = \frac{F_t * dm + F_{at} * d}{2000} \quad (E.28)$$

$$Mt = \frac{22,58N * 12,41mm + 0,429N * 12mm}{2000}$$

$$Mt = 0,14 Nm$$

Onde:

- Mt – Momento torçor [Nm];
- F_{at} – Força de atrito no mancal [N];
- F_t – Força tangencial na rosca [N];
- dm – Diâmetro médio do fuso [mm];
- d – Diâmetro interno mancal [mm];

Para a verificação do ângulo de torção do eixo, utilizamos a equação E.29, para encontrar o momento de inercia polar do fuso, a resistência do aço R50 é de 500 N/mm^2 conforme catálogo do fabricante.

$$J = \frac{\pi * di^4}{32} \quad (E.29)$$

$$J = \frac{\pi * 10^4 mm}{32}$$

$$J = 981,74 mm^4$$

Onde:

- J – Momento de inercia polar do fuso [mm^4];
- di – Diâmetro interno fuso [mm];

E para o ângulo, equação E.30, em que o limite é de 0,35° por metro.

$$\alpha = \frac{Mt * L * 180^\circ}{J * G * \pi} \quad (\text{E.30})$$

$$\alpha = \frac{140Nmm * 350mm * 180^\circ}{981,74mm * 79400N/mm^2 * \pi}$$

$$\alpha = 0,036^\circ$$

Onde:

- α – ângulo de torção;
- Mt – Momento torçor [Nm];
- L – Comprimento do fuso [mm];
- J – Momento de inercia polar do fuso [mm].
- G – Modulo de elasticidade transversal para eixos de aço = 79400 N/mm²;

Tensão admissível a torção, equação E.31.

$$\tau_{adm} = \frac{S_{se}}{s} \quad (\text{E.31})$$

$$\tau_{adm} = \frac{280N/mm^2}{2}$$

$$\tau_{adm} = 140 N/mm^2$$

Onde:

- τ_{adm} – Tensão admissível a torção [N/mm²];
- S_r – Resistencia a ruptura=500 N/mm² para o aço R50 conforme;
- S_e – Resistencia ao escoamento por tração – $S_r * 0,75 = 370N/mm^2$;
- S_{se} –Resistencia ao escoamento por torção – $S_e * 0,75 = 280N/mm^2$;
- S – Fator de segurança, considerando = 2 para equipamentos fora das normas;

Verificação do diâmetro mínimo do fuso, equação E.32.

$$di = \sqrt[3]{\frac{Mt}{0,2 * \tau_{adm}}} \quad (E.32)$$

$$di = \sqrt[3]{\frac{140Nmm}{0,2 * \frac{140N}{mm^2}}}$$

$$di = 1,70mm$$

Onde:

- di – Diâmetro mínimo do fuso [mm];
- Mt – Momento torçor [Nm];
- τ_{adm} – Tensão admissível a torção [N/mm²];

Como o fuso trabalha sobre compressão axial e possui apoio somente nas extremidades, é necessário verificar se pode ocorrer flambagem, para isso calculamos a inercia, através da equação E.33.

$$I = \frac{\pi * di^4}{64} \quad (E.33)$$

$$I = \frac{\pi * 10^4}{64}$$

$$I = 490,87 mm^4$$

Onde:

- I – Inercia [mm⁴];
- di – Diâmetro mínimo do eixo [mm];

Raio de giração, equação E.34.

$$r = \frac{di}{4} \quad (E.34)$$

$$r = \frac{10}{4}$$




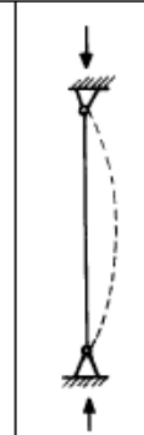






$$r = 2,5 mm$$

Onde:

- r – Raio de giração [mm];
- d_i – Diâmetro mínimo do eixo [mm];

Para encontrar o índice de esbeltez, utilizamos a tabela 16, para encontrar o valor de K, e a equação E.35.

TABELA 16 – Fator multiplicação comprimento de flambagem

Tipo de fixação (a forma flambada é mostrada pela linha tracejada)							
	Valor teórico de K	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
	Valor de projeto de K	0,65	0,80	1,2	1,0	2,1	2,0
Representação esquemática das condições de extremidade		Sem rotação e sem translação					
		Com rotação e sem translação					
		Sem rotação e com translação					
		Com rotação e com translação					

Fonte: NBR8400 (2020).

$$\lambda = \frac{K * L}{r} \quad (\text{E.35})$$

$$\lambda = \frac{1 * 350\text{mm}}{2,5\text{mm}}$$

$$\lambda = 140$$

Onde:

- λ – Índice de esbeltez;
- K – Fator de multiplicação, extremidades com rotação e sem translação – $K=1$;
- L – Comprimento do fuso [mm];
- r – Raio de giração [mm];

Como o índice de esbeltez encontrado é acima de 100, encontramos a força máxima através da fórmula de Euler, equação E.36.

$$F_{fl} = \frac{\pi^2 * E * I}{(K * L)^2} \quad (E.36)$$

$$F_{fl} = \frac{\pi^2 * 200000 \text{ N/mm}^2 * 490,87 \text{ mm}^4}{(1 * 350 \text{ mm})^2}$$

$$F_{fl} = 7909,70 \text{ N}$$

Onde:

- F_{fl} – Força máxima resistente a flambagem [N];
- E – Modulo elasticidade aço =200000 N/mm²;
- I – Inercia [mm⁴];
- K – Fator de multiplicação, extremidades com rotação e sem translação – $K = 1$;
- L – Comprimento do fuso [mm];

Força que atua no fuso de 42,918 N, bem abaixo que a força máxima resistente a flambagem.

A potência necessária para o motor acionar o fuso, encontrada através da equação E.37.

$$Pot = \frac{Mt * n}{9550 * \eta} \quad (E.37)$$

$$Pot = \frac{0,14Nm * 100}{9550 * 1}$$

$$Pot = 0,0014 Kw$$

Onde:

- Pot – Potência necessária no motor [Kw];
- Mt – Momento torçor [Nm];
- n – Rotação por minuto;
- η – Rendimento do redutor=1, pois não possui redutor;

APENDICE C – Testes

TABELA 5-características material e soldagem

Velocidade de soldagem	3mm/s
Velocidade do arame	8m/min
Tensão de trabalho	24,05V
Espessura da chapa	1"
Material	Aço A36

Fonte: próprio autor (2020).

FIGURA 27–Chapa de teste 1



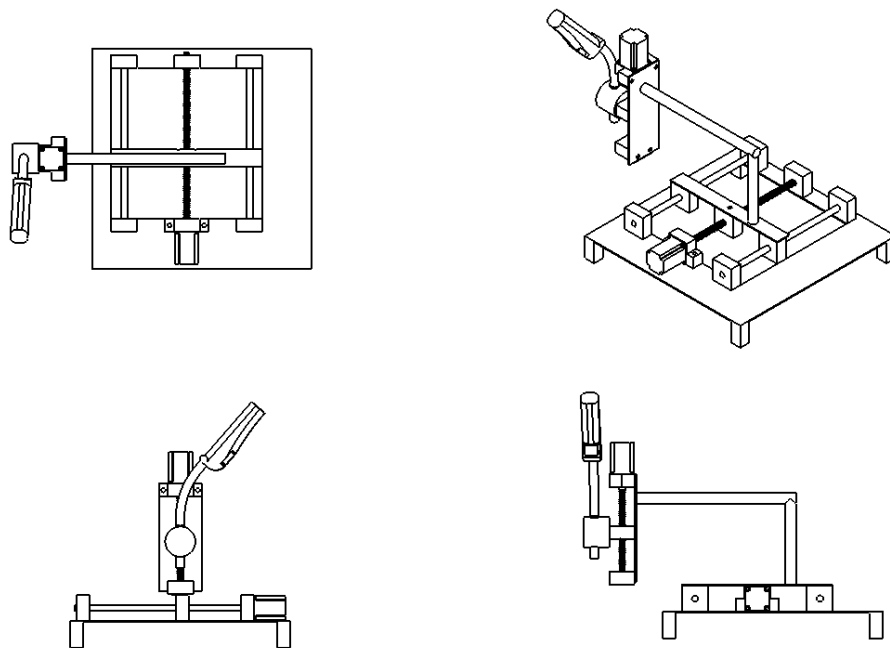
Fonte: próprio autor (2020).

FIGURA 28 – Chapa de teste 2




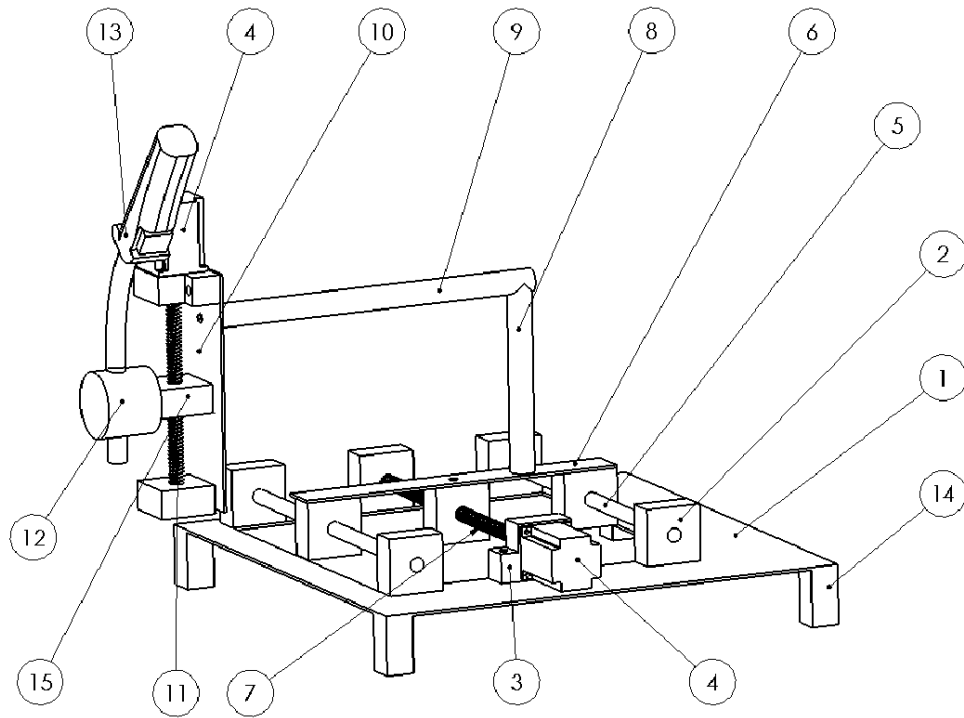
Fonte: próprio autor (2020).

APÊNDICE D – Desenhos técnicos




Vistas gerais


	Título		Projeção:
	Estrutura Automatizada para Soldagem		Data: 06/04/2021
	Instituto	Universidade Federal do Pampa-Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:5
	Responsável	Frederico Temp da Costa	Folha: 1 de 16

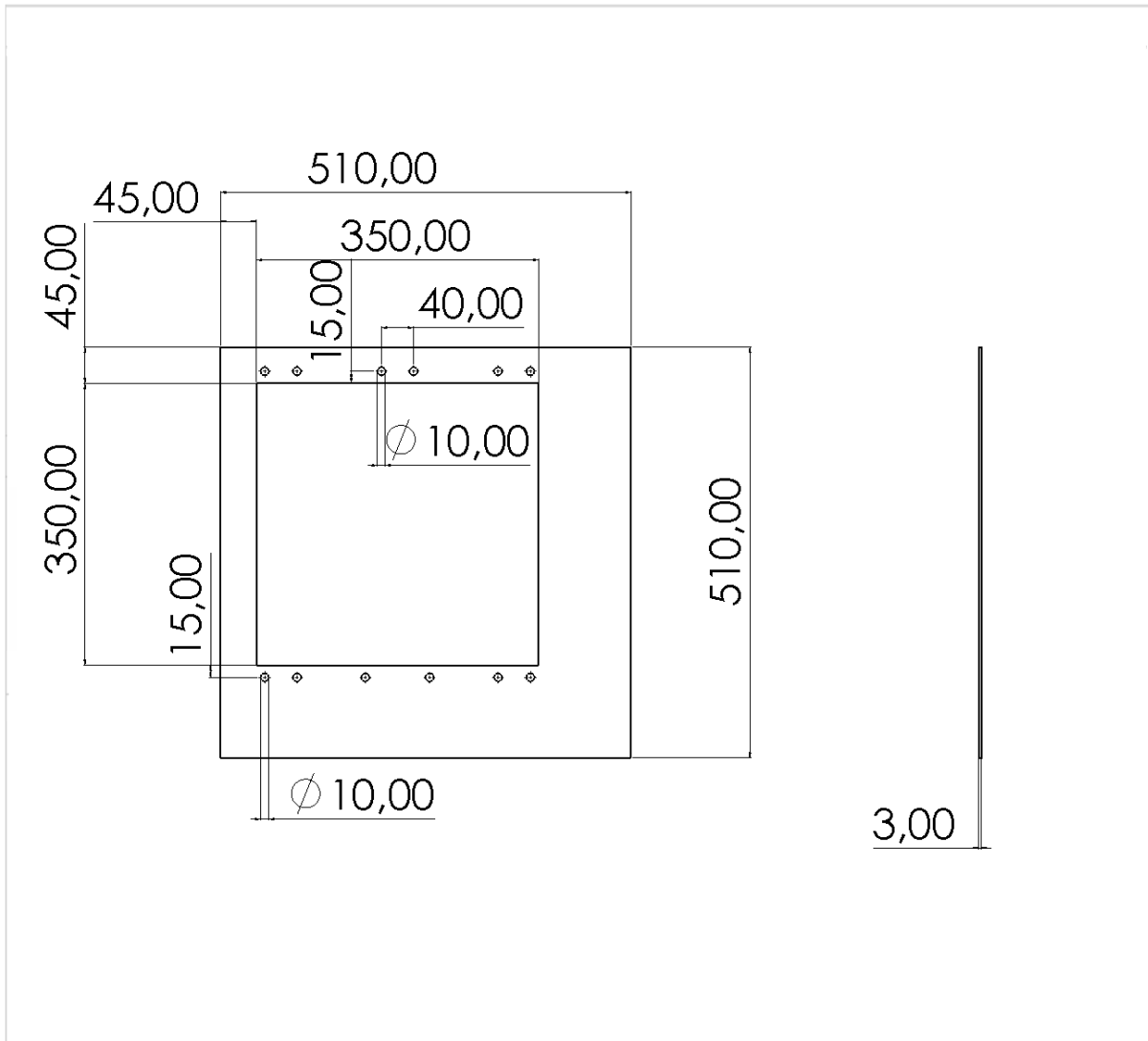



VISTA

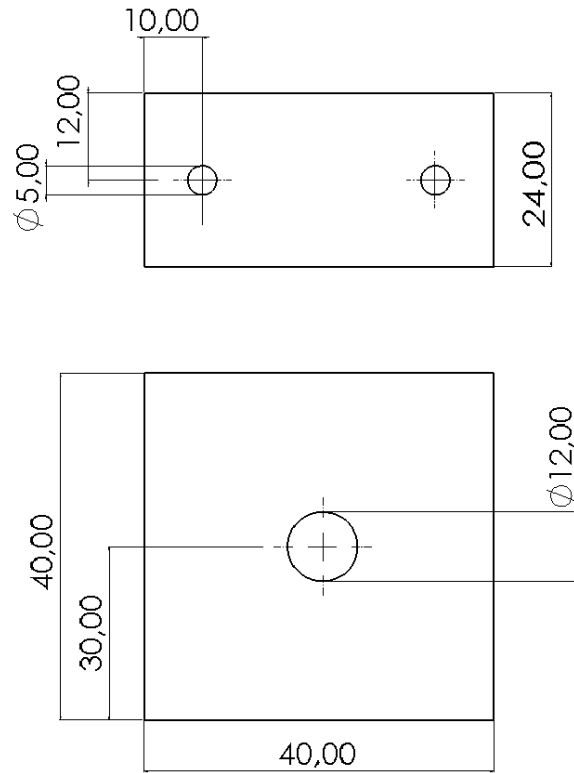
	Título		Projeção:
	Estrutura Automatizada para Soldagem		Data: 06/04/2021
	Instituto	Universidade Federal do Pampa-Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:6
	Responsável	Frederico Temp da Costa	Folha: 2 de 16


Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	DESCRIÇÃO	QTD.
1	01-BAS001	base	1
2	01-MAN001	mancal	8
3	01-ACO001	acoplamento motor	2
4	01-MOT001	motor	2
5	01-GUI001	guia linear	2
6	01-BAS002	base movel	1
7	01-FUS001	fuso horizontal	1
8	01-TOR001	torre base	1
9	01-TOR002	torre haste	1
10	01-BAS003	base vertical	1
11	01-FUS002	fuso vertical	1
12	01-SUP001	suporte tocha	1
13	01-TOC001	tocha	1
14	01-SAP001	sapata	4
15	01-CAS001	castanha	2

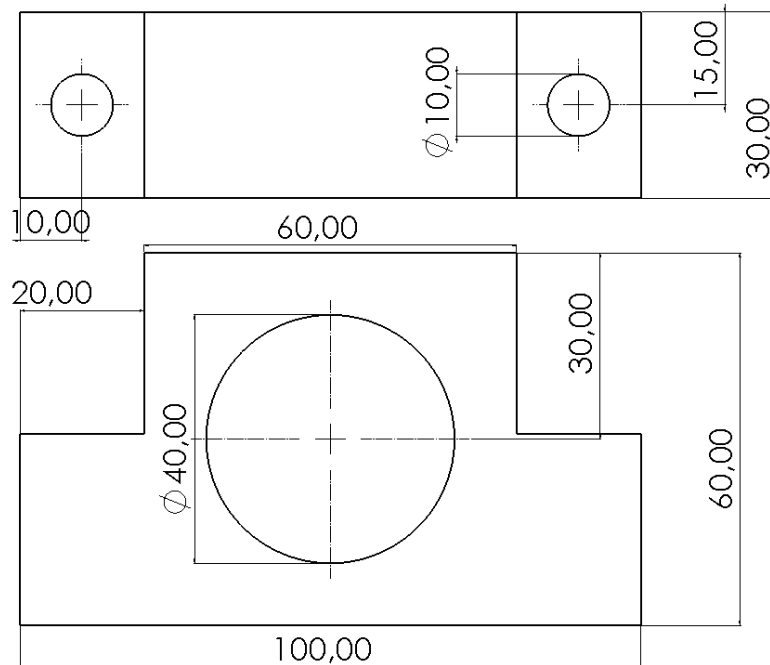
	Título		Projeção:
	Estrutura Automatizada para Soldagem		Data: 06/04/2021
	Instituto	Universidade Federal do Pampa-Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:1
	Responsável	Frederico Temp da Costa	Folha: 3 de 16




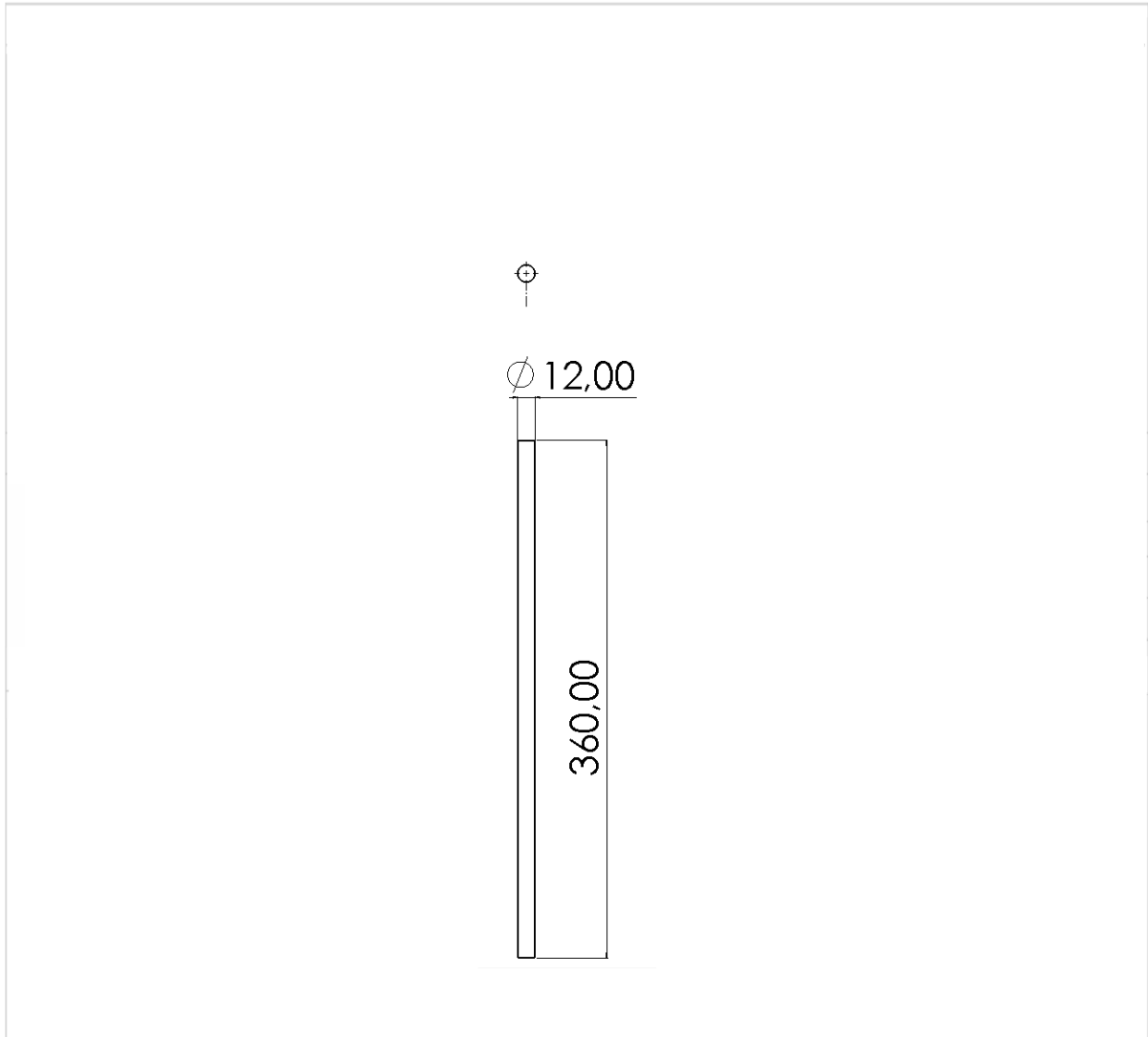
01	Base	1	Aço A36
Peça	Denominação e observação	Qnt	Material e Dimensão
	Titulo		Projeção:
	Estrutura Automatizada para Soldagem		Data: 06/04/2021
	Instituto	Universidade Federal do Pampa-Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:5
	Responsável	Frederico Temp da Costa	Folha: 4 de 16




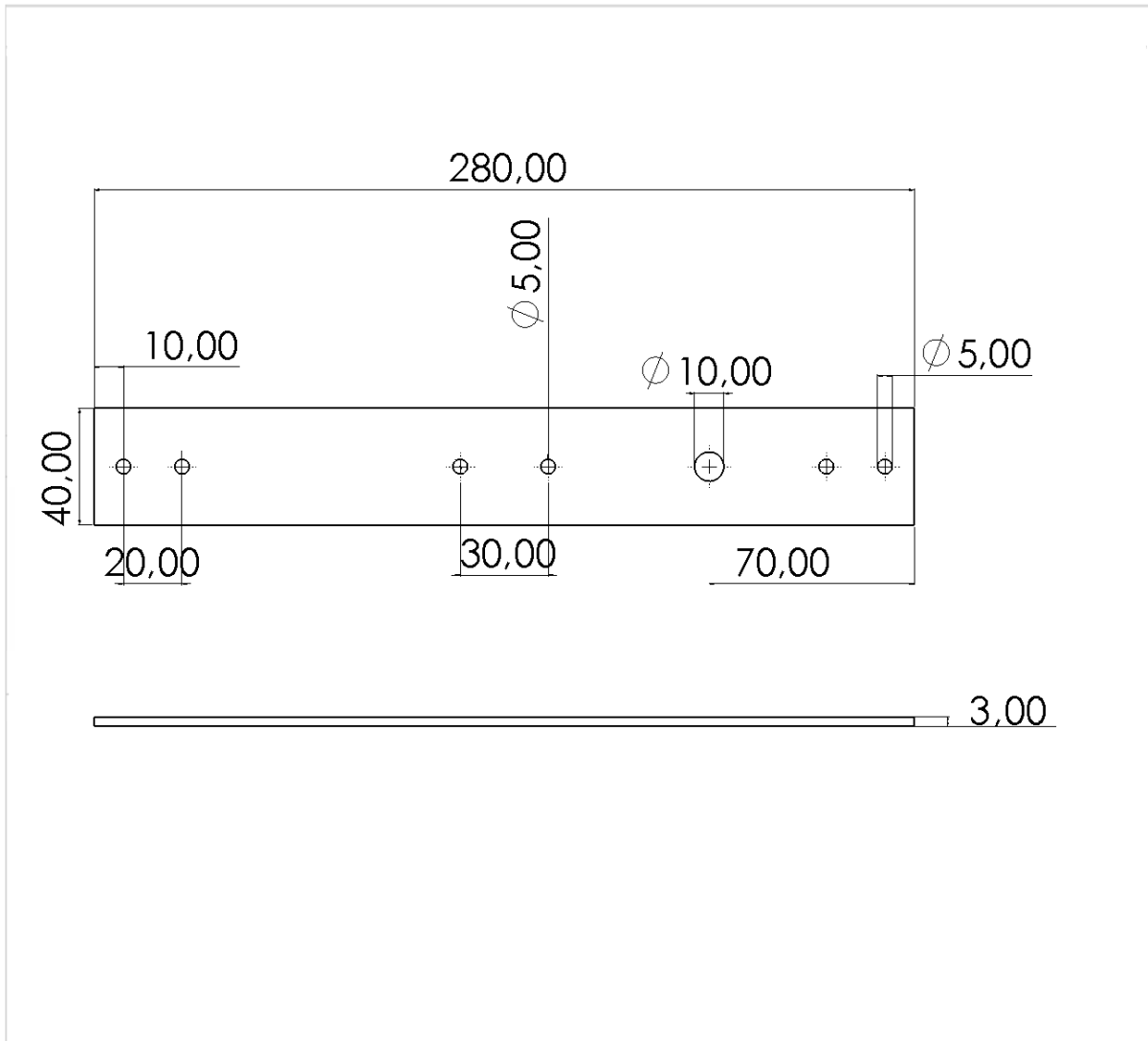
2	Mancal	8	Nylon
Peça	Denominação e observação	Qnt	Material e Dimensão
	Título		Projeção:
	Estrutura Automatizada para Soldagem		Data: 06/04/2021
	Instituto	Universidade Federal do Pampa-Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 5:1
	Responsável	Frederico Temp da Costa	Folha: 5 de 16




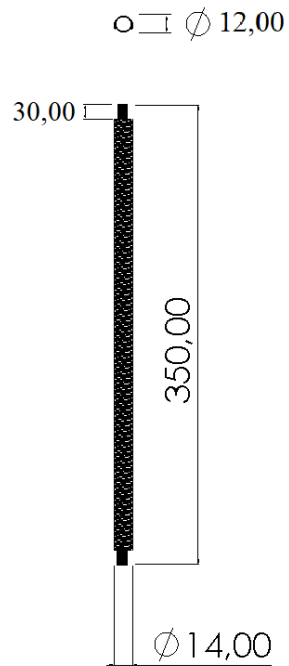
03	Acoplamento motor	2	Nylon
Peça	Denominação e observação	Qnt	Material e Dimensão
	Título		Projeção:
	Estrutura Automatizada para Soldagem		Data: 06/04/2021
	Instituto	Universidade Federal do Pampa-Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 5:1
	Responsável	Frederico Temp da Costa	Folha: 6 de 16




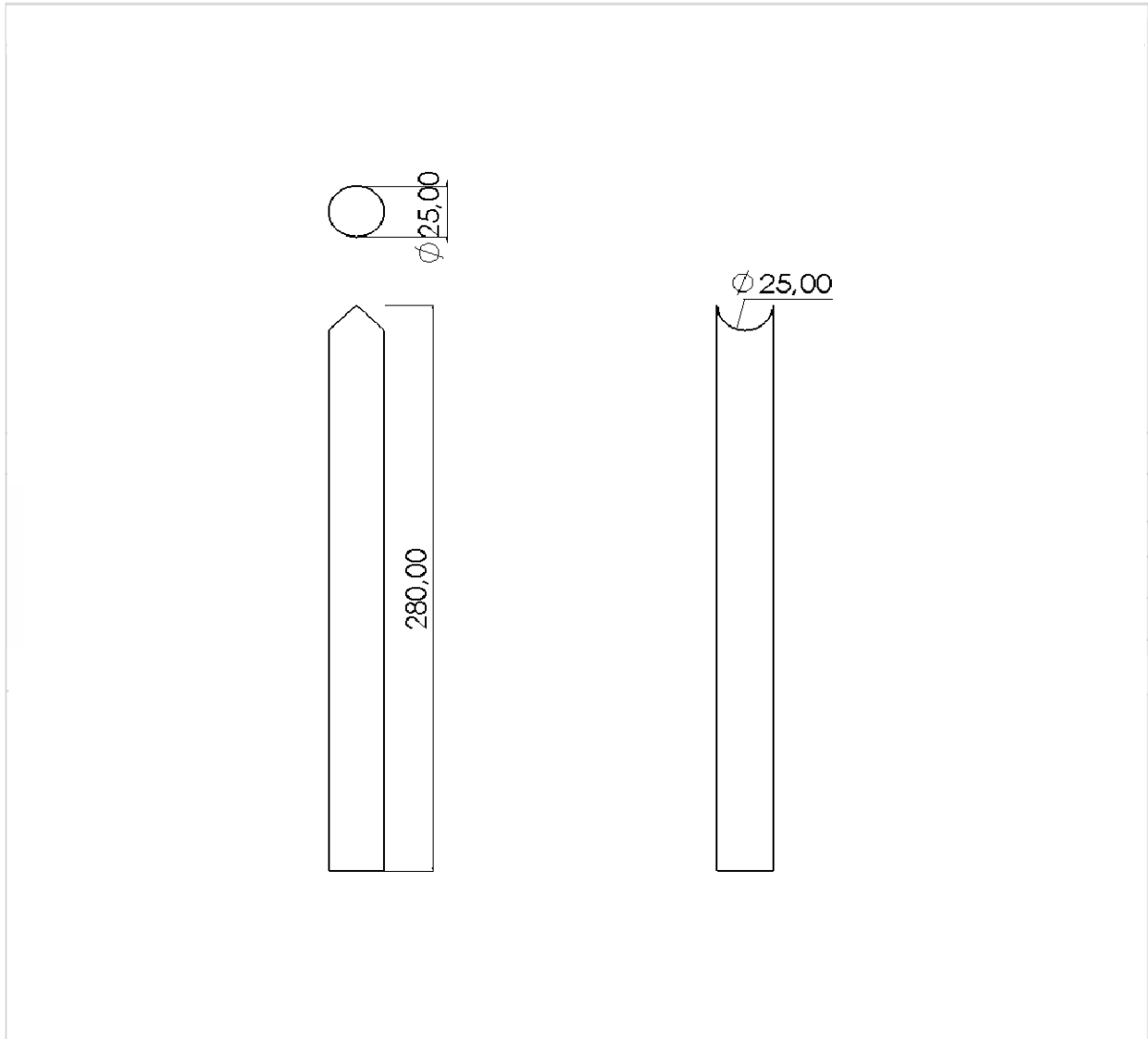
05	Guia linear	2	SAE52100
Peça	Denominação e observação	Qnt	Material e Dimensão
 unipampa Universidade Federal do Pampa	Título		Projeção:
	Estrutura Automatizada para Soldagem		Data: 06/04/2021
	Instituto	Universidade Federal do Pampa-Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:2
	Responsável	Frederico Temp da Costa	Folha: 7 de 16




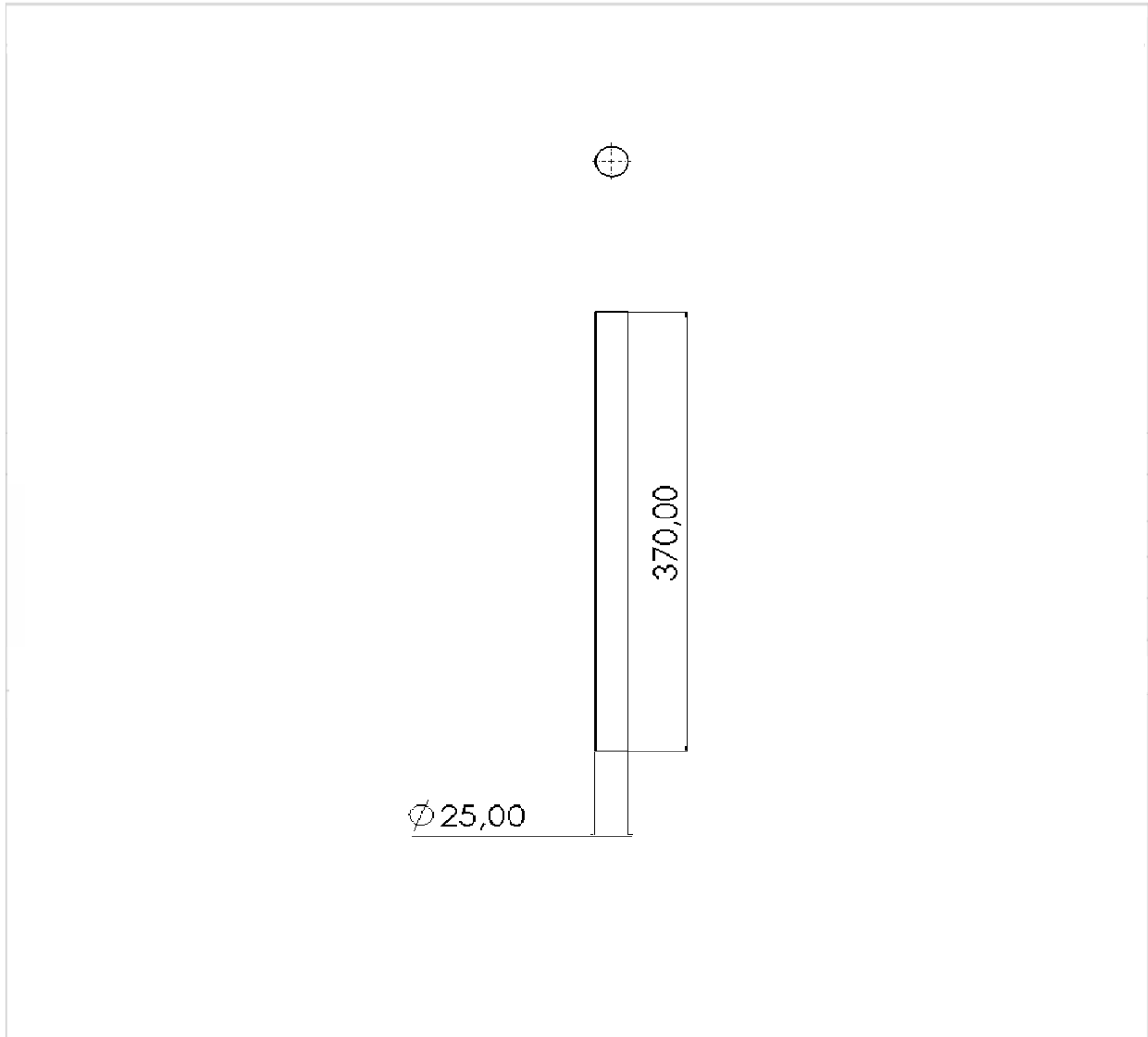
06	Base movel	1	Aço A36
Peça	Denominação e observação	Qnt	Material e Dimensão
	Título		Projeção:
	Estrutura Automatizada para Soldagem		Data: 06/04/2021
	Instituto	Universidade Federal do Pampa-Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:2
	Responsável	Frederico Temp da Costa	Folha: 8 de 16




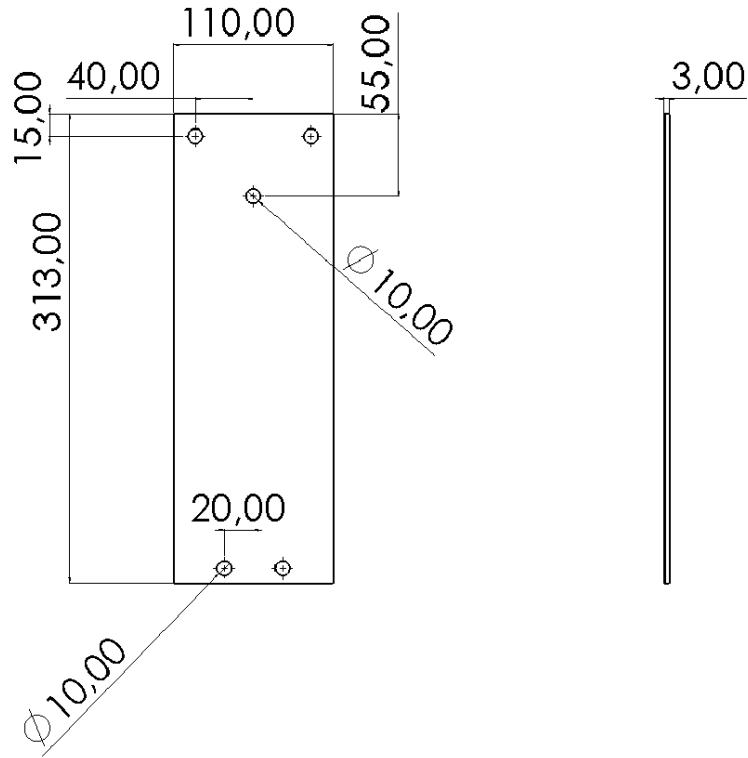
07	Fuso horizontal	1	Aço R50
Peça	Denominação e observação	Qty	Material e Dimensão
 unipampa Universidade Federal do Pampa	Título		Projeção:
	Estrutura Automatizada para Soldagem		Data: 06/04/2021
	Instituto	Universidade Federal do Pampa-Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:2
	Responsável	Frederico Temp da Costa	Folha: 9 de 16




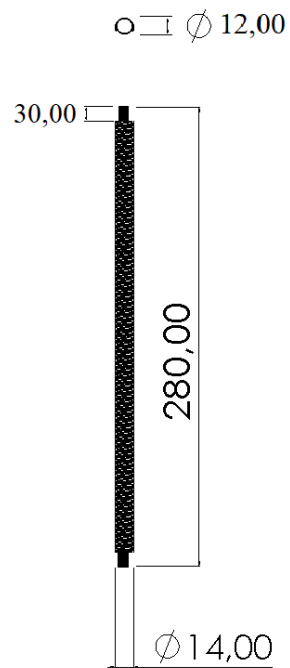
08	Torre base	1	Aluminio
Peça	Denominação e observação	Qnt	Material e Dimensão
	Título		Projeção:
	Estrutura Automatizada para Soldagem		Data: 06/04/2021
	Instituto	Universidade Federal do Pampa-Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:2
	Responsável	Frederico Temp da Costa	Folha: 10 de 16




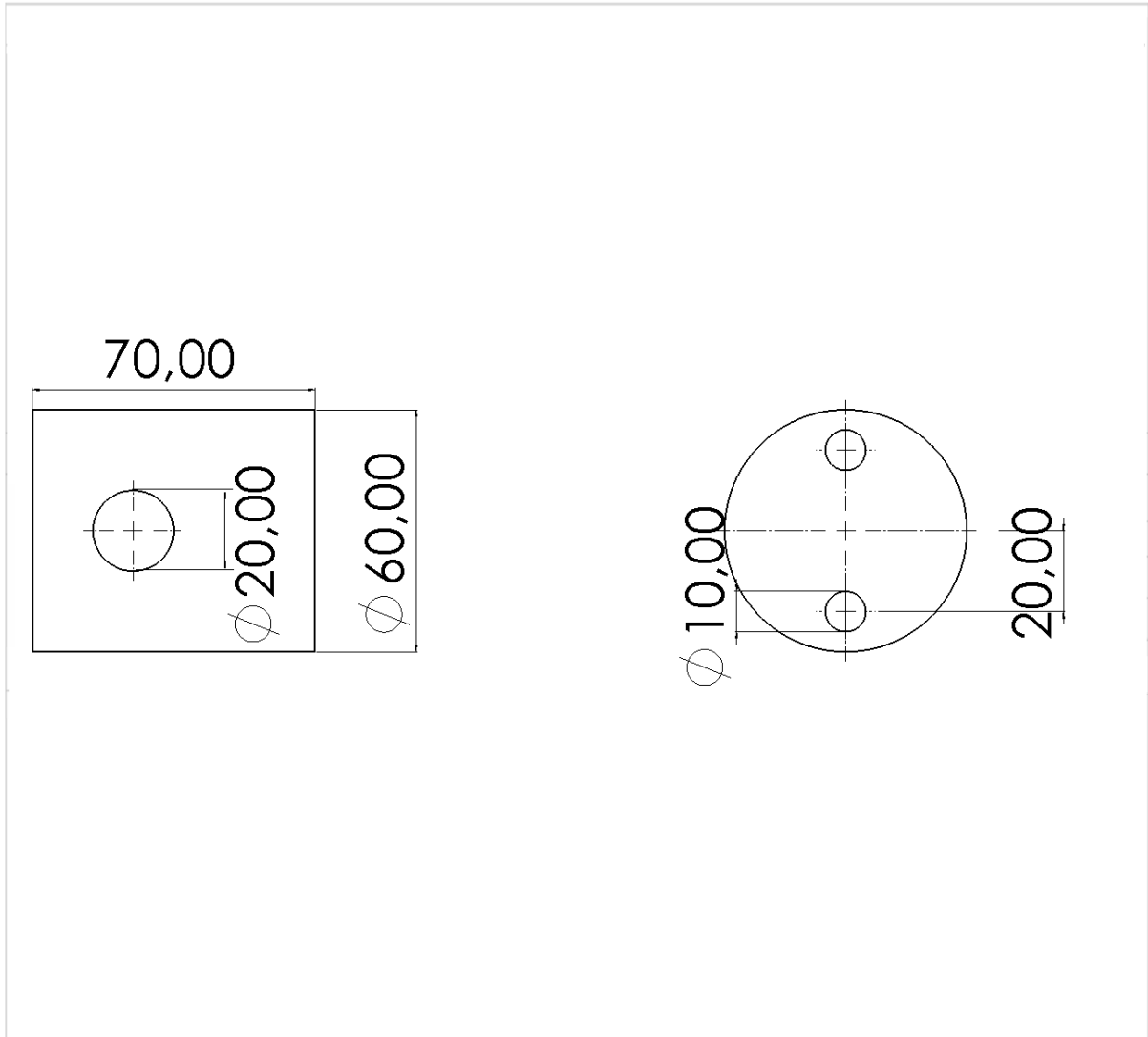
09	Torre haste	1	Aluminio
Peça	Denominação e observação	Qnt	Material e Dimensão
 unipampa Universidade Federal do Pampa	Título		Projeção:
	Estrutura Automatizada para Soldagem		Data: 06/04/2021
	Instituto	Universidade Federal do Pampa-Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:2
	Responsável	Frederico Temp da Costa	Folha: 11 de 16




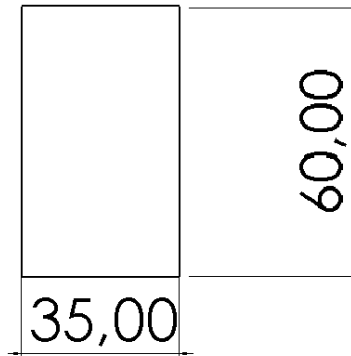
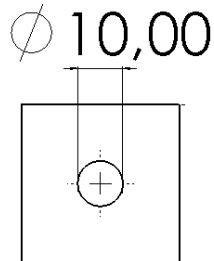
10	Base vertical	1	Aço A36
Peça	Denominação e observação	Qnt	Material e Dimensão
 Universidade Federal do Pampa	Título Estrutura Automatizada para Soldagem		Projeção: Data: 06/04/2021
	Instituto	Universidade Federal do Pampa-Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:5
	Responsável	Frederico Temp da Costa	Folha: 12 de 16




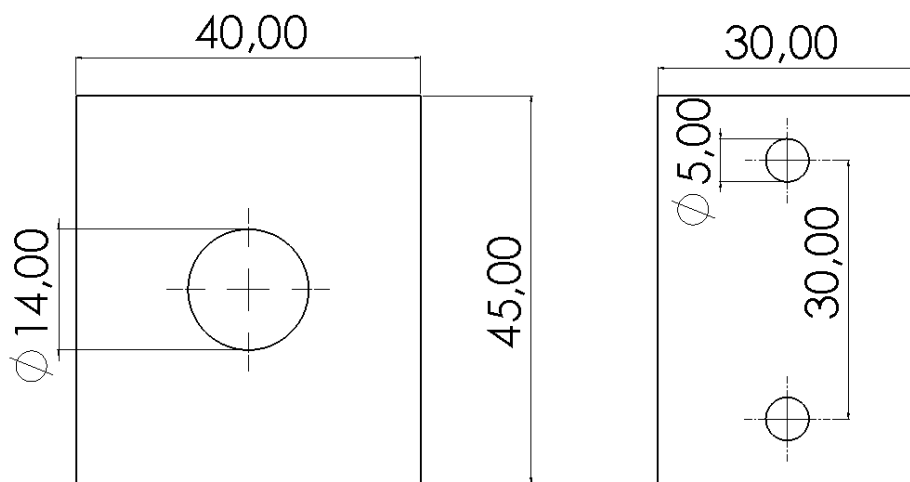
11	Fuso vertical	1	Aço R50
Peça	Denominação e observação	Qnt	Material e Dimensão
	Título		Projeção:
	Estrutura Automatizada para Soldagem		Data: 06/04/2021
	Instituto	Universidade Federal do Pampa-Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:2
	Responsável	Frederico Temp da Costa	Folha: 13 de 16




12	Suporte tocha	1	Nylon
Peça	Denominação e observação	Qnt	Material e Dimensão
	Título		Projeção:
	Estrutura Automatizada para Soldagem		Data: 06/04/2021
	Instituto	Universidade Federal do Pampa-Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 1:2
	Responsável	Frederico Temp da Costa	Folha: 14 de 16



14	Sapata	4	Nylon
Peça	Denominação e observação	Qnt	Material e Dimensão
	Título Estrutura Automatizada para Soldagem		Projeção: Data: 06/04/2021
	Instituto	Universidade Federal do Pampa-Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 2:1
	Responsável	Frederico Temp da Costa	Folha: 15 de 16



15	Castanha	2	Nylon
Peça	Denominação e observação	Qnt	Material e Dimensão
	Título		Projeção:
	Estrutura Automatizada para Soldagem		Data: 06/04/2021
	Instituto	Universidade Federal do Pampa-Alegrete/RS	Unidade: mm
	Setor	Engenharia Mecânica	Escala: 2:1
	Responsável	Frederico Temp da Costa	Folha: 16 de 16

ANEXOS

ANEXO A- NR 12 – SEGURANÇA NO TRABALHO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS

Publicação

[Portaria MTb n.º 3.214, de 08 de junho de 1978](#)

D.O.U.

06/07/78

12.1 Princípios Gerais.

12.1.1 Esta Norma Regulamentadora - NR e seus anexos definem referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção para resguardar a saúde e a integridade física dos trabalhadores e estabelece requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho nas fases de projeto e de utilização de máquinas e equipamentos, e ainda à sua fabricação, importação, comercialização, exposição e cessão a qualquer título, em todas as atividades econômicas, sem prejuízo da observância do disposto nas demais NRs aprovadas pela Portaria MTb n.º 3.214, de 8 de junho de 1978, nas normas técnicas oficiais ou nas normas internacionais aplicáveis e, na ausência ou omissão destas, opcionalmente, nas normas Europeias tipo “C” harmonizadas.

12.1.1.1 Entende-se como fase de utilização o transporte, montagem, instalação, ajuste, operação, limpeza, manutenção, inspeção, desativação e desmonte da máquina ou equipamento.

As disposições desta NR referem-se a máquinas e equipamentos novos e usados, exceto nos itens em que houver menção específica quanto à sua aplicabilidade.

12.1.2 As máquinas e equipamentos comprovadamente destinados à exportação estão isentos do atendimento dos requisitos técnicos de segurança previstos nesta NR.

12.1.3 Esta NR não se aplica:

a) às máquinas e equipamentos movidos ou impulsionados por força humana ou

animal;

b) às máquinas e equipamentos expostos em museus, feiras e eventos, para fins históricos ou que sejam considerados como antiguidades e não sejam mais empregados com fins produtivos, desde que sejam adotadas medidas que garantam a preservação da integridade física dos visitantes e expositores;

c) às máquinas e equipamentos classificados como eletrodomésticos;

d) aos equipamentos estáticos;

e) às ferramentas portáteis e ferramentas transportáveis (semiestacionárias), operadas eletricamente, que atendam aos princípios construtivos estabelecidos em norma técnica tipo "C" (parte geral e específica) nacional ou, na ausência desta, em norma técnica internacional aplicável;

f) às máquinas certificadas pelo INMETRO, desde que atendidos todos os requisitos técnicos de construção relacionados à segurança da máquina.

12.1.4.1. Aplicam-se as disposições da NR-12 às máquinas existentes nos equipamentos estáticos.

12.1.4 É permitida a movimentação segura de máquinas e equipamentos fora das instalações físicas da empresa para reparos, adequações, modernização tecnológica, desativação, desmonte e descarte.

12.1.5 É permitida a segregação, o bloqueio e a sinalização que impeçam a utilização de máquinas e equipamentos, enquanto estiverem aguardando reparos, adequações de segurança, atualização tecnológica, desativação, desmonte e descarte.

12.1.6 O empregador deve adotar medidas de proteção para o trabalho em máquinas e equipamentos, capazes de resguardar a saúde e a integridade física dos trabalhadores.

12.1.7 São consideradas medidas de proteção, a ser adotadas nessa ordem de

prioridade:

- a) medidas de proteção coletiva;
- b) medidas administrativas ou de organização do trabalho; e

12.1.8 medidas de proteção individual.

Na aplicação desta NR e de seus anexos, devem-se considerar as características das máquinas e equipamentos, do processo, a apreciação de riscos e o estado da técnica.

12.1.8.1 A adoção de sistemas de segurança nas zonas de perigo deve considerar as características técnicas da máquina e do processo de trabalho e as medidas e alternativas técnicas existentes, de modo a atingir o nível necessário de segurança previsto nesta NR.

12.1.8.1.1 Entende-se por alternativas técnicas existentes as previstas nesta NR e em seus Anexos, bem como nas normas técnicas oficiais ou nas normas internacionais aplicáveis e, na ausência ou omissão destas, nas normas Europeias tipo “C” harmonizadas.

12.1.8.2 Não é obrigatória a observação de novas exigências advindas de normas técnicas publicadas posteriormente à data de fabricação, importação ou adequação das máquinas e equipamentos, desde que atendam a Norma Regulamentadora n.º 12, publicada pela Portaria SIT n.º 197, de 17 de dezembro de 2010, D.O.U. de 24/12/2010, seus anexos e suas alterações posteriores, bem como às normas técnicas vigentes à época de sua fabricação, importação ou adequação.

12.1.9 Cabe aos trabalhadores:

- a) cumprir todas as orientações relativas aos procedimentos seguros de operação, alimentação, abastecimento, limpeza, manutenção, inspeção, transporte, desativação, desmonte e descarte das máquinas e equipamentos;
- b) não realizar qualquer tipo de alteração nas proteções mecânicas ou dispositivos de segurança de máquinas e equipamentos, de maneira que possa colocar em risco a sua saúde e integridade física ou de terceiros;

- c) comunicar seu superior imediato se uma proteção ou dispositivo de segurança foi removido, danificado ou se perdeu sua função;
- d) participar dos treinamentos fornecidos pelo empregador para atender às exigências/requisitos descritos nesta NR;
- e) colaborar com o empregador na implementação das disposições contidas nesta NR.

12.1.10 As máquinas nacionais ou importadas fabricadas de acordo com a NBR ISO 13849, Partes 1 e 2, são consideradas em conformidade com os requisitos de segurança previstos nesta NR, com relação às partes de sistemas de comando relacionadas à segurança.

12.1.11 Os sistemas robóticos que obedeçam às prescrições das normas ABNT ISO 10218-1, ABNT ISO 10218-2, da ISO/TS 15066 e demais normas técnicas oficiais ou, na ausência ou omissão destas, nas normas internacionais aplicáveis, estão em conformidade com os requisitos de segurança previstos nessa NR.

ANEXO B- PROPRIEDADES AÇO A36

ESPECIFICAÇÃO		COMPOSIÇÃO QUÍMICA					
NORMA	GRAU	C (máx.)	Mn (máx.)	Si (máx.)	P (máx.)	S (máx.)	Cu (mín.)
NBR 6650 (1986)	CF-21	0,20					
	CF-24						
	CF-26	0,25	-	-	0,040	0,040	-
	CF-28						
	CF-30	0,30					
ASTM A36 (2000)	-	0,26	(2)	0,40	0,040	0,050	(1)
ASTM A570 (1998)	GR 30						
	GR 33		0,90	-			
	GR 36 type 1						
	GR 36 type 2	0,25	1,35	(3)	0,035	0,040	(1)
	GR40		0,90				
	GR45		1,35	-			
JIS G3101 (1995)	SS330	-	-	-	0,050	0,050	-
	SS400	-	-	-	0,050	0,050	-
NBR 6648 (1984)	CG 21<	0,20	1,00				-
	CG 24	0,25		-	0,040		-
	CG 26	0,25	1,20			0,050	-
	CG 28	0,20	1,50	0,50			-
ASTM A283 (2000)	GR A	0,14					(1)
	GR B	0,17					(1)
	GR C	0,24	0,90	0,40	0,035	0,040	(1)
	GR D	0,27					(1)

(1) Quando especificado, 0,20% mínimo. (2) Para cada redução de 0,01% do carbono máximo especificado, um acréscimo de 0,06% de manganês máximo é especificado, até um valor máximo de 1,35%. (3) Para o grau 36, tipo 2, o Si máximo é 0,40% em peso.

ANEXO C- PROPRIEDADES ALUMÍNIO

Liga ABNT ASTM	DIN	Têmpera	Resistência à Tração Mpa (N/mm ²)Mín.	Resistência à Tração Mpa (N/mm ²)Máx.	Escoamento Mpa (N/mm ²)Mín.	Alongamento Mínimo "50mm"(%)	Dureza Brinell (HB)
1050	Al 99,5	O H14	55 95	95 130	15 70	22 3	20 26
1100	-	O H14	75 110	105 145	25 95	22 3	23 32
1200	Al 99,0	O H14	75 110	105 145	25 95	22 3	23 32
1350	E-Al	O H14	55 95	95 130	- -	22 3	20 30
2011	Al Cu Pb Bi	T4 T8	275 370	- -	125 275	16 10	- 100
3003	Al Mn Cu	O H14	95 140	130 180	35 115	22 3	28 40
3104	Al Mn	O H32 H34	150 190 220	200 240 265	60 145 170	15 3 3	45 58 66
3105	Al Mn0,5 Mg0,5	O H14	95 150	145 200	35 125	19 2	28 40
5005	Al Mg1,0	O H14 H19	105 145 157	145 185 -	35 115 137	19 2 -	28 41 -
5052	Al Mg2,5	O H34	170 235	215 285	65 180	17 4	47 68
6060	Al Mg Si0,5	T5	145	-	105	8	60
6061	Al Mg Si Cu	T4 T6	180 260	- -	110 240	16 8	65 95
6063	Al Mg Si0,5	T5	145	-	105	8	60
6101	E-Al Mg Si0,5	T6	200	-	172	8	78
6261	-	T6	265	-	225	10	90
6262	-	T6	260	-	240	10	90
6351	Al Mg Si1,0	T6	290	-	255	10	95
8011	Al Fe Si	O H14/H24	80 120	120 210	50 110	12 4	28 35

ANEXO D- PROPRIEDADES NYLON

PROPRIEDADES MECÂNICAS	NORMAS	NY 6.0	NY 6.6
Tensão de escoamento à tração	DIN 53455 / ASTM D638 / ISO R 527	80 MPa	90 MPa
Tensão de ruptura à compressão	ASTM D695	90 MPa	100 MPa
Tensão de ruptura à flexão	ASTM D790	-	120 MPa
Módulo de elasticidade à tração	DIN 53457 / ASTM D638 / ISO R527	3000 MPa	3300 MPa
Módulo de elasticidade à compressão	ASTM D695	1700 MPa	2370 MPa
Módulo de elasticidade à flexão	DIN 53457 / ASTM D790	2400 MPa	3600 MPa
Alongamento até a ruptura	DIN 53452 / ASTM D638 / ISO R 527	60%	50%
Dureza Rockwell	ASTM D785 / ISO 2039-2	R100	R115
Dureza de indentação	ISO 2039-1	-	175 MPa
Dureza Shore D	ASTM D2240	-	80 Shore D
Resistência à penetração de esfera	DIN 53456 / ISO 2039	160 MPa	170 MPa
Resistência ao Impacto (Charpy)	DIN EN ISO 179-1eU	not broken kJ/m	not broken kJ/m
Resistência ao Impacto c/entalhe (Charpy) - 2.9m/s	DIN EN ISO 179-1eA	-	5,42 kJ/m
Tensão de fluência com 1% deformação em 1000H	DIN 53444 / ISO R 899	5 MPa	6 MPa
Coefficiente de atrito para aço retificado e polido com resina a seco		0,42	0,40