



PROJETO DE GRADUAÇÃO

**PROJETO DE UMA MÁQUINA DE REEMBALAGEM DE
BEBIDAS ENVAZADAS E ENLATADAS**

Gustavo Faber de Almeida Rosa

Brasília, 27 de setembro de 2022

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica

PROJETO DE GRADUAÇÃO

**PROJETO DE UMA MÁQUINA DE REEMBALAGEM DE
BEBIDAS ENVAZADAS E ENLATADAS**

Gustavo Faber de Almeida Rosa

*Projeto de Graduação submetido ao Departamento de Engenharia
Mecânica como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro em Engenharia Mecânica*

Banca Examinadora

Prof. Thiago de Carvalho Rodrigues Doca, _____
ENM/FT-UnB
Orientador

Prof. Antônio Manoel Dias Henrique _____
Examinador Interno

Prof. Luis Augusto Conte Mendes Veloso _____
Examinador interno

FICHA CATALOGRÁFICA

ROSA, GUSTAVO FABER DE ALMEIDA

PROJETO DE UMA MÁQUINA DE REEMBALAGEM DE BEBIDAS ENVAZADAS E ENLATADAS [Distrito Federal] 2022.

xvi, 137 p., 210 x 297 mm (ENM/FT/UnB, Engenheiro, Engenharia Mecânica, 2022).

Projeto de Graduação - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Mecânica

- | | |
|----------------|------------|
| 1. Reembalagem | 2. Armazém |
| 3. Máquina | 4. Latas |
| I. ENM/FT/UnB | |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ROSA, G. F. DE A. (2022). *PROJETO DE UMA MÁQUINA DE REEMBALAGEM DE BEBIDAS ENVAZADAS E ENLATADAS*. Projeto de Graduação, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 137 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Gustavo Faber de Almeida Rosa

TÍTULO: PROJETO DE UMA MÁQUINA DE REEMBALAGEM DE BEBIDAS ENVAZADAS E ENLATADAS.

GRAU: Engenheiro em Engenharia Mecânica ANO: 2022

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Projeto Final de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desse Projeto Final de Graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Gustavo Faber de Almeida Rosa

Depto. de Engenharia Mecânica (ENM) - FT

Universidade de Brasília (UnB)

Campus Darcy Ribeiro

CEP 70919-970 - Brasília - DF - Brasil

Dedicatória

A minha família e amigos que estiveram sempre presente durante minha graduação.

Gustavo Faber de Almeida Rosa

Agradecimentos

Agradeço à minha família e ao meu cachorro Tigor por todo carinho e apoio incondicional. Agradeço ao Prof. Thiago Doca pela orientação durante o desenvolvimento do Projeto de Graduação e aos demais professores do Departamento de Engenharia Mecânica pelo conhecimento adquirido durante a graduação. Agradeço aos meus amigos de Colégio Militar e Engenharia Mecânica pelo suporte ao longo de todos os últimos anos. Agradeço, principalmente, à TECMEC, pelos melhores momentos de crescimento pessoal e profissional proporcionados durante a graduação.

Gustavo Faber de Almeida Rosa

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo o projeto de uma máquina de reembalagem de latas de alumínio para o armazém da Brasal Refrigerantes, que exige curto tempo de processo devido à alta demanda de performance. O escopo inicial consiste na pesquisa do problema, analisando e classificando os requisitos do projeto pelo Diagrama de Mudge, no estudo de mecanismos e conceitos da Engenharia Mecânica para definição da concepção da máquina, constituída, entre outros elementos, por esteiras transportadoras e um túnel de calor. Em seguida, é realizado o dimensionamento e seleção dos componentes da máquina a partir da literatura de engenharia e catálogo de fornecedores e, também, o trabalho de detalhamento do equipamento, principalmente a elaboração de desenhos técnicos. Por fim, é feita a análise financeira e ambiental da máquina, de modo a validar o investimento no produto. O resultado final do projeto é uma máquina capaz de acomodar um pacote de 12 latas por ciclo de embalagem, sendo que os processos de envolvimento e encolhimento exigem 10 segundos cada, enquanto a organização e finalização do *pack* duram 5 segundos cada, totalizando 30 segundos para o processo completo. O equipamento ocupa uma área de $2,3 \text{ m}^2$ e o custo estimado para aquisição é de R\$ 57.071,85, com retorno a partir de 6 meses.

Palavras-chaves: máquina de reembalagem, esteiras transportadoras, túnel de calor, dimensionamento, detalhamento.

ABSTRACT

The present work is intended to perform the design of an aluminum can repackaging machine for the industrial warehouse of Brasal Refrigerantes, which requires short process time due to high performance demand. The initial scope consists in analyzing the problem, classifying and ranking the requirements of the project by the Mudge Diagram, in the study of concepts of Mechanical Engineering and mechanisms to, in the end, determine the final conception of the machine, consisting of conveyor belts and a shrink tunnel. Then, the dimensioning and selection of the machine components is carried out from the engineering literature and supplier catalogs, as well as the detailing of the equipment, mainly the preparation of technical drawings. Finally, the financial and environmental analysis of the machine is conducted, in order to validate the investment in the product. The final result of the project is a machine capable of accommodating a pack of 12 cans per packaging cycle, with wrapping and shrinking processes taking 10 seconds each, while organizing and finishing the pack takes 5 seconds each, totalizing 30 seconds for the entire process. The equipment occupies an area of $2,3 m^2$ and the estimated cost for acquisition is R\$ 57,071.85, with a return on investment of 6 months.

Keywords: repackaging machine, conveyor belts, shrink tunnel, dimensioning, detailing.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.1.1	O CENÁRIO DA BRASAL REFRIGERANTES	4
1.2	TEMPOS, MOVIMENTOS E GASTOS	6
1.3	OBJETIVO	8
1.3.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	9
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1	ATUADORES	11
2.1.1	ATUADORES PNEUMÁTICOS	11
2.1.2	ATUADORES ELÉTRICOS	13
2.2	MOTORES ELÉTRICOS	14
2.2.1	MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA	15
2.2.2	MOTORES DE CORRENTE ALTERNADA	16
3	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO CONCEITUAL	17
3.1	RESTRICÇÕES E ESQUEMATIZAÇÃO	17
3.2	NORMAS APLICÁVEIS	17
3.3	MECANISMOS DE EMBALAGEM	19
3.3.1	MODELOS DO MERCADO	19
3.3.2	ESTEIRAS TRANSPORTADORAS	21
3.3.3	ATUADORES PNEUMÁTICOS	22
3.3.4	TÚNEL DE CALOR	22
3.3.5	MÉTODO DE SELAGEM	23
3.4	METODOLOGIA	24
3.5	REQUISITOS DO PROJETO	24
3.6	HIERARQUIZAÇÃO DOS REQUISITOS	25
3.7	DEFINIÇÃO DE ESPECIFICAÇÕES-META	27
3.8	ELABORAÇÃO DE POSSÍVEIS CONCEPÇÕES	29
3.8.1	SUBSISTEMAS DA MÁQUINA DE REEMBALAGEM	29
3.8.2	TABELA DE CONCEPÇÕES	29
3.9	MATRIZ DE DECISÃO	29
3.10	FATOR DE SEGURANÇA	31
3.11	CONCEPÇÃO DEFINIDA	33
3.11.1	ESTEIRA DE ORGANIZAÇÃO	34
3.11.2	ESTEIRA DE ENVOLVIMENTO	35

3.11.3	TÚNEL DE CALOR.....	35
3.11.4	ESTEIRA DE FINALIZAÇÃO	36
3.11.5	SISTEMA INFERIOR	36
4	PROJETO INTERMEDIÁRIO	38
4.1	FLUXOGRAMA DE INFLUÊNCIAS	38
4.2	PARÂMETROS DO PROJETO	39
4.3	METODOLOGIA DE PROJETO	39
4.4	TÚNEL DE CALOR	41
4.4.1	ADAPTAÇÕES AO EQUIPAMENTO	42
4.5	SISTEMA DE ENVOLVIMENTO	43
4.5.1	ESTEIRA HORIZONTAL DO ENVOLVIMENTO	43
4.5.2	VERIFICAÇÃO DA ESTEIRA	45
4.5.3	SISTEMA INFERIOR	53
4.6	ESTEIRAS DE ORGANIZAÇÃO E FINALIZAÇÃO	59
4.6.1	ESTEIRA	59
4.6.2	ACIONAMENTO	60
4.7	SELEÇÃO DE MOTORES E MANCAIS	61
4.7.1	ESTEIRAS	61
4.7.2	HASTE DE ENVOLVIMENTO	63
4.7.3	TENSIONADORES	64
4.8	ESTRUTURA DE SUSTENTAÇÃO	65
4.8.1	ESTEIRA DE ORGANIZAÇÃO	65
4.8.2	SISTEMA DE ENVOLVIMENTO	67
4.8.3	ESTEIRA DE FINALIZAÇÃO	71
5	DETALHAMENTO DE PROJETO	74
5.1	ACIONAMENTO	74
5.2	ACABAMENTO	75
5.3	ANÁLISE FINANCEIRA	76
5.3.1	LEVANTAMENTO DE CUSTOS	76
5.3.2	ANÁLISE DO RETORNO DE INVESTIMENTO	77
5.4	ANÁLISE AMBIENTAL	79
5.4.1	OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - ODS	79
6	CONCLUSÃO	81
6.1	CONCLUSÃO DO PROJETO	81
6.2	PRÓXIMOS PASSOS	82
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
	APÊNDICES	86

I.1	ANEXOS	86
I.2	ATUADORES.....	96
	I.2.1 ATUADORES PNEUMÁTICOS.....	96
I.3	TÚNEL DE CALOR.....	102
	I.3.1 TRANSFERÊNCIA DE CALOR	102
	I.3.2 AQUECIMENTO POR RESISTÊNCIA ELÉTRICA	106
	I.3.3 COMPORTAMENTO TÉRMICO DO PLÁSTICO	107
I.4	DIMENSIONAMENTO DO RODÍZIO DO TÚNEL DE CALOR.....	109
I.5	DIMENSIONAMENTO DAS ESTEIRAS	109
I.6	DIMENSIONAMENTO DA MOLA DO SISTEMA DE CORTE	110

LISTA DE FIGURAS

1.1	Setor de alimentos e bebidas no PIB 2021.	2
1.2	Crescimento de valor apresentado por Coca-Cola e Pepsi entre 2020 e 2021.	3
1.3	Sede da Brasal Refrigerantes em Brasília - DF.	4
1.4	Resultado completo do Prêmio Supply 2021.	4
1.5	Resultado da taxa de avaria do Sistema Coca-Cola em 2021.	5
1.6	Exemplo de pallet misto (composto por dois ou mais produtos) da Brasal Refrigerantes.	6
1.7	Operação de reembalagem da Brasal Refrigerantes.	6
1.8	Local da reembalagem no estoque da Brasal Refrigerantes.	7
1.9	Utilização do soprador de calor para conformação e selagem do plástico filme.	8
2.1	Esquematização de atuador linear de simples ação.	13
2.2	Exemplo de atuador elétrico.	13
2.3	Fuso trapezoidal de um atuador elétrico.	14
2.4	Principais componentes de um motor de corrente contínua.	15
2.5	Motor de indução.	16
3.1	Máquina de embalagem utilizada na linha de produção da Brasal Refrigerantes.	20
3.2	Máquina empacotadora da Trumark Enterprises.	21
3.3	Fonte: Trumark Enterprises.	21
3.4	Exemplo de esteira transportadora.	22
3.5	Exemplo de túnel de calor por convecção forçada.	23
3.6	Esquematização do ponto de selagem (a) da linha de produção e (b) do processo de reembalagem.	23
3.7	Diagrama de Mudge.	26
3.8	Diagrama de Pareto.	26
3.9	Fluxograma dos subsistemas da máquina de reembalagem.	30
3.10	Modelagem da máquina após definição da concepção.	34
3.11	Modelagem da esteira de organização.	34
3.12	Modelagem da esteira de envolvimento.	35
3.13	Modelagem do túnel de calor.	36
3.14	Modelagem da esteira de finalização.	36
3.15	Modelagem do sistema inferior.	37
4.1	Fluxograma de influências.	38
4.2	Túnel de calor selecionado.	41
4.3	Detalhes do funcionamento do túnel de calor selecionado.	42
4.4	Modelo de rodizio selecionado.	43

4.5	Modelo de esteira <i>Flush Grid, Series 1500</i> selecionado.	44
4.6	Gráfico para determinação do fator de temperatura.	47
4.7	Gráfico para determinação do fator de resistência.	48
4.8	Gráfico para determinação do espaçamento entre as engrenagens.	49
4.9	Modelagem da esteira de envolvimento.	51
4.10	Modelagem do sistema de envolvimento elaborado para a máquina.	52
4.11	Bucha projetada para conectar a haste à corrente.	52
4.12	Modelagem do sistema de corte desenvolvido para separação do plástico.	55
4.13	Modelagem volumétrica do atuador selecionado.	56
4.14	Procedimento utilizado para projeto da mola de compressão do sistema de corte.	57
4.15	Resumo das especificações da mola em função do diâmetro.	57
4.16	Fatores de segurança alcançados para cada critério de fadiga, com e sem jateamento.	58
4.17	Modelagem do sistema inferior projetado.	59
4.18	Modelagem das esteiras de finalização e organização projetadas.	61
4.19	Motoredutor selecionado para movimentação das esteiras.	61
4.20	Mancal F4BC 25M-CPSS-DFH selecionado para apoiar os eixos das esteiras.	62
4.21	Motor 25GA310 da Robobuilders, selecionado para o sistema de envolvimento.	63
4.22	Mancal F4B 008-RM selecionado para o sistema da haste de envolvimento.	64
4.23	Mancal selecionado como apoio dos rolos tensionadores.	64
4.24	Modelagem do suporte da esteira de organização e do sistema inferior.	65
4.25	Aplicação das cargas na estrutura de organização para simulação.	66
4.26	Tensão resultante durante simulação da estrutura de sustentação da esteira de organização e do sistema de corte.	66
4.27	Deslocamento dos tubos da estrutura de organização após aplicação de carga durante simulação.	67
4.28	Modelagem do suporte do sistema de envolvimento.	68
4.29	Aplicação das cargas no suporte da haste para simulação.	68
4.30	Tensão resultante durante simulação do suporte da haste de envolvimento.	69
4.31	Deslocamento dos tubos da estrutura de organização após aplicação de carga durante simulação.	69
4.32	Aplicação de cargas na estrutura inferior do sistema de envolvimento para simulação.	70
4.33	Tensão resultante durante simulação da estrutura de sustentação do sistema de envolvimento (esteira e haste).	70
4.34	Deslocamento dos tubos da estrutura inferior do sistema de envolvimento após aplicação de carga durante simulação.	71
4.35	Modelagem do suporte da esteira de finalização.	71
4.36	Fonte: autoria própria.	71
4.37	Aplicação das cargas na estrutura de finalização para simulação.	72
4.38	Tensão resultante durante simulação da estrutura de sustentação da esteira de finalização.	72

4.39	Deslocamento dos tubos da estrutura de finalização após aplicação de carga durante simulação.	73
5.1	Chave de partida selecionada para acionar a máquina de reembalagem.	74
5.2	Modelagem volumétrica do botão de emergência selecionado.	75
5.3	(a) carenagem elaborada para proteção das correntes e (b) carenagem fixada à estrutura do envolvimento.	75
5.4	Conjunto formado por chapas de aço e policarbonato utilizado para acabamento da máquina de reembalagem.	76
5.5	(a) máquina de embalagem da Purusharth e (b) Unisource.	78
5.6	Gráfico comparativo entre o custo de investimento na máquina e o gasto com processo manual para a Brasal Refrigerantes.	79
5.7	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU.	80
6.1	Modelagem final da máquina de reembalagem projetada.	82
2	Expansibilidade do ar.	96
3	Exemplo com três estágios de compressão de um ar a temperatura constante.	97
4	Elasticidade do ar atuando para retornar o gás ao seu estado inicial.	97
5	Quadro geral dos compressores utilizados na indústria.	98
6	Etapas do ciclo de funcionamento de um compressor alternativo.	99
7	Esquemática de atuador linear de dupla ação.	101
8	Exemplo de válvula 4/3 operada por solenoide, com retorno por mola.	102
9	Exemplo de transferência de calor por condução.	103
10	Processos de transferência de calor por convecção. (a) Convecção forçada. (b) Convecção natural. (c) Ebulição. (d) Condensação.	105
11	Resfriamento de um sólido quente por transferência de calor por radiação.	106
12	Esquemática do fenômeno de aquecimento por resistência elétrica.	107

LISTA DE TABELAS

3.1	Restrições do projeto.	17
3.2	Normas levantadas para o projeto.	18
3.3	Requisitos definidos para o projeto.	25
3.4	Tabela de especificações-meta dos requisitos do projeto.	28
3.5	Tabela de concepções.	31
3.6	Matriz de decisão.	32
3.7	Pontuação dos fatores de penalização para o fator de segurança.	33
4.1	Parâmetros já definidos para o projeto.	39
4.2	Especificações do modelo de túnel de calor selecionado.	41
4.3	Especificações do modelo de rodizio selecionado.	43
4.4	Especificações do modelo de esteira selecionado.	44
4.5	Valores para determinação do fator de serviço SF.	46
4.6	Especificações da engrenagem selecionada para a esteira horizontal de envolvimento.	49
4.7	Valores para o cálculo de tensão da esteira.	53
4.8	Cálculo da resistência admissível da esteira.	54
4.9	Valores encontrados para o eixo motriz.	54
4.10	Especificações do atuador elétrico selecionado para o sistema de corte.	55
4.11	Valores para o cálculo de tensão da esteira.	60
4.12	Valores encontrados para o eixo motriz das esteiras de organização e finalização.	60
4.13	Especificações do motoredutor selecionado.	61
4.14	Principais especificações do modelo de mancal selecionado.	62
4.15	Principais especificações do motor selecionado para a haste de envolvimento.	63
4.16	Especificações do mancal selecionado para apoiar os eixos da haste de envolvimento.	63
4.17	Especificações do mancal selecionado para apoiar os eixos dos rolos tensionadores.	64
4.18	Propriedades do aço ASTM A36.	65
5.1	Tabela de orçamento dos componentes da máquina de reembalagem.	77
5.2	Valor do custo mensal do processo manual e da máquina de reembalagem.	78
1	Propriedades do polietileno de baixa densidade (LDPE).	108

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos Latinos

FS	Fator de segurança
w	Largura
h	Altura
l	Comprimento
t	Tempo
m	Massa
M	Carga do produto
L_{max}	Nível de ruído
V	Velocidade linear
H	Altura de elevação da esteira
HP	Potência mecânica
R	Resistência elétrica
i	Corrente elétrica
D	Diâmetro
e	Espessura
E	Módulo de elasticidade
G	Módulo de cisalhamento
T	Temperatura
P	Pressão ou número de polos
V	Volume
S	Velocidade síncrona
f	Frequência
\dot{Q}_{cond}	Taxa de condução de calor
k	Condutividade térmica
c_p	Calor específico
h_c	Coefficiente de transferência de calor por convecção
A	Área
P_e	Potência elétrica
C	Carga por rodízio
N	Número de rodízios ou número de espiras
BP	Carga de tensão
W	Massa da esteira
F_w	Coefficiente de atrito
M_p	Carregamento por acúmulo
T_0	Torque

Símbolos Gregos

α	Difusividade térmica
ρ	Massa específica ou resistividade
σ	Tensão
Ω	Rotação

Siglas Principais

ABIA	Associação Brasileira da Indústria de Alimentos
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
CCIL	Coca Cola Indústrias Ltda.
FMCG	Fast Moving Consumer Goods
ILOS	Instituto de Logística e Supply Chain
ISO	International Organization for Standardization
ITAL	Instituto de Tecnologia de Alimentos
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora
ODS	Objetivo de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas

1 INTRODUÇÃO

O objetivo desse capítulo é introduzir o cenário dos armazéns industriais que levam à necessidade de se realizar o processo de reembalagem que, por sua vez, demanda tempo e esforço físico. Além disso, serão apresentados o objetivo e os requisitos do projeto, bem como as normas aplicáveis. Por fim, será apresentada a situação atual de performance da empresa escolhida para instalação do maquinário.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Durante o século XIX a indústria nacional teve evolução muito lenta devido às restrições impostas por governantes até o início do século. Já no início do século XX ocorreu um intenso crescimento industrial, com crescimento de 400% no número de empresas do setor entre os censos de 1907 e 1920. Já neste último, o setor de alimentos e bebidas representava 20% do número total com 2.709 corporações, segundo o Instituto de Tecnologia de Alimentos - ITAL [1]. Até o final do século XX, o setor já apresentava quase 45.000 empresas, número 16 vezes maior que aquele notificado pelo censo de 1920. Tamanho crescimento resultou na criação de diversos órgãos de suporte e regulamentação, como o já citado ITAL, fundado em 1963 como CPTPA (Centro Tropical de Pesquisas e Tecnologia de Alimentos), a Associação Brasileira da Indústria de Alimentos (ABIA) em 1963, a Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA - Unicamp) em 1966 e a Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos (sbCTA) em 1967.

Segundo a ABIA [2], a indústria brasileira de alimentos e bebidas apresentou, em 2021, participação de 10,6% no PIB nacional, representando o maior segmento do país, com R\$ 26,8 bilhões investidos e gerando 24% dos empregos da indústria de transformação brasileira, também a maior marca entre os setores (Figura 1.1).

A indústria brasileira de alimentos e bebidas

58% de toda a nossa produção agropecuária é processada por essa indústria

A maior do Brasil em valor de produção

Maior geradora de empregos*

37,7 mil

empresas do setor

*Fonte: Rais/Secretaria do Trabalho e Emprego/Min. da Economia.

1,68 milhão

postos de trabalho diretos e formais

24,2%

dos empregos da indústria de transformação brasileira



Faturamento do setor**

Investimentos**

10,6%

do total do PIB brasileiro

**Fonte: ABIA e Banco Central

R\$ 15,4 bi + **R\$ 5,8 bi**

foram investidos no setor

investidos em fusões e aquisições



R\$ 21,2 bi
total

Figura 1.1: Setor de alimentos e bebidas no PIB 2021.

Fonte: ABIA [2].

No cenário internacional, analisando o mercado de produtos de alto giro, ou *fast moving consumer goods* (FMCG), a empresa Kantar [3] traz em seu relatório BrandZ 2021 que as empresas Coca-Cola e Pepsi tiveram um aumento de 7,4% e 14,2%, respectivamente, em seu valor de mercado em relação a 2020 (Figura 1.2). Este aumento se deu pelas estratégias contínuas de inovação de ambas as empresas, que atualizaram seu portfólio, possibilitando seu crescimento mesmo durante o instável período pandêmico que se estabeleceu em 2020 e 2021.

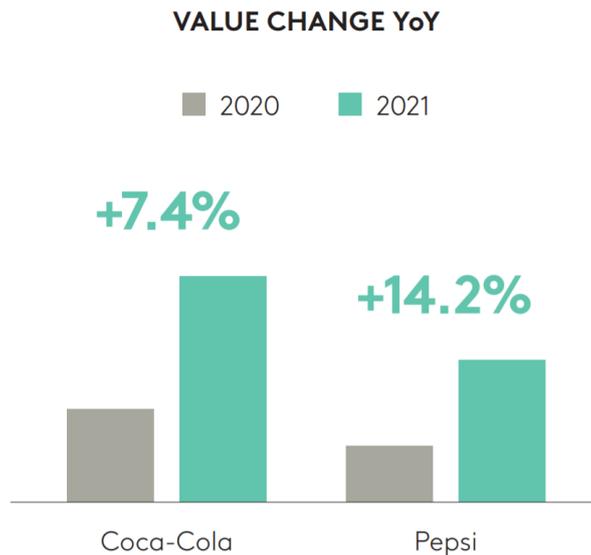


Figura 1.2: Crescimento de valor apresentado por Coca-Cola e Pepsi entre 2020 e 2021.

Fonte: Kantar [3].

Tais resultados demonstram a força do setor de bebidas na economia mundial e compactuam diretamente com o cenário visto nos processos internos de diversas empresas que atuam no mercado. A alta demanda reflete na forte produção dos produtos nas fábricas e, principalmente, na intensa movimentação de itens nos armazéns que, por sua vez, leva à quebra e descarte de diversas unidades.

Considerando que, de acordo com pesquisa da Allied Market Research [4], o *market size* global do grupo FMCG ultrapassará o valor de US\$15.000 bilhões em 2025, significando um aumento de mais de 50% em relação a 2017, e considerando também que o setor de alimentos e bebidas representou em 2017, pela mesma pesquisa, 89% do *market share* dos produtos de alto giro, conclui-se que a demanda e a movimentação de itens nos armazéns de indústrias com foco em bebidas serão cada vez maiores, consequentemente resultando em maior taxa de avaria dos produtos.

Utilizando como referência o Sistema Coca-Cola Brasil e, mais particularmente, a franquia Brasal Refrigerantes (Figura 1.3), cujo desempenho se destaca entre as demais empresas do sistema, a maior parte dos produtos são agrupados em *packs* (pacotes) de unidades. Quando ocorre a quebra de uma unidade, é bastante provável que as demais unidades do *pack* estejam intactas e adequadas para comercialização, o que leva ao processo de reembalagem, que consiste na separação dos itens apropriados e formação de um novo *pack* a ser envolvido por plástico e aquecido fixação do material.



Figura 1.3: Sede da Brasal Refrigerantes em Brasília - DF.

Fonte: Brasal [5].

Esse processo de reembalagem é, muitas vezes, bastante oneroso, consumindo tempo e energia dos colaboradores, além de ser executado em locais pouco adequados, adaptados dentro do armazém. Dessa forma, existe a oportunidade de se desenvolver uma máquina que automatize etapas da reembalagem, aumentando a produtividade e reduzindo custos a longo prazo.

1.1.1 O cenário da Brasal Refrigerantes

Sediada em Brasília-DF, a Brasal Refrigerantes é a principal fabricante do Sistema Coca-Cola no Centro-Oeste e apresenta um dos melhores desempenhos na área de Logística, como retratado no resultado final do Prêmio Supply de 2021 (Figura 1.4), premiação organizada pelo Instituto de Logística e Supply Chain (ILOS) em parceria com a Coca Cola Indústrias Ltda (CCIL).

Ranking	Fabricante	S&OP	Indústria	Logística	Produtividade	Total
1	Sorocaba	23	20,5 (2º)	18,3 (2º)	29 (1º)	90,9
2	Uberlândia	23,8 (3º)	20	17,8 (3º)	26 (2º)	87,6
3	Brasal	20,1	22 (1º)	24 (1º)	18	84,1
3	Femsa	23	20,1	15	26 (2º)	84,1
5	Simões	24,8 (2º)	20,3 (3º)	13	22 (3º)	80,1
6	Solar	20,8	19,5	16,3	22 (3º)	78,6
7	Andina	22,6	17,3	12,5	26 (2º)	78,4
8	CVI	25,1 (1º)	13,5	13,3	10	61,9
9	Bandeirantes	18	17,5	5,3	10	50,8

Figura 1.4: Resultado completo do Prêmio Supply 2021.

Fonte: ILOS [6].

Um dos indicadores levantados pelo ILOS é a taxa de avaria, que inclui fatores como o índice

de retorno durante as rotas de distribuição e a quantidade de caixas físicas danificadas durante o processo de carregamento. Nesse indicador, a Brasal apresenta um ótimo desempenho de 0,01%, mesmo resultado da franquia Andina, que atua na Região Sudeste (Figura 1.5). Tal performance mostra que existem muitas oportunidades em relação à quebra de produtos em todo o país. Apesar de parecer baixo, o resultado de 0,01% representa apenas que a taxa de avaria é pequena em relação ao quantitativo total de caixas movimentadas ao longo do ano, mas ainda assim as quebras tem efeito retardatário na operação das empresas.

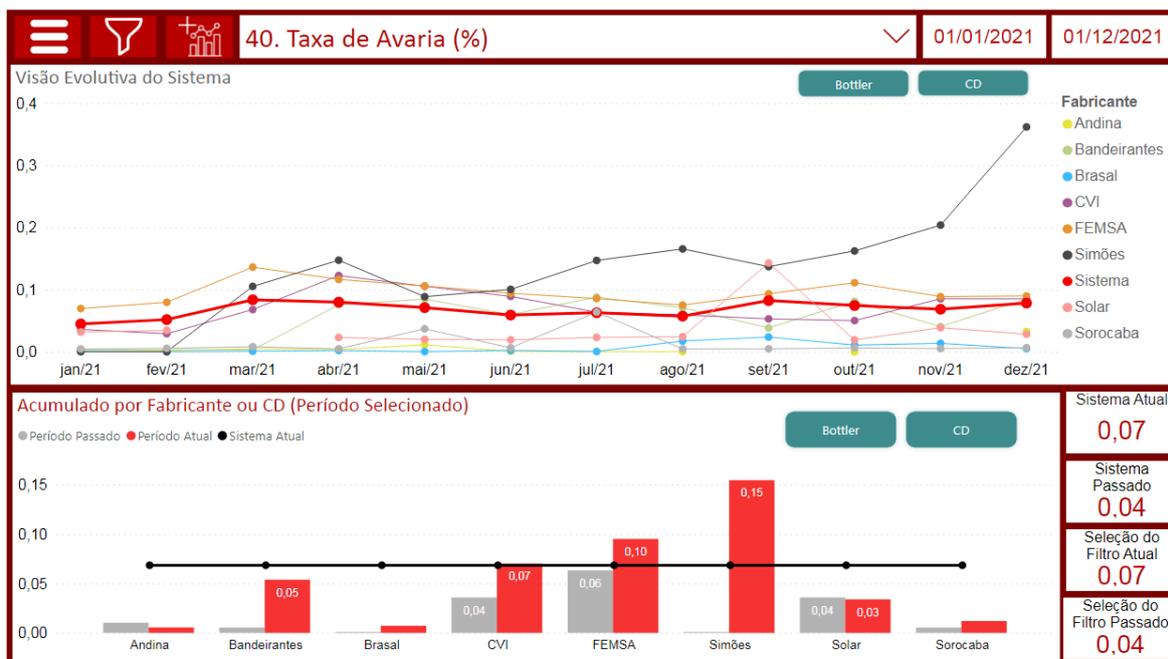


Figura 1.5: Resultado da taxa de avaria do Sistema Coca-Cola em 2021.

Fonte: ILOS [6].

Outro indicador logístico influenciado pelo processo de reembalagem é a produtividade do *picking*. Chama-se *picking* o processo de montagem de pallets mistos, em que os funcionários montam manualmente pallets com mais de um SKU (*stock keeping unit*), ou seja, mais de um produto, como mostrado na Figura 1.6. O ILOS analisa de duas formas diferentes a produtividade do *picking*: pela quantidade de pallets mistos em relação ao número de funcionários ou pela quantidade de caixas em razão do número de funcionários por turno e pelo tempo gasto, melhor demonstradas abaixo:

$$Produtividade = \frac{Pallets\ mistos}{Funcionarios\ do\ picking} \quad (1.1)$$

$$Produtividade = \frac{Quantidade\ de\ caixas\ fisicas\ em\ pallets\ mistos}{Funcionarios\ do\ picking \times tempo\ gasto} \quad (1.2)$$



Figura 1.6: Exemplo de pallet misto (composto por dois ou mais produtos) da Brasal Refrigerantes.

Fonte: autoria própria.

1.2 TEMPOS, MOVIMENTOS E GASTOS

Observando individualmente a operação de reembalagem da Brasal Refrigerantes, montou-se um fluxograma (Figura 1.7) de modo a facilitar a análise do processo. A partir da Figura 1.8, pode-se perceber que o atual espaço destinado ao processo da reembalagem é reduzido, improvisado e pouco cuidado.

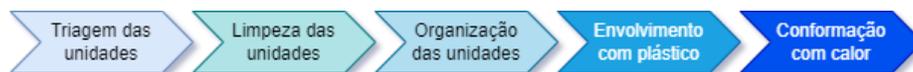


Figura 1.7: Operação de reembalagem da Brasal Refrigerantes.

Fonte: autoria própria.

Na primeira etapa, da triagem das unidades, é feita a separação, pelos funcionários, dos produtos ainda adequados para comercialização, averiguando quesitos como furos, deformações, vazamentos, entre outros. Ou seja, considerando um pacote com seis latas, qualquer avaria inva-



Figura 1.8: Local da reembalagem no estoque da Brasal Refrigerantes.

Fonte: autoria própria.

lida todo o pacote, mas não necessariamente todas as unidades. Dessa forma, são reaproveitadas as latas de diferentes pacotes para montagem de um novo.

Em seguida, as unidades são limpas individual e manualmente logo antes de serem posicionadas na mesa de operação para eventual reembalagem. Essa etapa é feita, basicamente, com pano úmido, apenas com o intuito de retirar possíveis impurezas de manuseio ou contato com o solo.

Após limpeza, as unidades são posicionadas e organizadas sobre o plástico, de modo que fiquem rentes umas as outras, sem folga para movimentação. Então, o plástico é conduzido de forma a envolver completamente as unidades e é selado com um soprador térmico onde as duas extremidades se unem, como mostra a Figura 1.9. Por fim, o mesmo soprador é utilizado para conformar o plástico no mesmo formato das unidades, transformando o pacote em uma embalagem justa e firme.



Figura 1.9: Utilização do soprador de calor para conformação e selagem do plástico filme.

Fonte: autoria própria.

Essa operação, desde a etapa de limpeza até a conformação do plástico leva em torno de 2 minutos por pacote e exige, em média, 2 funcionários por turno (manhã e noite), isto é, 4 auxiliares de estoque por dia alocados neste processo. Consultando a base de dados da Brasal, a estimativa de custo mensal com cada auxiliar de estoque, incluindo salário, benefícios e outros custos, é de R\$ 5.375,00. Além disso, é trocado ou consertado um soprador térmico a cada 4 meses, que apresenta defeito na resistência devido à alta demanda, com custo médio de R\$300,00.

1.3 OBJETIVO

O objetivo geral do presente trabalho consiste em realizar o projeto de uma máquina de reembalagem de *packs* de latas de alumínio para armazém industrial, com ênfase no estudo e seleção dos mecanismos que proporcionem melhor performance e custo-benefício da máquina em relação ao processo manual existente atualmente na Brasal.

1.3.1 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, é necessário cumprir os seguintes objetivos específicos:

- compreender o cenário de aplicação da Brasal Refrigerantes, na qual será utilizada a máquina;
- estudar as diversas opções de mecanismos e conceitos da Engenharia Mecânica, levando em conta a eficiência, o custo e a complexidade de implementação de cada alternativa;
- determinar, na fase de projeto conceitual, a melhor configuração para a máquina considerando os requisitos que ainda serão apresentados e como eles são atendidos pelos mecanismos e demais conceitos;
- realizar, durante o projeto intermediário, o dimensionamento dos sistemas e das peças a serem selecionadas ou fabricadas, descrevendo modelos e medidas, além de realizar simulações estáticas de validação estrutural;
- especificar, na etapa de detalhamento, pontos de finalização do projeto, como acabamento e elementos de fixação, além de elaborar desenhos técnicos para fabricação.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

- **Capítulo 1:** introduz o conteúdo a ser abordado no trabalho, trazendo uma contextualização do cenário de aplicação do projeto, além da estruturação do trabalho.
- **Capítulo 2:** realiza uma revisão teórica de conceitos e mecanismos de Engenharia que serão utilizados na elaboração do projeto, a partir de conhecimentos obtidos durante o período de graduação do curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Brasília. Dentre os assuntos abordados tem-se as áreas de pneumática e elétrica.
- **Capítulo 3:** parte do trabalho em que será elaborado o projeto conceitual, levantando os requisitos do projeto e utilizando a ferramenta diagrama de Mudge para classificá-los de acordo com o impacto no projeto, para então propor concepções e definir a que mais atende a situação previamente apresentada.
- **Capítulo 4:** execução do projeto intermediário, onde serão realizados a seleção e o dimensionamento dos componentes e subsistemas do equipamento, desde partes móveis, como esteiras, motores e correntes, até a estrutura de sustentação dos componentes.
- **Capítulo 5:** realização do projeto de detalhamento, com a definição de tolerâncias, ajustes, fixação, materiais, processos de fabricação, entre outros, além da análise de viabilidade financeira e ambiental da máquina, de modo a agregar na validação e utilidade do equipamento desenvolvido.

- **Capítulo 6:** apresenta a conclusão do trabalho, retomando os objetivos e resultados alcançados, além de próximos passos para continuidade do projeto.
- **Apêndices:** exposição de temas abordados ao longo da execução do trabalho, mas que foram reposicionados de modo a deixar o texto mais sucinto e compreensível. Também serão colocados anexos do projeto, incluindo códigos de dimensionamento, resultados de testes experimentais e desenhos técnicos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O objetivo desse capítulo é abordar os conceitos das áreas pneumáticas, elétrica, hidráulica, térmica e automação, trazendo os princípios básicos por trás do funcionamento de cada uma e os componentes que podem ser aplicados na máquina a ser projetada. Com esse conhecimento adquirido, o projeto conceitual pode ser executado, bem como os futuros projetos intermediário e de detalhamento.

2.1 ATUADORES

O atuador é um dispositivo que produz movimento a partir da conversão de diferentes tipos de energia, como pneumática, hidráulica ou elétrica. De um modo geral, as saídas de um atuador a partir da energia de entrada podem ser classificadas como lineares, quando o movimento realizado é de translação, ou rotativas, no caso dos movimentos de rotação. Dentre as várias aplicações dos atuadores, pode-se citar a movimentação de cargas, sejam elas leves ou pesadas, e a abertura e fechamento de válvulas e comportas. Neste trabalho, serão abordados com mais detalhe apenas os atuadores pneumáticos e elétricos, visto que os hidráulicos funcionam de maneira semelhante aos pneumáticos.

2.1.1 Atuadores pneumáticos

Segundo Fialho [7], "provém da raiz grega "PNEUMA", que significa fôlego, vento, sopro. Logo, pneumática é conceituada como sendo a matéria que trata dos movimentos e fenômenos dos gases". Assim, no caso de aplicação deste projeto, pneumática é a área que aborda a utilização de ar comprimido para movimentação de elementos e componentes de modo a possibilitar o cumprimento do objetivo proposto inicialmente por um equipamento. Vale ressaltar que, de um modo geral, a pneumática e a hidráulica apresentam princípios de funcionamento e componentes bastante semelhantes e, por isso, apenas a primeira será abordada na presente seção.

Observando as vantagens da pneumática, tem-se:

- fonte de energia: ar é ilimitado, diferente da água que precisa de reservatório;
- energia consumida: ar é armazenado em um reservatório, não sendo necessário trabalho contínuo do compressor, apenas quando a pressão cai abaixo do determinado;
- segurança: não há risco de explosão e, mesmo se explodir, a pressão de trabalho é baixa (6 a 12 bar), enquanto na hidráulica pode ultrapassar 350 bar;
- limpeza e meio ambiente: não há risco de poluição ambiental, tornando excelente para indústria alimentícia;

- custo de construção: os elementos de comando, ação e estruturais são menos robustos e mais baratos devido à baixa pressão de trabalho;
- velocidade de trabalho: alta velocidade de deslocamento dos componentes;
- segurança contra sobrecarga: não apresentam defeitos quando submetidos a sobrecarga, apenas parando e voltando a funcionar normalmente quando a carga é aliviada.

Por outro lado, tem-se como desvantagens:

- preparação do ar: o ar deve ser completamente livre de impurezas para apresentar excelente funcionamento;
- compressibilidade: não é possível controlar precisamente a velocidade durante vários ciclos seguidos devido à compressibilidade do ar;
- custo: há um alto custo de implementação e manutenção quando instalado em indústrias, embora essa desvantagem seja compensado pelas peças e pela rentabilidade a longo prazo.

2.1.1.1 Atuadores pneumáticos

Atuadores pneumáticos são elementos mecânicos que por meio de movimentos lineares ou rotativos transformam a energia cinética gerada pelo ar pressurizado e em expansão, em energia mecânica, produzindo trabalho. Esses atuadores podem ser de vários tipos, mas apenas os lineares de simples ação serão abordados nesta seção (mais detalhes podem ser encontrados no Apêndice).

- Atuadores pneumáticos lineares

Sendo um dos tipos mais conhecidos de atuadores, e também chamados de cilindros pneumáticos, os atuadores lineares são elementos constituídos por um tubo cilíndrico, sendo fechado em ambas as extremidades por tampas com conexões de admissão e exaustão de ar, sendo que uma das tampas possui um furo central de modo a permitir a movimentação de uma haste com êmbolo de vedação. Tais cilindros são regidos por normas internacionais, como a ISO 6431 e ISO 6432 e são divididos em dois grupos, de simples efeito e duplo efeito.

- Atuadores pneumáticos lineares de simples ação

Atuadores cujo movimento de retração ou expansão é feito pela ação de uma mola interna ao tubo cilíndrico, podendo ainda retornar por força externa. Sua principal aplicação ocorre em dispositivos de fixação, moldes de injeção, prensagem, entre outros.

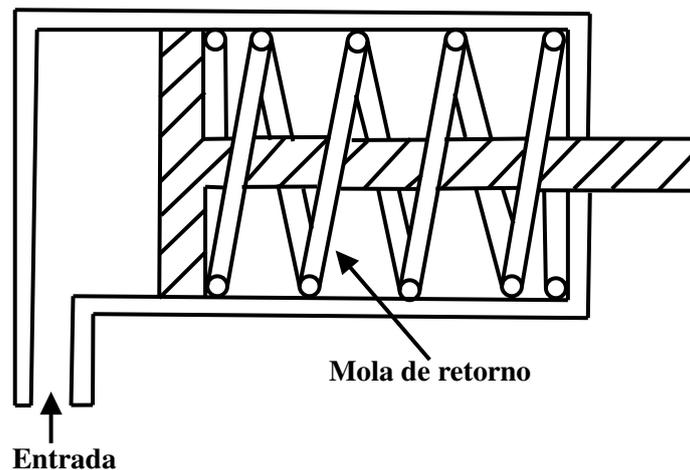


Figura 2.1: Esquematização de atuador linear de simples ação.

Fonte: adaptado de Parr [8].

O funcionamento deste tipo de atuador inicia-se com o acionamento de uma válvula controladora direcional, permitindo que o ar comprimido da linha de alimentação seja injetado por uma mangueira, elevando a pressão na câmara até superar a força exercida pela mola, movimentando, assim, a haste. Somente com o desligamento da válvula é que o fluxo é cessado, permitindo o retorno da mola. O dimensionamento da mola deve ser realizado de modo a não permitir que o retorno da haste seja demasiadamente rápido para não danificar o equipamento.

2.1.2 Atuadores elétricos

Uma alternativa aos sistemas pneumático e hidráulico é o atuador elétrico (Figura 2.2), que possui o mesmo objetivo de fornecer movimentação mecânica, mas agora a partir da conversão de energia elétrica. Por meio de um fuso trapezoidal (Figura 2.3) e um conjunto de engrenagens, o movimento rotacional de um motor de corrente contínua é transformado para linear.



Figura 2.2: Exemplo de atuador elétrico.

Fonte: Kalatec [9].

Entre as principais vantagens do atuador elétrico, tem-se:

- baixo ruído durante o funcionamento;

- mais segurança para o operador em comparação aos atuadores pneumático e hidráulico;
- menor gasto com manutenção e longa durabilidade;
- simplicidade de integração com controladores programáveis;
- fácil instalação e design compacto;
- bidirecionais.

Por outro lado, tem-se as seguintes desvantagens:

- baixa velocidade de deslocamento da haste;
- custo elevado dos componentes, como o fuso, as engrenagens e o motor;
- não são indicados para uso em áreas com substâncias inflamáveis ou risco de explosão, além de não poder atuar em ambientes quentes ou úmidos, com possibilidade de danificar os componentes.

É importante notar que a baixa velocidade de deslocamento do atuador é uma desvantagem para o projeto em uma perspectiva geral, visto que o tempo de execução do processo pela máquina é um importante requisito.



Figura 2.3: Fuso trapezoidal de um atuador elétrico.

Fonte: Kalatec [9].

2.2 MOTORES ELÉTRICOS

Um motor elétrico converte energia elétrica em energia mecânica por meio da interação de campos magnéticos (Petruzella [10]). Motores elétricos possuem diversas aplicações, como residencial, comercial e industrial e são divididos em dois grandes grupos, de corrente contínua

(motores CC) e corrente alternada (motores CA), que serão abordados a seguir. O entendimento das principais características, vantagens e desvantagens de cada tipo de motor é fundamental para que as melhores decisões sejam tomadas ao longo do projeto intermediário.

2.2.1 Motores de corrente contínua

Apesar de não serem tão utilizados quanto os motores de corrente alternada, devido às concessionárias de energia distribuírem corrente alternada, os motores de corrente contínua (motores CC) são ideais para situações que demandam alto torque e velocidade variável, compensando, muitas vezes, a transformação de corrente alternada em contínua para utilização dos motores CC.

A construção de um motor CC (Figura 2.4) é considerada mais complexa e cara do que a de um motor CA, principalmente pela presença do comutador, das escovas e do enrolamento da armadura. Por isso, é necessário realizar nos motores CC a manutenção do conjunto escova-comutador, enquanto os motores de indução CA não possuem comutador e escovas, além de utilizar rotor do modelo gaiola de esquilo com alumínio fundido, ao passo que o motor CC possui fios de cobre em seu enrolamento.

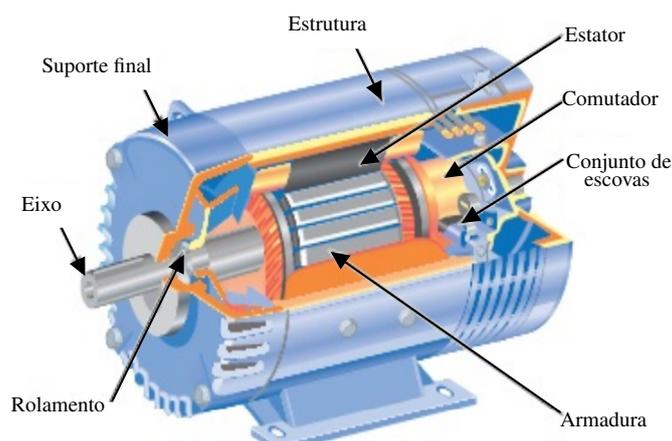


Figura 2.4: Principais componentes de um motor de corrente contínua.

Fonte: adaptado de Petruzella [10].

A principal vantagem do motor CC é a possibilidade de variar sua velocidade, cuja redução pode ser alcançada a partir da diminuição da tensão aplicada ao reduzir a corrente elétrica. Um indicador importante de um motor é a regulação da velocidade, que indica a capacidade de um motor manter sua velocidade durante a aplicação de carga.

Tratando especificamente dos motores CC sem escova, ou *brushless*, são motores que possuem apenas ímãs permanentes e um estator ao invés de escovas e comutador. Suas principais características são a capacidade de desenvolver alto torque ao longo de todo o seu intervalo de velocidade, o que é vantajoso para aplicações com variação de velocidade, como ventiladores e bombas; controle, posicionamento e deslocamento precisos do motor, viabilizando a utilização

em robôs industriais; e, por fim, longevidade e simplicidade de manutenção devido à ausência de comutador.

2.2.2 Motores de corrente alternada

A principal diferença dos motores de corrente alternada (motores CA) em relação aos motores CC é a presença de rotação do campo magnético, fundamental para o funcionamento dos motores CA. A rotação do campo magnético é representada pela velocidade síncrona, que é considerada ideal, já que o rotor, na prática, será mais lento. Assim, a velocidade *de facto* do motor é aquela que pode ser notada na rotação do eixo. Essa é a velocidade apresentada na placa de identificação do motor, enquanto a velocidade síncrona S do motor depende do número de polos P e da frequência f conforme Equação 2.1:

$$S = \frac{120 \cdot f}{P} \quad (2.1)$$

O tipo mais comum de motores de corrente alternada é o de indução (Figura 2.5), principalmente pela sua simples construção e baixo custo de fabricação. São chamados de motores de indução aqueles que não possuem fonte externa de tensão, anéis coletores ou excitação por corrente contínua, podendo ser monofásicos ou trifásicos.

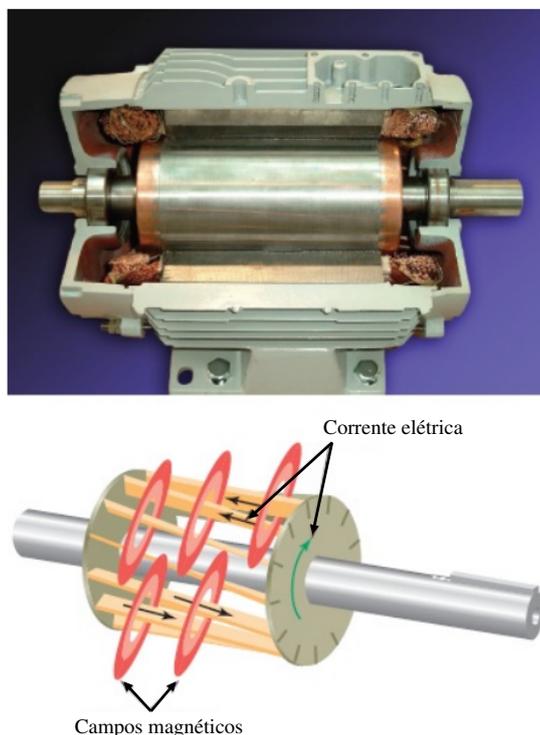


Figura 2.5: Motor de indução.

Fonte: adaptado de Petruzella [10].

3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO CONCEITUAL

O objetivo deste capítulo é apresentar o processo de definição de concepção para o projeto em questão, partindo do levantamento e hierarquização dos requisitos do projeto, definindo especificações-meta e elaborando de possíveis concepções que atendem aos requisitos para, por fim, especificar a concepção escolhida de modo quantitativo.

3.1 RESTRIÇÕES E ESQUEMATIZAÇÃO

Para o presente projeto, a máquina deve atuar em um local específico designado dentro do armazém da Brasal Refrigerantes, atendendo, portanto, largura e comprimento máximos, além de altura máxima para melhor ergonomia do colaborador. Ainda, será utilizado como foco do projeto um *pack* de latas Coca-Cola, na categoria 12x310mL, ou seja, 12 latas de 310 mL. A Tabela 3.1 apresenta as restrições necessárias:

Tabela 3.1: Restrições do projeto.

Largura máxima da máquina	2 m
Comprimento máximo da máquina	3 m
Altura máxima da esteira	0,8 m
Largura mínima da esteira	175 mm
Comprimento mínimo da esteira	230 mm
Altura do <i>pack</i> de lata	140 mm
Massa do <i>pack</i> de lata	4,1 kg

As medidas máximas da máquina, como largura, comprimento e altura, foram definidas com base em conceitos de ergonomia e no espaço disponível para instalação da máquina, enquanto as demais restrições são baseadas no *pack* definido como foco do projeto.

3.2 NORMAS APLICÁVEIS

Após contextualização e entendimento acerca do cenário de aplicação do equipamento a ser projetado e da definição do objetivo, restrições e proposta inicial da máquina, é necessário estabelecer parâmetros e regras para assegurar a adequação do equipamento aos limites impostos por governos e órgãos regulamentadores.

Uma vez que o projeto da máquina proposta inclui a possibilidade de diversos mecanismos e considerando o ambiente de instalação, foram levantadas algumas normas que abordam critérios que devem ser analisados. Na Tabela 3.2 são apresentadas essas normas e seus respectivos títulos. Em seguida, cada norma será tratada mais detalhadamente.

Tabela 3.2: Normas levantadas para o projeto.

NR 12 [11]	Segurança do trabalho em máquinas e equipamentos
NBR 10151 [12]	Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas
NBR 7195 [13]	Cores para segurança
NBR 5410 [14]	Instalações elétricas de baixa tensão
ISO 12944 [15]	Paints and varnishes - Corrosion protection of steel structures by protective paint systems
ISO 3864 [16]	Símbolos gráficos - Cores e sinais de segurança
NBR 14153 [17]	Segurança de máquinas - Partes de sistemas de comando relacionados à segurança - Princípios gerais para projeto
NBR 6678 [18]	Transportadores contínuos, Transportadores de correias - Roletes - Projeto, seleção e padronização
NBR 6158 [19]	Sistema de tolerâncias e ajustes
NBR 16746 [20]	Segurança de máquinas - Manual de instruções - Princípios gerais de elaboração

A norma regulamentadora 12, ou NR 12, é definida pelo governo brasileiro e citada na Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), tendo como principal foco o cuidado com os trabalhadores envolvidos no processo de máquinas e equipamentos de todos os tipos, desde o projeto e fabricação até a utilização. A norma estabelece referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção para garantir a saúde e a integridade física dos trabalhadores, definindo requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho.

A NBR 10151, definida pela ABNT, não só estabelece os procedimentos técnicos para medição de níveis de pressão sonora em ambientes internos e externos às edificações, mas também define limites de pressão sonora de acordo com diferentes situações, sendo essa a principal utilidade da norma para o projeto em questão.

A NBR 7195 estabelece as cores a serem utilizadas na prevenção de acidentes, para identificar e advertir contra riscos. Pelo fato desse projeto tratar de uma máquina com instalação em um ambiente industrial, é importante estar ciente da correta aplicação de cores, de modo a garantir a maior segurança para os operadores e funcionários envolvidos no ambiente. Da mesma forma, a ISO 3864 define símbolos que podem ser instalados para indicar situações de perigo e conferir maior segurança a todos.

A NBR 5410 define termos, parâmetros, princípios fundamentais, características e cuidados que devem ser tomados em instalações elétricas de baixa tensão, abaixo de 1.000 V em corrente alternada, frequência de 400 Hz ou 1.500 V em corrente contínua, condições às quais a máquina a ser projetada se adequa.

Já a NBR 14153 trata de diretrizes e orientações para melhor projetar e selecionar componentes e sistemas de comando relacionados à segurança, incluindo sistemas programáveis e dispositivos como botão de emergência. Essa norma deve ser aplicada independente do tipo de energia fornecida, seja elétrica, hidráulica, pneumática, entre outros.

Falando sobre normas relacionadas ao projeto da máquina em si, a NBR 6678 especifica dimensões de rolos e suportes, arranjo e folgas de roletes, cargas, além de procedimentos para seleção e inspeção de roletes de transportadores de correia. Como os modelos de mercado apresentados como referência apresentam esteiras, é interessante conhecer a regulamentação para esse componente.

A NBR 6158 define os princípios, regras e tabelas da tecnologia mecânica, visando direcionar o projetista no projeto de tolerâncias e ajustes de peças intercambiáveis de até 3.150 mm, possibilitando a fabricação dessas peças. Ainda, a ISO 12944 descreve os tipos e sistemas de pintura que podem ser utilizados para proteger estruturas de aço contra corrosão, além de fornecer orientações para a seleção da melhor pintura conforme o ambiente.

Por fim, a NBR 16746 estabelece os princípios gerais para elaboração de manuais de instruções para máquinas e equipamentos, que pode ser útil na confecção de um manual de fabricação, instalação, manutenção e utilização considerando uma eventual concretização da máquina em questão.

3.3 MECANISMOS DE EMBALAGEM

Esta seção servirá como um prefácio para o desenvolvimento do projeto conceitual, apresentando exemplos de mecanismos existentes no mercado que foram utilizados como inspiração para elaboração das concepções, destrinchando, assim, os equipamentos de empresas estrangeiras e a linha de produção da Brasal Refrigerantes.

3.3.1 Modelos do Mercado

Para auxiliar na execução do projeto, foram pesquisados modelos de máquinas já existentes no mercado, que serão referência tanto no processo de definição de concepção quanto durante o dimensionamento. Nesta seção, os equipamentos serão apenas apresentados superficialmente, enquanto seus componentes serão detalhados na Seção 3.3.

3.3.1.1 Linha de Produção da Brasal Refrigerantes

Como etapa fundamental de sua produção, a Brasal Refrigerantes possui um equipamento destinado para embalar unidades de latas de refrigerante, apresentada na Figura 3.1. Essa máquina recebe as unidades diretamente da linha de produção e as organiza automaticamente. Em seguida, o plástico é colocado em volta das latas com o auxílio de uma esteira localizada na parte inferior da máquina. Então, o pacote segue para outro equipamento, um túnel de calor, no qual é feito o encolhimento do plástico a partir da aplicação de calor.



Figura 3.1: Máquina de embalagem utilizada na linha de produção da Brasal Refrigerantes.

Fonte: autoria própria.

Diferentemente da maior parte das máquinas encontradas, utiliza um sistema majoritariamente elétrico, onde as unidades são movimentadas em esteiras e o plástico é tensionado e colocado ao redor das bebidas por meio de motores. Além disso, a conformação do plástico se dá, principalmente, por radiação, sendo utilizada convecção forçada apenas na saída do túnel de calor.

3.3.1.2 Trumark Enterprises

Um bom exemplo de máquina disponível no mercado que realiza o mesmo processo e pode ser utilizada como referência é a empacotadora da empresa ?? [??], apresentada na Figura 3.3.



Figura 3.2: Máquina empacotadora da Trumark Enterprises.

Figura 3.3: Fonte: Trumark Enterprises.

Esse equipamento utiliza atuadores pneumáticos para movimentar as bebidas até o túnel de calor, além de cortar e selar o plástico. Um componente interessante da máquina é o sinal luminoso na parte superior, utilizado como medida de segurança durante emergências ou para evitar acidentes.

3.3.2 Esteiras transportadoras

As esteiras transportadoras (Figura 3.4) são um mecanismo amplamente utilizado na indústria, sendo capaz de movimentar cargas com diferentes características, desde peças e produtos acabados até cargas à granel, e em diversos setores, como químico, metalúrgico, automobilístico, entre outros. As esteiras possuem grande versatilidade de aquisição, sendo muitas vezes comercializadas com características personalizadas conforme as necessidades do cliente, podendo ser automatizadas ou manuais.



Figura 3.4: Exemplo de esteira transportadora.

Fonte: autoria própria.

Entre essas características, tem-se as esteiras de correia, roletes, corrente, verticais, etc, além de terem a possibilidade de fazer curvas. Ainda, as esteiras são, no geral, de fácil dimensionamento, fácil limpeza e manutenção, além de proporcionarem ao usuário agilidade, segurança e praticidade na operação.

3.3.3 Atuadores pneumáticos

Conforme já abordado, os atuadores pneumáticos são muito utilizados na indústria por proporcionarem agilidade, segurança, sustentabilidade, entre outras vantagens. Durante as pesquisas de máquinas disponíveis na indústria, o sistema pneumático foi encontrado diversas vezes, como nos equipamentos da ?? [??] e da Packaging [21], nas quais os atuadores são aplicados para movimentar os produtos no início do processo e para cortar e selar o plástico, sendo que neste último caso, o atuador possui um fio de resistência acoplado à sua extremidade que realiza a separação do plástico, já selando no canto do pacote, conforme mostrado na Figura 3.6 (a).

3.3.4 Túnel de calor

O túnel de calor é um componente fundamental no processo de formação de pacotes de latas e garrafas, já que é necessário por conformar o plástico em volta das unidades, garantindo um *pack* justo e seguro, além de, em alguns casos, ser utilizado para selar o plástico. Uma das tecnologias mais utilizadas é a convecção forçada com ventiladores, como na Figura 3.5. Outros mecanismos no túnel de calor são a radiação e o vapor.



Figura 3.5: Exemplo de túnel de calor por convecção forçada.

Fonte: Packaging [21].

3.3.5 Método de selagem

A diferença mais notável do produto resultante da linha de produção da Brasal Refrigerantes, e também de máquinas da empresa Kronos [22], é a localização do ponto de selagem do plástico. Como mostrado na Figura 3.6 (a), os *packs* formados pela linha de produção possuem o fechamento onde o filme de plástico se toca na parte inferior das latas.



(a)



(b)

Figura 3.6: Esquematisação do ponto de selagem (a) da linha de produção e (b) do processo de reembalagem.

Fonte: autoria própria.

Por outro lado, o ponto de selagem dos *packs* formados no processo da reembalagem se encontra na parte lateral das latas, onde o plástico é encolhido e fusionado, formando o fechamento.

Essa diferença se dá devido ao método de aquecimento utilizado, já que em linhas de produção a aplicação de calor ocorre no contato entre os pacotes e as esteiras, enquanto na reembalagem é utilizado o soprador térmico direcionado na lateral do *pack*.

3.4 METODOLOGIA

O procedimento realizado nesse capítulo tem por finalidade levantar, analisar e comparar as diferentes soluções possíveis de serem aplicadas no projeto. Para isso, serão usadas ferramentas de caráter semi-quantitativo, isto é, não só utilizando números no processo de definição da melhor concepção, mas também avaliando-as de forma subjetiva, do ponto de vista de engenharia, de modo que o modelo escolhido seja o mais adequado para atender os requisitos do projeto.

A primeira etapa da metodologia consiste em determinar os requisitos do projeto, tomando como base o cenário de aplicação apresentado no Capítulo 1 e as demais características relevantes desejadas para a máquina. Após definidos, os requisitos serão hierarquizados, através da ferramenta Diagrama de Mudge, de acordo com sua relevância para o projeto como um todo, atribuindo-se um parâmetro quantitativo individual para cada requisito, resultando, assim, no grau de influência que o requisito terá no processo de tomada de decisão.

Após a hierarquização, serão definidas especificações-meta, ou seja, valores ou parâmetros que devem ser atingidos em cada requisito, de modo a evitar saídas indesejadas, isto é, problemas ou complicações que serão causadas pelo equipamento em caso de não-conformidade dessas especificações. Em seguida, serão levantadas concepções de máquinas que atendem os requisitos. Para isso, serão estudados diversos mecanismos de engenharia, além de analisar soluções já existentes no setor industrial, para buscar soluções que satisfaçam a demanda.

Por fim, as soluções elaboradas serão comparadas entre si em uma matriz de decisão, a partir de um método semi-quantitativo pelo qual cada concepção receberá uma nota de acordo com o seu grau de atendimento das especificações-meta definidas para cada requisito. Ao final desse processo, cada concepção terá um valor final e aquela com melhor desempenho deverá ser escolhida como referência para o prosseguimento do projeto ou até utilizada por completo, se possível.

3.5 REQUISITOS DO PROJETO

Conforme abordado, a primeira etapa do projeto conceitual envolve a definição dos requisitos que devem ser atendidos ou respeitados pelo projeto e pelo produto final almejado. Para isso, tomou-se como base o cenário de aplicação do equipamento e as normas que permeiam o projeto. Além disso, utilizou-se como referência, também, trabalhos já executados sobre os mais diversos tipos de máquina. Os requisitos definidos para o projeto são mostrados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3: Requisitos definidos para o projeto.

Tempo de execução do processo	A
Qualidade de formação do <i>pack</i>	B
Fácil operação da máquina	C
Dimensões adequadas	D
Custo de fabricação	E
Custo de manutenção	F
Custo de energia durante o uso	G
Segurança do operador	H
Segurança do produto	I
Sistema de segurança	J
Atendimento às normas aplicáveis	K
Suportar ciclos de operação	L
Fabricação simples	M
Manutenção simples	N
Baixo peso	O
Nível de ruído	P

3.6 HIERARQUIZAÇÃO DOS REQUISITOS

Com os requisitos definidos, é necessário determinar o grau de relevância de cada um para o projeto e, conseqüentemente, para o processo de tomada de decisão, já que, inevitavelmente, há uma discrepância entre os impactos causados por cada requisito. De modo a realizar tal parametrização, escolheu-se por utilizar a ferramenta Diagrama de Mudge [23], que permite comparar dois a dois o conjunto de requisitos. Em cada comparação é atribuído um valor para o critério considerado mais relevante, sendo 1, 3 e 5 os valores possíveis conforme o grau de importância e 0 caso os atributos possuam a mesma relevância. O resultado do Diagrama de Mudge é apresentado na Figura 3.7.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Soma	Peso
A		B 1	A 1	D 1	A 3	A 1	A 1	A 1	I 1	A 3	K 3	L 1	A 3	A 3	A 5	A 3	25	7,67%
B			B 3	B 0	B 3	B 3	B 3	B 3	B 0	B 3	B 1	B 3	B 3	B 3	B 5	B 5	39	11,96%
C				D 1	C 3	C 1	C 1	C 3	I 5	C 3	K 1	L 3	C 3	C 1	C 5	C 3	23	7,06%
D					D 3	D 1	D 1	D 3	D 1	D 3	K 1	L 0	D 3	D 3	D 5	D 5	30	9,20%
E						F 1	G 1	H 3	I 5	J 3	K 5	L 3	M 0	N 1	E 3	E 3	6	1,84%
F							F 1	H 1	I 5	J 3	K 5	L 1	F 1	F 0	F 3	E 3	9	2,76%
G								H 1	I 5	J 3	K 5	L 3	M 1	N 1	G 3	G 3	7	2,15%
H									I 3	H 3	K 1	H 3	H 3	H 1	H 5	H 5	25	7,67%
I										I 3	I 1	I 5	I 5	I 5	I 5	I 5	53	16,26%
J											K 3	L 1	J 3	J 1	J 5	J 5	23	7,06%
K												K 1	K 3	K 1	K 5	K 5	39	11,96%
L													L 3	L 1	L 5	L 3	24	7,36%
M														N 1	M 5	M 3	9	2,76%
N															N 5	N 3	11	3,37%
O																P 3	0	0,00%
P																	3	0,92%
																	326	100,00%

Figura 3.7: Diagrama de Mudge.

Fonte: autoria própria.

Concluída a comparação de relevância entre os requisitos, soma-se os valores atribuídos para cada um, obtendo-se, assim, o peso total do requisito dentro do projeto como um todo. Para melhor identificação, construiu-se o Diagrama de Pareto (Figura 3.8), que permite visualizar graficamente o impacto absoluto de um requisito (colunas azuis), bem como o acumulado de relevância (curva laranja).

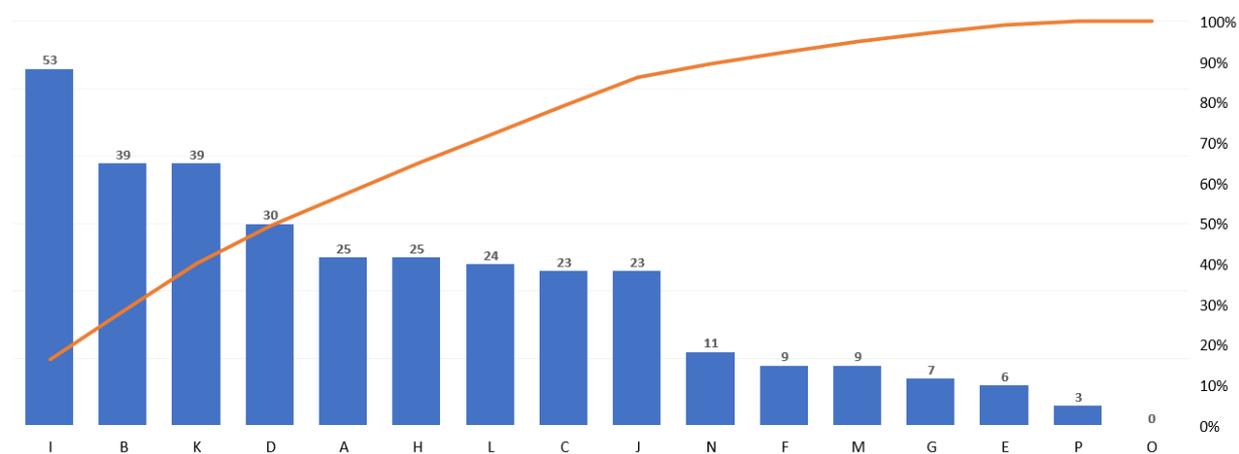


Figura 3.8: Diagrama de Pareto.

Fonte: autoria própria.

Percebe-se, então, que os três requisitos com maior impacto, totalizando 50%, e que mais devem ser considerados durante o projeto é a segurança do operador, o atendimento às normas aplicáveis e a segurança do produto. Além disso, procurando seguir a regra 80/20 do Princípio de Pareto, tem-se que outros quatro requisitos ajudam a compor 80% do impacto, são eles: sistema de segurança, qualidade de formação do *pack*, suportar ciclos de operação e dimensões adequadas.

3.7 DEFINIÇÃO DE ESPECIFICAÇÕES-META

Antes de definir uma concepção com base nos requisitos de um projeto, é preciso definir especificações-meta para cada um deles, tornando possível a análise quantitativa das diferentes concepções perante cada requisito. As especificações-meta, apresentadas na Tabela 3.4, são valores determinados previamente, ou então estimados a partir de pesquisa, que devem ser atingidos pelo produto final.

Tabela 3.4: Tabela de especificações-meta dos requisitos do projeto.

Requisitos	Impacto	Especificações-meta	Justificativas	Complicações
Tempo de execução do processo	7,67%	1 min por <i>pack</i>	50% do tempo atual	Sem vantagem no investimento
Qualidade de formação do <i>pack</i>	11,96%	Plástico justo e sem defeitos	Proporcionar segurança ao produto	Rompimento da embalagem
Fácil operação da máquina	7,06%	Simple operação sem esforço manual do operador	Sem necessidade de mão de obra especializada	Operação lenta e prejuízos financeiros
Dimensões adequadas	9,20%	Largura máx: 2 m Altura máx: 0,8 m Comp. máx: 3 m	Adequação ao local e ergonomia do operador	Impossibilidade de instalação
Custo de fabricação	1,84%	R\$ 30.000,00	Estimativa de máquinas industriais	Alto custo de aquisição, baixo ROI
Custo de manutenção	2,76%	<10% anual do custo de fabricação	Estimativa de máquinas industriais	Alto custo ao longo da vida, baixo ROI
Custo de energia durante o uso	2,15%	<2% anual do custo de fabricação	Estimativa dos equipamentos	Alto custo ao longo da vida, baixo ROI
Segurança do operador	7,67%	Riscos à integridade do operador	Prioridade na Brasal Refrigerantes	Implicações legais para a empresa
Segurança do produto	16,26%	Não pode danificar as latas	Objetivo final da máquina é aproveitar latas ainda adequadas	Prejuízo na eficiência da máquina
Sistema de segurança	7,06%	Sistema contra queda de energia e acidentes	Mecanismos de parada emergencial para evitar lesões e prejuízo	Perigo à integridade do operador e do armazém
Atendimento às normas aplicáveis	11,96%	100% de atendimento	Evitar irregularidades do cliente	Não estar de acordo com as normas de funcionamento
Suportar ciclos de operação	7,36%	75.000 ciclos em 5 anos	Estimativa com a quantidade de caixas quebradas	Alta frequência de manutenção
Fabricação simples	2,76%	90% das peças por processos convencionais	Redução do custo de fabricação	Alto custo de aquisição
Manutenção simples	3,37%	Serviços e peças de fácil acesso	Agilidade na manutenção	Comprometer a produtividade
Baixo peso	0,00%	300 kg	Máquina estável mas possível de ser movimentada	Difícil manuseio da máquina
Nível de ruído	0,92%	60 db	NBR 10151 - Período noturno e área industrial	Redução da produtividade e lesão ao operador

3.8 ELABORAÇÃO DE POSSÍVEIS CONCEPÇÕES

A concepção inicial, proposta no Capítulo 1, da máquina apresenta diferentes mecanismos e elementos, como atuadores pneumáticos, motores elétricos, esteiras e câmara térmica. Isso mostra que o produto final pode ser alcançado de maneiras variadas, resultando em concepções diversas que devem ser avaliadas ao longo do projeto.

O primeiro passo para formular as concepções foi montar um fluxograma com os subsistemas do equipamento, ou seja, todas as funcionalidades que devem ser realizadas pela máquina, e como eles influenciam uns aos outros. Em seguida, pesquisou-se, na literatura de Engenharia, mecanismos que pudessem satisfazer cada demanda, além de buscar em trabalhos existentes inspirações para se construir cada concepção.

3.8.1 Subsistemas da máquina de reembalagem

Na Figura 3.9 é apresentado o fluxograma dos subsistemas da máquina de reembalagem, em que inclui-se os requisitos e entradas básicos no equipamento (movimentação do produto, formação do pacote, estrutura da máquina e energia de entrada) e o objetivo final que deve ser alcançado (*pack* formado com segurança, eficácia e eficiência).

Na parte central do fluxograma encontra-se a máquina propriamente dita, com os subsistemas e funcionalidades que possibilitarão a transformação dos dados de entrada no objetivo de saída.

3.8.2 Tabela de concepções

Para formular cada uma das concepções, pesquisou-se mecanismos na literatura e também em equipamentos já existentes no mercado. A partir disso, foi possível elaborar quatro concepções (apresentadas na Tabela 3.5) de modo a otimizar a utilização dos recursos.

A concepção 1 é totalmente elétrica, fazendo uso de motores em toda a sua composição. Já as concepções 2 e 3 são majoritariamente pneumáticas, com auxílio dos motores em partes em que a aplicação de componentes pneumáticos não foi possível, sendo a única diferença entre ambas o sistema de conformação do plástico, permitindo analisar todas as possibilidades. Por fim, a concepção 4 é semelhante às últimas duas, seu diferencial sendo a fonte de energia, a água, o que facilita a utilização de vapor para conformar o plástico dentro do túnel de calor.

3.9 MATRIZ DE DECISÃO

Finalmente, as concepções elaboradas serão analisadas entre si através da ferramenta conhecida como matriz de decisão. Nessa ferramenta, são atribuídas notas para as soluções de acordo com o seu desempenho em cada um dos requisitos de projeto previamente definidos, levando em

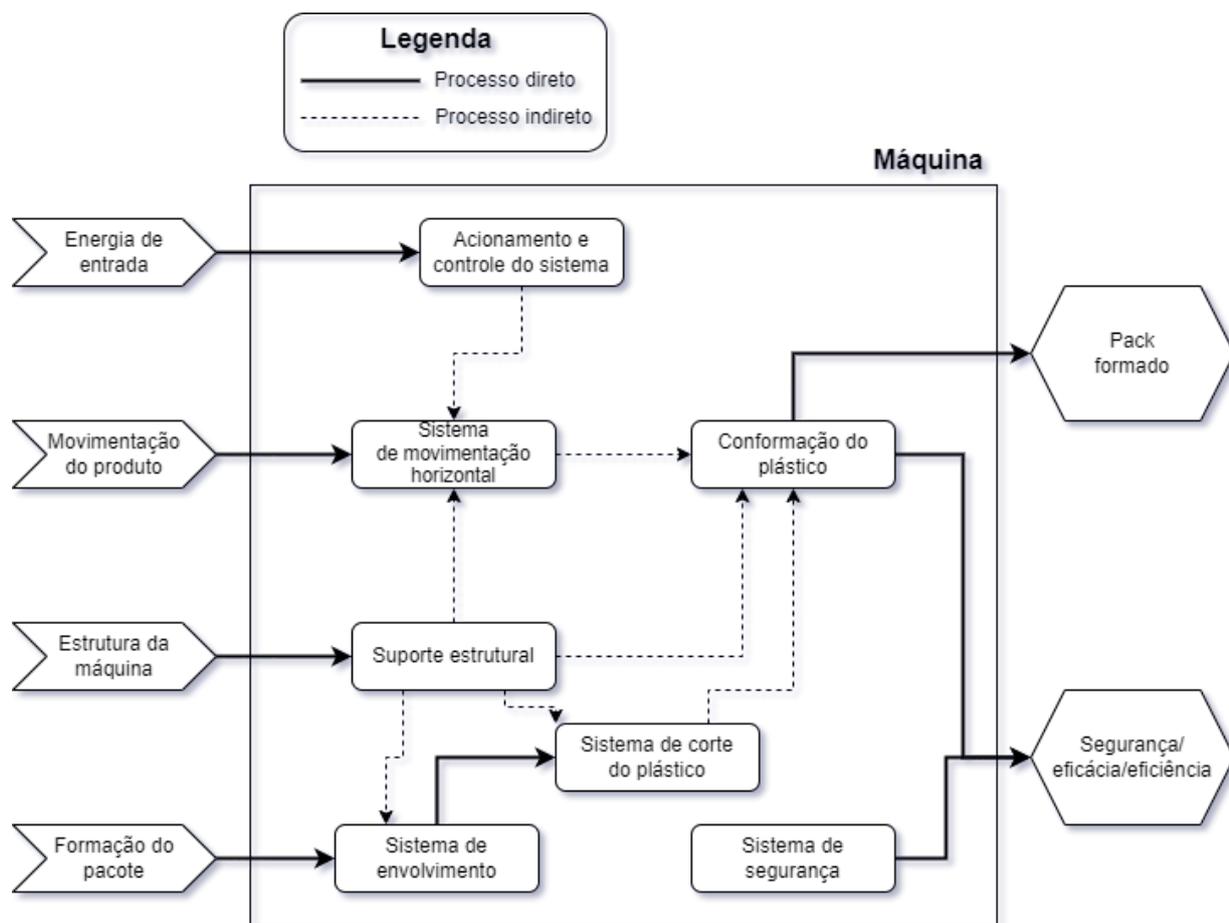


Figura 3.9: Fluxograma dos subsistemas da máquina de reembalagem.

Fonte: autoria própria.

consideração a especificação-meta estabelecida para cada um. Ao final do processo, as notas são ponderadas com seus respectivos pesos, definidos a partir do Diagrama de Mudge, resultando na nota final de cada concepção.

É comum aplicar notas de 1 a 10 ou 1 a 5 para avaliar cada conceito, mas nesse projeto foi adotado um método menos subjetivo, em que o primeiro passo é atribuir a nota 0 em todos os requisitos para uma determinada concepção. Essa concepção atuará, então, como referência, enquanto as outras serão julgadas em relação ao conceito-referência da seguinte maneira: em caso de desempenho inferior, receberá nota -1; em caso de desempenho superior, receberá nota 1; e em caso de desempenho semelhante, receberá a nota 0. Ainda, podem ser atribuídas as notas -2 e 2, caso alguma das concepções possua um desempenho muito pior ou melhor, respectivamente, em comparação com as outras.

A concepção escolhida como referência foi a concepção 1, por ser baseada na máquina presente na linha de produção atual da Brasal Refrigerantes, e a matriz de decisão é apresentada na Tabela 3.6.

Tabela 3.5: Tabela de concepções.

Subsistemas	Concepção 1	Concepção 2	Concepção 3	Concepção 4
Acionamento	Painel elétrico	Painel elétrico	Painel elétrico	Painel elétrico
Automação e controle	Circuito de comando e sensores	Circuito de comando, sensores e termostato	Circuito de comando e sensores	Circuito de comando e sensores
Sistema de movimentação horizontal	Esteiras transportadoras	Atuador linear pneumático e esteiras transportadoras	Atuador linear pneumático e esteiras transportadoras	Atuador linear hidráulico e esteiras transportadoras
Sistema de envolvimento e corte do plástico	Máquina rotativa com motor elétrico	Atuador linear pneumático com lâmina e selador	Atuador linear pneumático com lâmina e selador	Atuador linear hidráulico com lâmina e selador
Sistema de conformação do plástico	Convecção forçada e intervalada	Radiação por resistência controlada por termostato	Convecção forçada e intervalada	Túnel de vapor

3.10 FATOR DE SEGURANÇA

Antes de realizar o dimensionamento dos componentes, é necessário, primeiramente, definir um fator de segurança geral do projeto, que será considerado independente do tipo de carregamento, seja tensão, velocidade, deflexão, entre outros.

Para se calcular o fator de segurança (n_d), será utilizado o método do Collins, Busby e Staab [24], que leva em consideração oito fatores de penalização, sendo eles:

1. A precisão com que se pode determinar as cargas, forças, deflexões ou outros agentes indutores de falha
2. A precisão com que as tensões ou outros fatores de severidade de carregamento podem ser determinados a partir das forças ou de outros fatores indutores de falha
3. A precisão com que as resistências às falhas ou outras medidas de falhas podem ser determinadas para o material selecionado segundo o modo de falha adequado
4. A necessidade de se restringir material, peso, espaço ou custo
5. A gravidade das consequências de falha em termos de vidas humanas e/ou danos à propriedade
6. A qualidade da mão-de-obra na fabricação
7. As condições de operação
8. A qualidade da inspeção e da manutenção disponível ou possível durante a operação

Tabela 3.6: Matriz de decisão.

Requisitos do projeto	Peso relativo	Concepção 1	Concepção 2	Concepção 3	Concepção 4
Tempo do processo	7,67%	0	-1	-1	-1
Qualidade de formação do <i>pack</i>	11,96%	0	0	0	0
Fácil operação	7,06%	0	0	0	0
Dimensões Adequadas	9,20%	0	0	0	0
Custo de fabricação	1,84%	0	-1	-1	-2
Custo de manutenção	2,76%	0	-1	-1	-1
Custo de energia	2,15%	0	-1	1	-2
Segurança do operador	7,67%	0	-1	-1	-2
Segurança do produto	16,26%	0	0	0	0
Sistema de segurança	7,06%	0	0	0	0
Atendimento às normas	11,96%	0	0	0	0
Suportar ciclos de operação	7,36%	0	0	0	0
Simplicidade de fabricação	2,76%	0	-1	-1	-2
Simplicidade de manutenção	3,37%	0	-1	-1	-2
Baixo peso	0,00%	0	0	0	0
Nível de ruído	0,92%	0	-1	-1	-1
Nota final		0,000	-0,291	-0,248	-0,469

A cada um desses fatores será atribuído um número de penalização (NP) que varia entre -4 e +4, da seguinte maneira:

- NP = 1: mudança levemente necessária no fator de segurança
- NP = 2: mudança moderadamente necessária no fator de segurança
- NP = 3: mudança fortemente necessária no fator de segurança
- NP = 4: mudança extremamente necessária no fator de segurança

O número de penalização pode ser negativo, caso se deseja reduzir o fator de segurança, ou positivo, em caso de necessidade de aumento. Após atribuídas os devidos valores aos fatores, calcula-se a soma algébrica t e, em seguida, o fator de segurança n_d , pela Equação 3.2:

$$t = \sum_{i=1}^8 (NP)_i \quad (3.1)$$

$$n_d = 1 + \frac{(10 + t)^2}{100}, \text{ para } t \geq -6 \quad (3.2)$$

$$n_d = 1,15, \text{ para } t < -6$$

Para o projeto em questão, considerou-se que há precisão na determinação das tensões aplica-

das na máquina, já que o peso das latas é definido e a resistência dos transportadores é fornecida pelo fabricante. Além disso, determinou-se que, em caso de falha da máquina, há risco à saúde do operador e alto prejuízo financeiro, já que o equipamento será posicionado próximo a outros produtos da empresa. Por fim, a qualidade de fabricação, operação, inspeção e manutenção foi considerada razoável.

Com base nas considerações acima, a Tabela 3.7 apresenta a escolha dos números de penalização para os fatores selecionados:

Tabela 3.7: Pontuação dos fatores de penalização para o fator de segurança.

Fatores de penalização	Números de penalização
Conhecimento preciso do carregamento	-2
Cálculo preciso das tensões	-1
Conhecimento preciso da resistência	-1
Necessidade de conservação	+2
Gravidade das consequências de falha	+3
Qualidade da fabricação	-2
Condições de operação	-1
Qualidade da inspeção/manutenção	-1

Com os fatores devidamente pontuados, foi possível calcular o fator de segurança para o projeto:

$$n_d = 1,49$$

Assim, será considerado para o projeto um fator de segurança de 1,5.

3.11 CONCEPÇÃO DEFINIDA

Conforme determinado na Seção 3.9, a concepção escolhida foi a nº 1, composta puramente por componentes elétricos e baseada nos equipamentos presentes da linha de produção da Brasal Refrigerantes. Essa concepção foi utilizada como referência para as etapas de dimensionamento e detalhamento que se seguiram, até o final de projeto. Assim, nesta seção serão apresentados detalhes de cada etapa do processo, com imagens que nortearam o projeto.

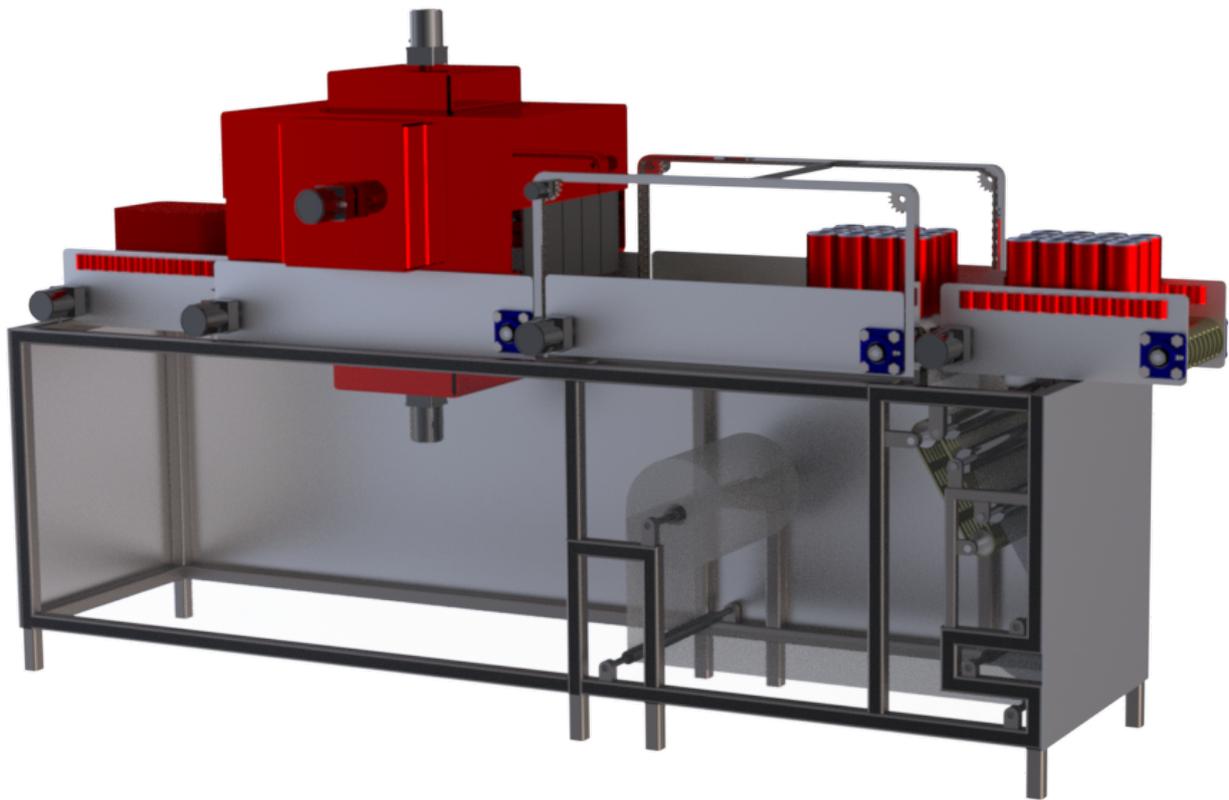


Figura 3.10: Modelagem da máquina após definição da concepção.

Fonte: autoria própria.

3.11.1 Esteira de organização

Consiste na primeira etapa da máquina, na qual o operador organizará as unidades para posterior envolvimento com o plástico. Além disso, possui roletes para evitar o desalinhamento e o travamento das latas.

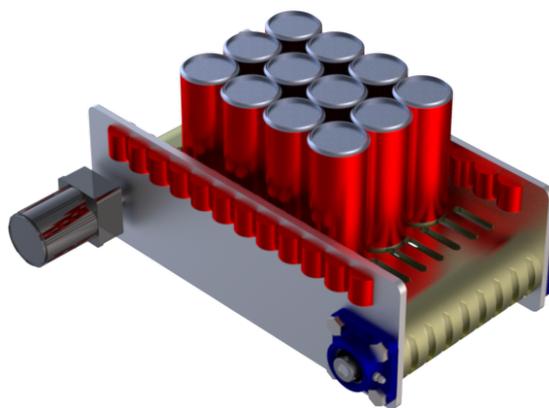


Figura 3.11: Modelagem da esteira de organização.

Fonte: autoria própria.

3.11.2 Esteira de envolvimento

A segunda etapa, e uma das mais complexas do processo, a esteira de envolvimento será responsável por colocar o plástico ao redor do conjunto de latas, que seguirá para o túnel de calor para conformação do plástico. O envolvimento será realizado por meio de uma haste com movimento cíclico, enquanto um sistema de motores e roletes na parte inferior da máquina fornecerá o plástico para a esteira.



Figura 3.12: Modelagem da esteira de envolvimento.

Fonte: autoria própria.

3.11.3 Túnel de calor

Etapa fundamental na garantia da qualidade do pacote, o túnel de calor é constituído por fios metálicos e ventiladores que possibilitarão a convecção forçada e o aquecimento plástico. Foram posicionados dois ventiladores nas laterais e um na parte superior do túnel. Ainda, um conjunto ventilador-resistências foi colocado abaixo da esteira, para que a mesma seja aquecida e possa esquentar o plástico por condução, realizando a selagem. Por fim, foram posicionados dois ventiladores de menor porte de modo a cobrir uma maior área e garantir a conformação do plástico nas quinas superiores do pacote.

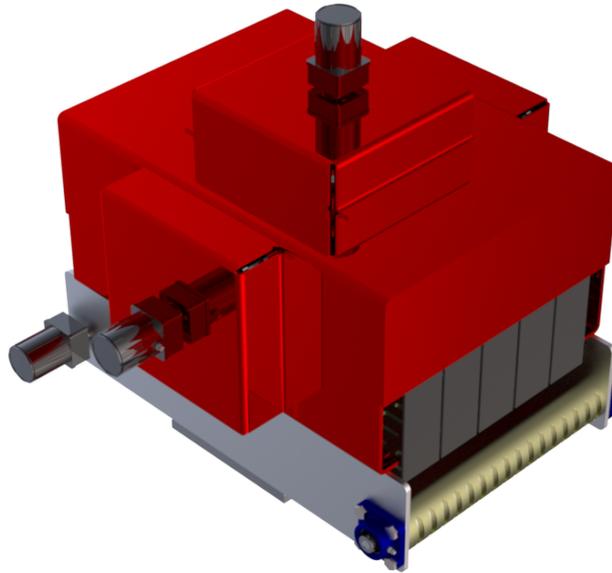


Figura 3.13: Modelagem do túnel de calor.

Fonte: autoria própria.

3.11.4 Esteira de finalização

É a última etapa da máquina, com a mesma composição que a esteira de organização, sendo utilizada apenas como ponto de retirada do *pack* finalizado. Também possui roletes para evitar o travamento do pacote nas paredes.

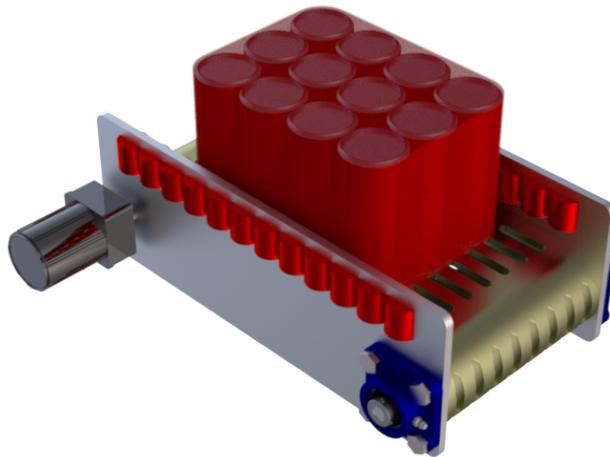


Figura 3.14: Modelagem da esteira de finalização.

Fonte: autoria própria.

3.11.5 Sistema inferior

Também um dos setores mais complexos da máquina, o sistema inferior é responsável por armazenar e conduzir o rolo de filme plástico até a esteira de envolvimento. Ao longo do caminho,

foram posicionados tensionadores para manter o plástico esticado, além de rolos em rotação e uma esteira para tracionar o plástico. Ainda, foi colocada um conjunto de rolos com lâminas para realizar a separação do plástico.



Figura 3.15: Modelagem do sistema inferior.

Fonte: autoria própria.

4 PROJETO INTERMEDIÁRIO

O objetivo desse capítulo é apresentar o processo e os resultados da seleção e do dimensionamento dos diferentes subsistemas que compõem a máquina de reembalagem.

4.1 FLUXOGRAMA DE INFLUÊNCIAS

Primeiramente, é importante entender como os subsistemas da máquina de reembalagem estão relacionados e como eles influenciam uns aos outros. Assim, foi construído um fluxograma, apresentado na Figura 4.1, para evidenciar as variáveis iniciais do problema e de que forma os subsistemas são afetados.

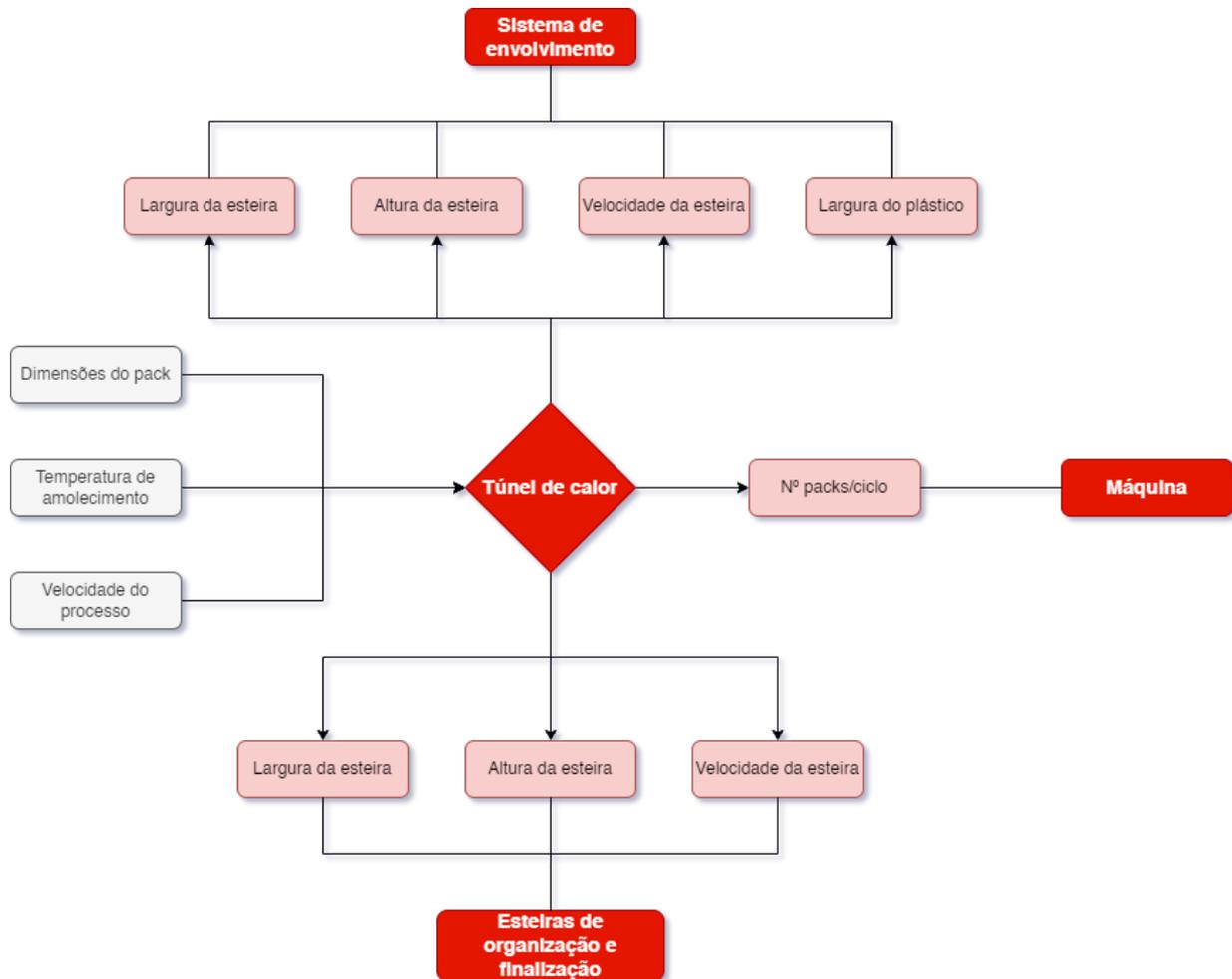


Figura 4.1: Fluxograma de influências.

Fonte: autoria própria.

Como mostrado no fluxograma, as variáveis iniciais do projeto (na cor cinza) são aquelas vinculadas ao produto a ser embalado, ao plástico e ao processo como um todo. Essas variáveis são fundamentais para a correta da seleção do túnel de calor. O túnel, por sua vez, irá determinar as dimensões das demais esteiras, bem como sua velocidade. Além disso, o túnel de calor, devido às suas restrições técnicas, definirá a quantidade de *packs* que suporta por vez.

4.2 PARÂMETROS DO PROJETO

No estágio atual do projeto, alguns parâmetros já são conhecidos, visto que são consequência das restrições impostas pelo contexto de aplicação, além de normas e especificações-meta definidas ao longo da etapa conceitual. A Tabela 4.1 apresenta alguns dos principais parâmetros já determinados até agora e quais símbolos estão atribuídos a cada um.

Tabela 4.1: Parâmetros já definidos para o projeto.

Segmento	Parâmetro	Símbolo	Valor
Projeto	Fator de Segurança	FS	1,5
Máquina	Largura máxima	w	2 m
	Altura máxima	h	0,8 m
	Comprimento Máximo	l	2,5 m
	Tempo do processo	t_p	1 min/ <i>pack</i>
	Nível de ruído	L_{max}	60 db
<i>Pack</i>	Largura	w_p	175 mm
	Altura	h_p	140 mm
	Comprimento	l_p	230 mm
	Massa	m_p	4,1 kg
	Carga por metro quadrado	M	101,86 $\frac{kg}{m^2}$
Plástico	Densidade	ρ	923 $\frac{kg}{m^3}$
	Espessura	e	0,05 mm
	Limite de resistência à tração	σ_T	12,9 MPa
	Tensão de escoamento	σ_e	11,7 MPa
	Módulo de elasticidade	E	0,244 MPa
	Temperatura de selagem	T_s	104 °C
	Ponto de fusão	T_f	113 °C
Ponto de amolecimento	T_a	94,7 °C	

4.3 METODOLOGIA DE PROJETO

A estrutura definida para esse projeto inclui cinco grandes etapas: contextualização do problema, fundamentação teórica, projeto conceitual, projeto intermediário e projeto de detalhamento, sendo que os dois últimos serão trabalhados futuramente. O projeto intermediário trata do dimensionamento e seleção das peças, determinando materiais, geometrias e montagem dos componentes, enquanto o projeto de detalhamento abrange a configuração do sistema, abordando

ajustes, tolerâncias, juntas, detalhes de fixação, entre outras particularidades.

Para o melhor andamento do trabalho, o projeto intermediário foi organizado de modo a reduzir as repetições de dimensionamento. Portanto, seu início se dará pelos sistemas independentes, como túnel de calor e envolvimento do plástico, até chegar em componentes que consideram outros, como as esteiras e a estrutura. Os detalhes de cada etapa são detalhados a seguir.

1. Seleção do túnel de calor:

- (a) levantamento de dados e restrições do projeto que irão determinar a seleção do túnel de calor;
- (b) seleção do túnel de calor;
- (c) projeto de adaptações necessárias ao equipamento.

2. Projeto do envolvimento do plástico:

- (a) definição das dimensões e características da haste;
- (b) dimensionamento e posicionamento dos tensionadores e rolos no sistema inferior;
- (c) projeto da estrutura do sistema inferior.

3. Projeto das esteiras:

- (a) definição das dimensões das esteiras de modo a adequar os componentes previamente projetados;
- (b) seleção dos materiais e dos componentes da esteira.

4. Projeto da estrutura:

- (a) desenho e dimensionamento da estrutura para suportar de maneira segura e compacta os sistemas já projetados.

5. Projeto de detalhamento:

- (a) definição de ajustes, tolerâncias, métodos de fabricação e elaboração de desenhos técnicos.

Entendido o fluxograma de influências e a metodologia adotada, é possível iniciar o dimensionamento da máquina, no qual serão utilizados os seguintes softwares:

- SolidWorks: software CAD para modelagem 3D da máquina;
- Ansys: software CAE para simulação estática de componentes;
- GNU/Octave, versão 7.1.0: elaboração de códigos de dimensionamento.

4.4 TÚNEL DE CALOR

Diferente dos demais sistemas da máquina, decidiu-se por selecionar um túnel de calor que atendesse às restrições do projeto e fosse capaz de encolher o plástico e formar o *pack* de refrigerante com segurança. Tal decisão se deu pela complexidade envolvida no projeto desse equipamento, além da redução de custo ao se comprar um modelo presente no mercado.

Para realizar a seleção, foram levantadas as principais restrições do projeto que afetam o túnel de calor. Em seguida, procurou-se por túneis de encolhimento e de calor em empresas do ramo que atendessem às especificações e, também, respeitasse o máximo possível a concepção definida conforme Capítulo 3. O equipamento escolhido foi do modelo TDEP 4020 A, da empresa Cetro [25], apresentado na Figura 4.2, enquanto a Figura 4.3 detalha o funcionamento interno do produto.

A partir das especificações na Tabela 4.2, pode-se perceber que o túnel escolhido atende ao projeto, sendo capaz de movimentar o *pack* em 5 segundos, rápido o suficiente para atender ao tempo estabelecido como ideal para o processo.

Tabela 4.2: Especificações do modelo de túnel de calor selecionado.

Modelo TDEP 4020 A	
Velocidade da esteira	0 – 10 <i>m/min</i>
Tamanho do túnel (C x L x A)	830 x 400 x 200 <i>mm</i>
Peso suportado pela esteira	5 <i>kg</i>
Espessura do filme	0,02 – 0,25 <i>mm</i>
Temperatura máxima	300 <i>°C</i>
Tamanho da máquina (C x L x A)	830 x 400 x 200 <i>mm</i>

Fonte: Cetro [25].



Figura 4.2: Túnel de calor selecionado.

Fonte: Cetro [25].

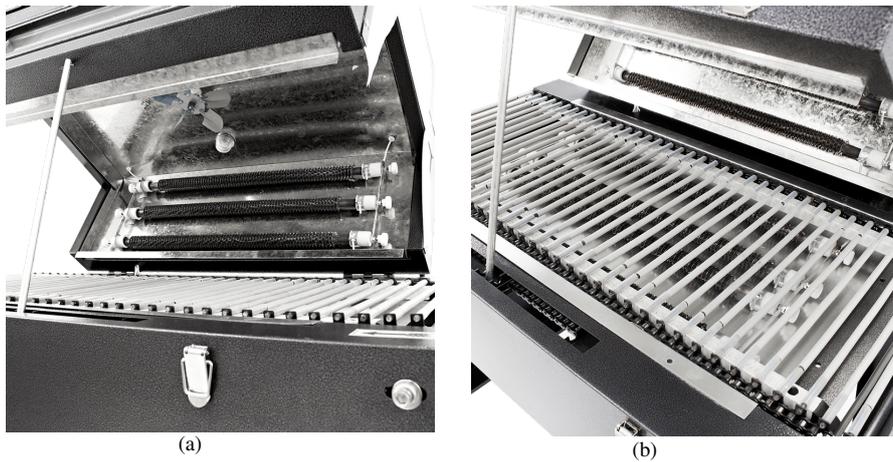


Figura 4.3: Detalhes do funcionamento do túnel de calor selecionado.

Fonte: Cetro [25].

4.4.1 Adaptações ao equipamento

Apesar de atender às restrições do projeto, podem ser feitas alterações no túnel de calor para garantir a segurança e eficiência da máquina. A primeira melhoria necessária é trocar os rodízios originais por rodízios com travas, evitando que a máquina sofra deslocamentos durante o funcionamento, o que prejudicaria o transporte correto do *pack*. Para selecionar o modelo adequado de rodízio, o primeiro passo é avaliar a carga atuante sobre a peça, conforme Equação 4.1:

$$C = \frac{PE + PMC}{N} \cdot S, \quad (4.1)$$

em que:

- C: carga por rodízio, em kg;
- PE: massa do equipamento, em kg;
- PMC: massa máxima da carga, em kg;
- N: número de rodízios;
- S: coeficiente de segurança.

A massa do equipamento é informada pela fornecedora Cetro como sendo 70 kg, enquanto a massa máxima da carga é a massa do *pack*, 4,1 kg. Para manter a configuração do túnel, serão utilizados 4 rodízios e o coeficiente de segurança é 1,5, conforme calculado na Seção 3.10. Dessa forma, tem-se a carga atuante em cada rodízio:

$$C = 27,787 \text{ kg} \quad (4.2)$$

Além de calcular a carga, é necessário avaliar outros fatores referentes à aplicação da máquina, como ambiente e piso. Neste caso, o equipamento atuará em temperatura ambiente e em piso reto, mas com poucas irregularidades. Considerando isso, selecionou-se o modelo GL 158 UP (Figura 4.4) da empresa Schioppa [26], capaz de movimentar 40 kg em qualquer tipo de piso. Além disso, possui proteção contra ação microbiana e estática, fundamental em um ambiente fabril e alimentício. Demais informações do rodízio selecionado são apresentados na Tabela 4.3.



Figura 4.4: Modelo de rodízio selecionado.

Fonte: Schioppa [26].

Tabela 4.3: Especificações do modelo de rodízio selecionado.

Modelo GL 158 UP	
Material	Poliuretano Termoplástico
Carga máxima	40 kg
Diâmetro	41 mm
Largura	17 mm
Altura	57 mm

Fonte: Schioppa [26].

4.5 SISTEMA DE ENVOLVIMENTO

O sistema de envolvimento é composto, basicamente, por dois componentes: o sistema inferior para direcionamento do plástico e a esteira superior. O sistema inferior inclui rolos tensionadores, motores elétricos, uma esteira e uma lâmina para corte do plástico, enquanto a esteira superior inclui a haste para envolver o plástico em torno do *pack*.

4.5.1 Esteira horizontal do envolvimento

O projeto do sistema de envolvimento foi iniciado pelo dimensionamento da esteira superior, seguindo o catálogo de produtos da Intralox [27]. Para isso, o primeiro passo é definir um tipo de

percurso dentre três possíveis: reto, radial ou espiral. Neste projeto, o melhor tipo é o reto, já que o deslocamento do produto é curto e o espaço disponível para a máquina é reduzido.

Em seguida, o material escolhido para compor a esteira foi o acetal, já que possui boa faixa de temperatura ($-46\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $93\text{ }^{\circ}\text{C}$), baixo coeficiente de atrito e baixo coeficiente de expansão térmica. Além disso, o cenário de funcionamento da esteira não é de aplicações especiais, não sendo necessário, então, selecionar um material para tal.

A terceira etapa consiste em selecionar o passo da esteira, além da superfície e do método de acionamento. De modo a garantir a segurança dos produtos e um comprimento menor de esteira, decidiu-se pelo passo de 12,7 mm (0,5 pol), que, por ser pequeno, reduz a ação poliédrica (elevação e queda de um módulo) sobre as engrenagens, impedindo o tombamento do produto. Dentro do catálogo da Intralox, a única esteira de acetal com passo de 12,7 mm é o modelo *Flush Grid, Series 1500*, cujas especificações são apresentadas na Tabela 4.4.



Figura 4.5: Modelo de esteira *Flush Grid, Series 1500* selecionado.

Fonte: Intralox [27].

Tabela 4.4: Especificações do modelo de esteira selecionado.

Flush Grid, Series 1500		
Passo	12,7 mm	p
Largura mínima	203 mm	B_{min}
Método de acionamento	Acionada na articulação	—
Resistência da esteira	357 kg/m	BS
Faixa de temperatura	$-46\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $93\text{ }^{\circ}\text{C}$	—
Massa da esteira	3,56 kg/m ²	W

Fonte: Intralox [27].

De modo a tornar a esteira compatível com o túnel de calor e comportar com segurança o plástico filme, a largura selecionada para a esteira é de 406 mm, o que implica em 5 engrenagens

em cada eixo da esteira. Além disso, com base no sistema de envolvimento utilizado na linha de produção da Brasal Refrigerantes, o comprimento entre-eixos da esteira será de 800 *mm*, suficiente para que a haste e o plástico filme envolvam o conjunto de latas. Com tais dados definidos, pode-se calcular se a esteira selecionada é adequada para a aplicação.

4.5.2 Verificação da esteira

O primeiro passo da verificação é calcular a carga de tensão da esteira, representado por BP na Equação 4.3:

$$BP = [(M + 2 \cdot W) \cdot F_w \cdot M_p] \cdot L + (M \cdot H), \quad (4.3)$$

em que:

- BP: carga de tensão da esteira, em kg/m;
- M: carga do produto, em kg/m²
- W: massa da esteira, em kg/m²;
- F_w : coeficiente de atrito entre a guia de desgaste e a esteira;
- M_p : carregamento devido ao acúmulo de produto na esteira;
- L: comprimento do transportador, em m;
- H: altura de elevação da esteira, em m.

A guia de desgaste (Group [28]) é um componente fundamental para suportar e guiar esteiras transportadoras, evitando o deslocamento da correia e reduzindo vibrações, que podem resultar no aumento da carga nos rolamentos e no motor. O material mais utilizado para fabricação das guias é o polietileno UHMW (ultra alto peso molecular), que fornece alto resistência ao desgaste e baixo coeficiente de atrito. Neste projeto, as guias serão de polietileno UHMW, cujo coeficiente de atrito cedido pela Intralox é de 0,10.

Além disso, os valores de M_p e H serão 0, já que apenas um conjunto de latas irá passar pela esteira por vez, não gerando acúmulo de produtos, e não há inclinação ao longo do trajeto. Por fim, substituindo os valores das variáveis calculadas anteriormente, tem-se que:

$$BP = 8,72 \frac{kg}{m}$$

Em seguida, é necessário ajustar a carga de tensão da esteira de acordo com as diversas situações as quais pode ser submetida. Para isso, calculou-se o fator de serviço (SF) a partir da

Tabela 4.5, que determina os valores a serem adicionados ao valor mínimo 1 de acordo com os cenários de aplicação da esteira.

Tabela 4.5: Valores para determinação do fator de serviço SF.

Situação	Adicional
Partidas frequentes sob carga	0,2
Velocidades superiores a 30 m/min	0,2
Transportadores com elevação	0,4
Transportadores empurradores	0,2

Fonte: Intralox [27].

No caso deste projeto, nenhuma das situações especificadas são aplicáveis à correia, resultando em um fator de serviço $SF = 1$. A tração ajustada (ABP) da esteira é, então:

$$ABP = BP \cdot SF \rightarrow ABP = 8,72 \frac{kg}{m} \quad (4.4)$$

A terceira etapa consiste em calcular a resistência admissível ABS da esteira, que pode ser inferior à resistência nominal da esteira devido às condições operacionais. A Equação 4.5 mostra que a resistência admissível depende da temperatura na qual ocorre o processo e também do desgaste devido à velocidade, comprimento e engrenagens associadas ao transportador.

$$ABS = BS \cdot T \cdot S, \quad (4.5)$$

em que:

- ABS: resistência admissível da esteira, em kg/m;
- BS: resistência da esteira, em kg/m;
- T: fator de temperatura;
- S: fator de resistência.

Na maioria dos casos, a esteira tem sua resistência reduzida conforme a temperatura de operação aumenta, apesar de se tornar mais suscetível ao impacto; no entanto, ela se torna mais quebradiça em temperaturas frias, já que sua rigidez aumenta. A Intralox fornece um gráfico (Figura 4.6) que auxilia a determinar o fator de temperatura T de uma esteira conforme material selecionado.

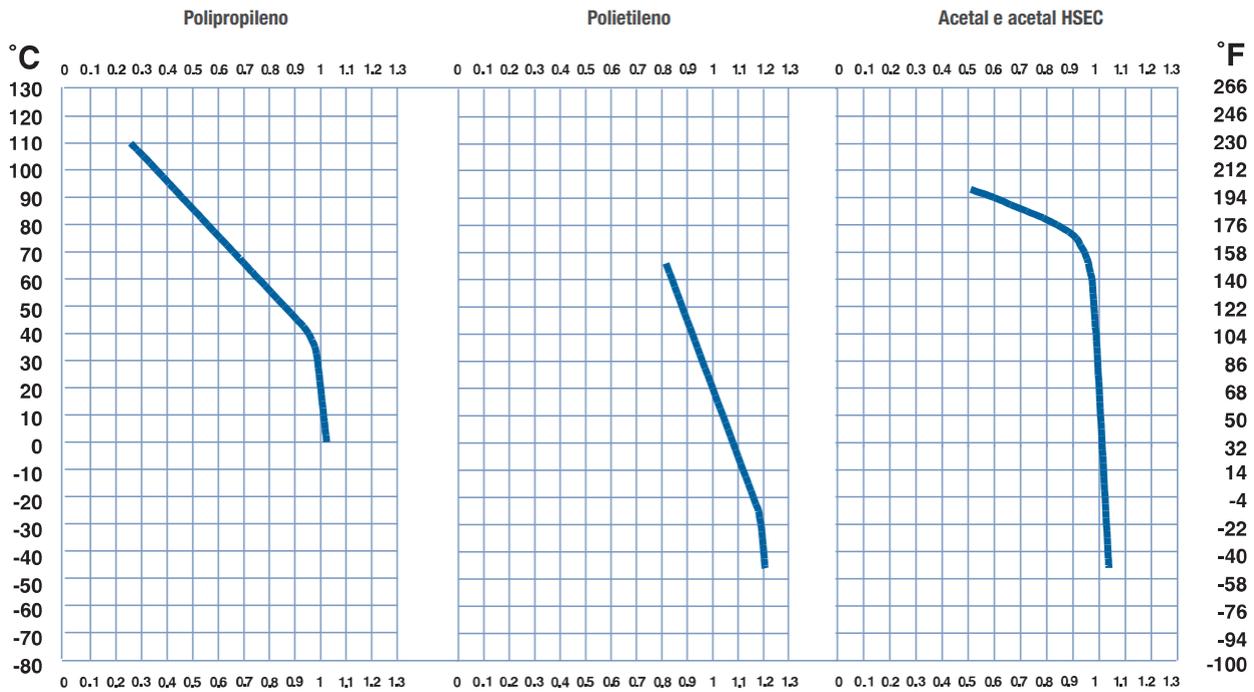


Figura 4.6: Gráfico para determinação do fator de temperatura.

Fonte: Intralox [27].

Pelo gráfico, determina-se que para uma esteira de acetal operando na temperatura ambiente, o fator de temperatura T é 1,0. Por outro lado, tem-se que o fator de resistência ajusta a resistência da esteira para compensar o desgaste causado pela combinação de velocidade elevada, comprimentos curtos do transportador e tamanhos pequenos de engrenagem. Para se obter o fator de resistência, é preciso determinar a razão velocidade/comprimento (V/L) ao se dividir a velocidade da esteira (5 m/min) pelo comprimento entre-eixos (0,8 m):

$$\frac{V}{L} = \frac{5}{0,8} = 6,25$$

O fator de resistência é determinado a partir da intersecção, no gráfico da Figura 4.7, da razão V/L com o número de dentes das engrenagens. Neste caso, as engrenagens terão 14 dentes, tal decisão será abordada posteriormente na Subsubseção 4.5.2.1. Dessa forma, o fator de resistência S é 0,8. Substituindo os valores encontrados na Equação 4.5, tem-se que:

$$ABS = 285,60 \frac{kg}{m}$$

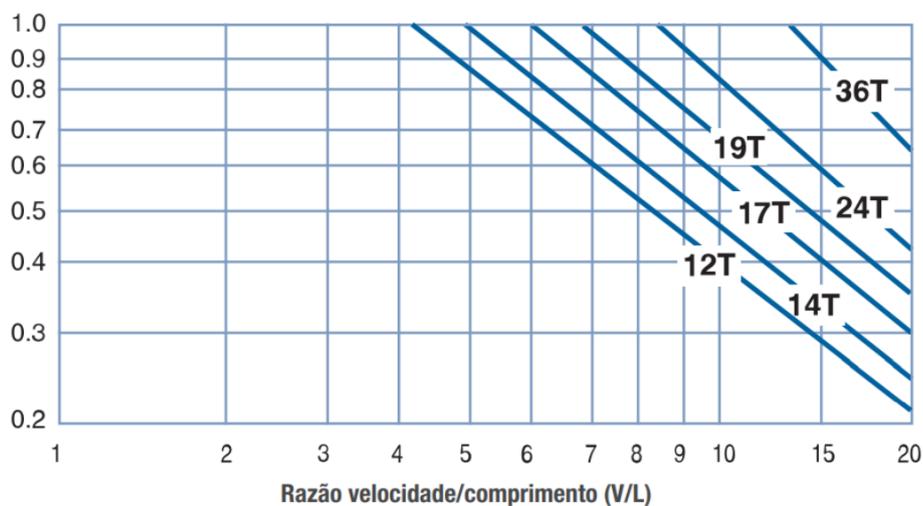


Figura 4.7: Gráfico para determinação do fator de resistência.

Fonte: Intralox [27].

Como a tração ajustada ABP é inferior à resistência admissível ABS, a esteira selecionada é adequada para a aplicação em questão, sendo possível determinar especificações das engrenagens e do acionamento.

4.5.2.1 Acionamento

A primeira etapa para determinar as especificações do acionamento da esteira é calcular a porcentagem da resistência admissível utilizada (ABSU), que é uma relação entre a resistência admissível ABS e a tração ajustada ABP, conforme Equação 4.6:

$$ABSU = \frac{ABP}{ABS} \cdot 100\% \rightarrow ABSU = 3,05\% \quad (4.6)$$

O espaçamento entre as engrenagens, que, nas esteiras da Série 1500, não pode ser superior a 152 mm (6 pol), é definido ao se localizar a porcentagem ABSU no gráfico da Figura 4.8. Ao analisar a figura a partir da porcentagem calculada, tem-se que o espaçamento entre as engrenagens é de 102 mm (4 pol), abaixo do valor máximo permitido.

Então, será utilizada a engrenagem de 14 dentes, que garante ação poliédrica satisfatória de 2,51%. As especificações da engrenagem selecionada são apresentadas na Tabela 4.6. O material escolhido para compor as engrenagens foi o acetal, assim como na esteira, por apresentar boas propriedades mecânicas, térmicas e químicas, além de ser mais resistente que o polipropileno e o poliuretano.

Tabela 4.6: Especificações da engrenagem selecionada para a esteira horizontal de envolvimento.

Tipo da engrenagem	Moldada
Material	Acetal
Número de dentes	14
Ação poliédrica	2,51%
Passo diametral	58 mm
Largura nominal externa	61 mm
Largura do cubo	19 mm
Furo	∅ 25,4 mm

Fonte: Intralox [27].

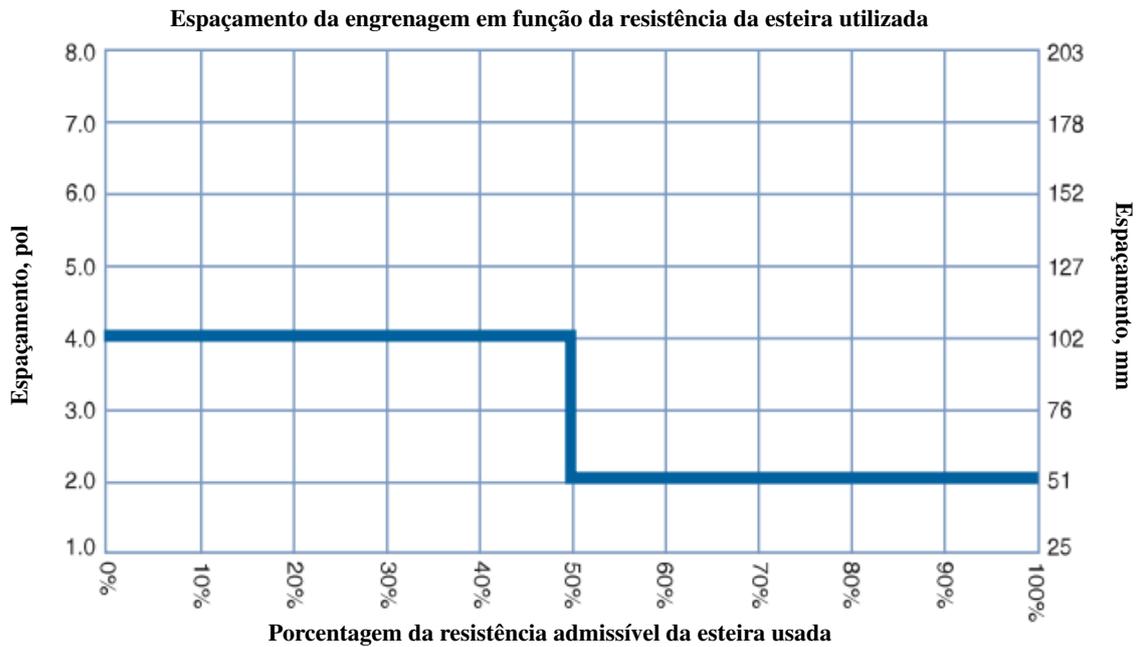


Figura 4.8: Gráfico para determinação do espaçamento entre as engrenagens.

Fonte: adaptado de Intralox [27].

O próximo passo é conferir se o eixo motriz da esteira resiste às deformações e deflexões decorrentes da tração da esteira, além de ser capaz de transmitir o torque do motor. Para selecionar adequadamente o eixo, é preciso determinar a deflexão e o torque do eixo motriz.

Primeiramente, a carga total w no eixo é calculada por:

$$w = (ABP + Q) \cdot B; \quad (4.7)$$

em que:

- Q : massa do eixo, em kg/m;
- B : largura da esteira, em m ;

Considerando o diâmetro d_e do eixo como 25,4 mm, condizente com o furo da engrenagem, e a massa específica do aço inoxidável 304, pelo MatWeb, é de 8.000 kg/m^3 , tem-se que, para 1 metro, a massa do eixo é de 3,99 kg/m. Substituindo esse valor na Equação 4.7, além da largura de 0,406 m e a tração ajustada ABP, a carga total no eixo é:

$$w = 5,16 \text{ kg}$$

Para eixos apoiados em dois mancais, como é o caso deste projeto, a deflexão y é calculada pela Eq. (4.8):

$$y = \frac{5}{384} \cdot \frac{w \cdot L_s^4}{E \cdot I}, \quad (4.8)$$

onde:

- L_s : comprimento do eixo, em mm;
- E: módulo de elasticidade, em kg/mm^2 ;
- I: momento de inércia, em mm^4 .

De modo a abarcar os mancais, o comprimento do eixo será de 490 mm, enquanto o módulo de elasticidade do aço, pela Intralox, é de 19.700 kg/mm^2 . O momento de inércia do eixo, que possui seção circular, é:

$$I = \frac{\pi \cdot d_e^4}{64} \rightarrow I = 19.174,76 \text{ mm}^4 \quad (4.9)$$

Substituindo na Eq. (4.8):

$$y = 0,02 \text{ mm}$$

A deflexão máxima recomendada, segundo as diretrizes da Intralox [27], para transportadores comum é de 2,5 mm. Como a deflexão y calculada para o eixo da esteira é menor que a recomendada, pode-se prosseguir para o cálculo do torque requerido, dado por:

$$T_0 = ABP \cdot B \cdot \frac{PD}{2}, \quad (4.10)$$

sendo PD o passo diametral de 0,058 m da engrenagem. O torque requerido no eixo é, então:

$$T_0 = 0,10 \text{ kg.m}$$

A potência necessária para acionar a esteira é dada por:

$$HP = \frac{ABP \cdot B \cdot V}{6,12}, \quad (4.11)$$

sendo V a velocidade linear da esteira de 5 m/min. Convertendo os valores obtidos, tem-se:

- $ABP = 8,72 \text{ kg/m} = 5,86 \text{ lb/ft}$;
- $B = 0,406 \text{ m} = 1,33 \text{ ft}$;
- $V = 5 \text{ m/min} = 16,40 \text{ ft/min}$.

Assim, a potência necessária é de 20,92 W. Além disso, a rotação do eixo, a partir da velocidade da esteira e do passo diametral das engrenagens, é de 27,44 rpm. A Figura 4.9 apresenta a modelagem final da esteira de envolvimento projetada.

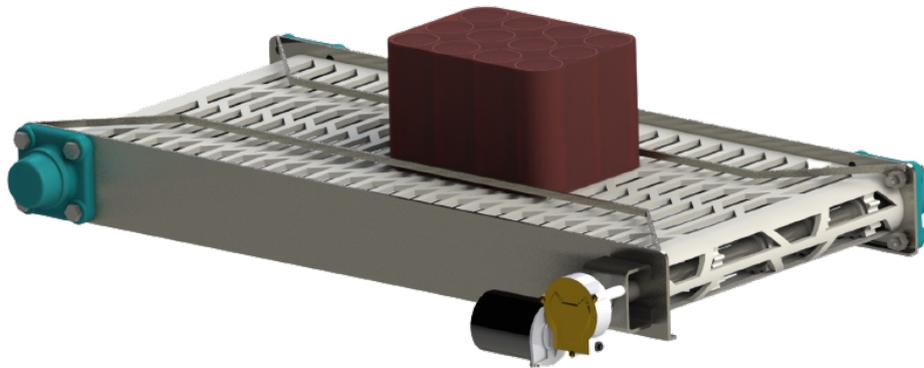


Figura 4.9: Modelagem da esteira de envolvimento.

Fonte: autoria própria.

4.5.2.2 Haste de envolvimento

Baseado no equipamento utilizado na linha de produção da Brasal Refrigerantes, o sistema de envolvimento possui uma haste realizando um movimento cíclico para posicionar o plástico em volta do grupo de latas, formando assim o pacote que entrará no túnel de encolhimento.

A haste é movimentada por meio de duas correntes de aço, que por sua vez são acionadas por meio de rodas dentadas. Para fixar a haste na corrente foi projetada uma peça que encaixa nos elos, substituindo os pinos e fechando a corrente. A Figura 4.10 traz o sistema completo elaborado, enquanto a Figura 4.11 apresenta a peça utilizada para unir a haste à corrente.



Figura 4.10: Modelagem do sistema de envolvimento elaborado para a máquina.

Fonte: autoria própria.



Figura 4.11: Bucha projetada para conectar a haste à corrente.

Fonte: autoria própria.

Para dimensionar o sistema, foi necessário inicialmente definir a velocidade da haste, que deve percorrer 2,4 m no mesmo período em que o pacote de latas percorre a extensão de 0,8 m da esteira. Como a velocidade linear definida para o *pack* é de 5 m/min, ou 0,08 m/s, a haste deve se movimentar a 0,24 m/s.

Sabe-se que a velocidade linear em função do diâmetro da roda dentada e da velocidade angular é dada pela Eq. (4.12):

$$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot \omega}{60}, \quad (4.12)$$

em que r é o raio da roda dentada e ω a velocidade angular. Considerando o passo diametral da roda dentada como sendo 0,058 m e a velocidade linear como 0,24 m/s, tem-se que a velocidade angular é:

$$\omega = \frac{v \cdot 60}{2 \cdot \pi r} \rightarrow \omega = 79,03 \text{ rpm}$$

4.5.3 Sistema inferior

O sistema inferior faz parte do processo de envolvimento do *pack* de latas com o plástico, pois direciona e traciona o material até que este alcance a esteira horizontal e a haste. Seus componentes, conforme foi apresentado na Seção 3.11, são a esteira inclinada, os rolos tensionadores, os motores e a lâmina de corte.

4.5.3.1 Esteira

Seguindo o processo apresentado na Subseção 4.5.1, foi selecionada a esteira inclinada responsável por direcionar o plástico filme até a esteira superior. Os parâmetros considerados são semelhantes, com diferença apenas na elevação, que neste caso é de 0,17 m, e na carga de produto.

Diferentemente da esteira horizontal, a esteira inclinada deve apenas conduzir o plástico, que tem massa muito inferior ao *pack* de latas. A carga considerada, então, é de $0,1 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2$, valor que será detalhado na Subsubseção 4.5.3.3.

Assim, para o cálculo da tensão ajustada da esteira, tem-se:

Tabela 4.7: Valores para o cálculo de tensão da esteira.

Símbolo	Descrição	Valor
-	Modelo da esteira	<i>Flush Grid, Series 1500</i>
-	Material da esteira	Acetal
L	Comprimento da esteira	0,40 m
H	Alteração de elevação	0,17 m
F_w	Coefficiente de atrito entre a guia de desgaste e a esteira	0,10
M	Carga de produto	$0,1 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2$
W	Peso da esteira	3,56
BP	Carga de tensão da esteira	0,28 kg/m
SF	Fator de serviço	1
ABP	Tensão ajustada da esteira	0,28 kg/m

Fonte: autoria própria.

A velocidade linear da esteira inclinada deve ser a mesma da horizontal, de modo a garantir que não ocorra acúmulo ou falta de plástico no sistema de direcionamento. No entanto, o comprimento da esteira em questão é menor, de 0,4 m, o que resulta na razão V/L reduzida e, conseqüentemente, em um fator de resistência S menor de 0,4, determinado pelo gráfico na Figura 4.7. O resultado da resistência admissível é apresentado na tabela a seguir:

Tabela 4.8: Cálculo da resistência admissível da esteira.

Símbolo	Descrição	Valor
T	Fator de temperatura	1
S	Fator de resistência	0,4
BS	Resistência da esteira	357 kg/m
ABS	Resistência admissível da esteira	142,80 kg/m

Fonte: autoria própria.

Como a resistência admissível ABS é maior que a tensão ajustada da esteira ABP, conclui-se que a seleção é adequada.

4.5.3.2 Acionamento

Iniciando a definição do acionamento da esteira, a porcentagem utilizada da resistência admissível, calculada pela Eq. (4.6) a partir da tensão ABP e da resistência ABS, é de 0,20%, o que resulta em um espaçamento entre as engrenagens de 102 mm, conforme Figura 4.8. A próxima etapa é confirmar que o eixo motriz é adequado para a aplicação e os resultados, seguindo o processo da esteira horizontal, são mostrados na tabela a seguir:

Tabela 4.9: Valores encontrados para o eixo motriz.

Símbolo	Descrição	Valor
d	Diâmetro do eixo	0,025 mm
ρ	Massa específica do aço	7870 kg/m ³
Q	Massa do eixo	3,86 kg/m
B	Largura da esteira	0,406 m
D	Deflexão no eixo	0,00 mm
L_s	Comprimento do eixo	420 mm
E	Módulo de elasticidade	19700 kg/mm ²
I	Momento de inércia	19174,76 mm ⁴
T_0	Torque a ser transmitido	0,0034 kg.m
HP	Potência de acionamento	0,68 W

Fonte: autoria própria.

4.5.3.3 Sistema de corte

Para realizar a separação do plástico, foi necessário desenvolver um sistema que possibilitasse o avanço rápido e forte da lâmina responsável pelo corte e depois o seu retorno. O sistema pensado consiste em uma mola, responsável por avançar a lâmina, e dois atuadores elétricos, que irão recolher a lâmina e comprimir a mola, possibilitando um novo ciclo. Os atuadores elétricos possuem baixa velocidade de deslocamento, conforme destacado na Subseção 2.1.2, o que não é um problema nesta situação, já que o retorno da lâmina não precisa ser feito rapidamente.

A Figura 4.12 traz a modelagem volumétrica elaborada para o sistema de corte:

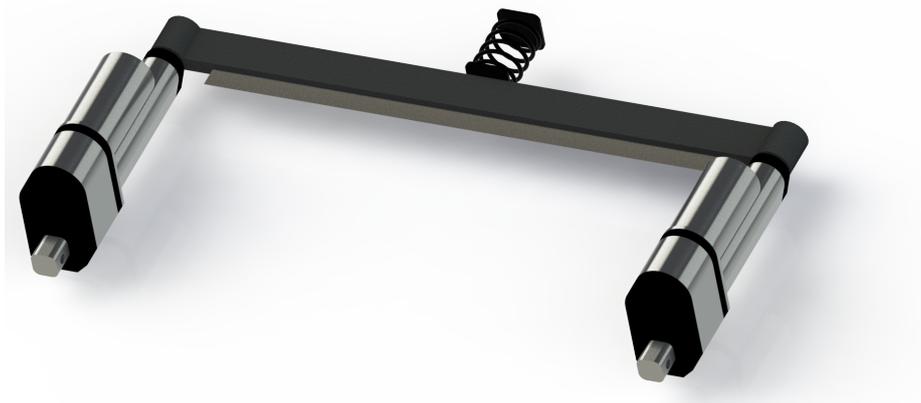


Figura 4.12: Modelagem do sistema de corte desenvolvido para separação do plástico.

Fonte: autoria própria.

O atuador selecionado é compacto e para cargas leves, do modelo KTC-D24-100 da empresa Kalatec, representado pela modelagem da Figura 4.13. Sua capacidade máxima de carga é de 100 N e o curso é de 50 mm. Na Tabela 4.10 são apresentadas as especificações do atuador.

Tabela 4.10: Especificações do atuador elétrico selecionado para o sistema de corte.

Atuador KTC-D24-100	
Carga máxima	100 N
Curso	50 mm
Tipo de motor	DC sem escovas
<i>Duty cycle</i>	25%
Tensão de alimentação	12V ou 24 V
Vida útil	50.000 ciclos
Material	Alumínio 6062

Fonte: Kalatec [9].

Duty cycle, ou ciclo de trabalho refere-se à fração de tempo em que o equipamento fica ativo. Neste caso, a cada ciclo o atuador deve passar 25% do tempo em funcionamento e 75% em repouso.



Figura 4.13: Modelagem volumétrica do atuador selecionado.

Fonte: autoria própria.

A mola de compressão foi dimensionada seguindo o procedimento do Shigley [30] e o código criado no software GNU/Octave, versão 7.1.0 pode ser encontrado no Apêndice. Para realizar o dimensionamento, foram fixados os seguintes parâmetros:

- material da mola: fio musical A228;
- módulo de cisalhamento do material (G): 81,0 GPa;
- custo relativo do material: 2,6;
- extremidades: simples e retificadas;
- constante de condição de extremidade (α_0): 0,5;
- fator de segurança (n): 1,5;
- declividade (m): 0,145;
- intersecção (A): 2211 MPa · mm²;
- linearidade (ξ): 0,15;
- força máxima (F_{max}): 100 N;
- compressão máxima (y_{max}): 50 mm;
- comprimento livre (L_s): 75 mm.

O fio musical foi escolhido por ser o melhor e mais utilizado material para molas pequenas, possuindo boa resistência de tração e podendo aguentar tensões mais elevadas sobre carregamento repetido do que outros materiais. A força máxima de 100 N é referente à carga máxima aplicada pelo atuador elétrico selecionado, enquanto o comprimento livre foi fixado para possibilitar o

cálculo do passo da mola. A Figura 4.14 apresenta o processo seguido para o dimensionamento da mola.

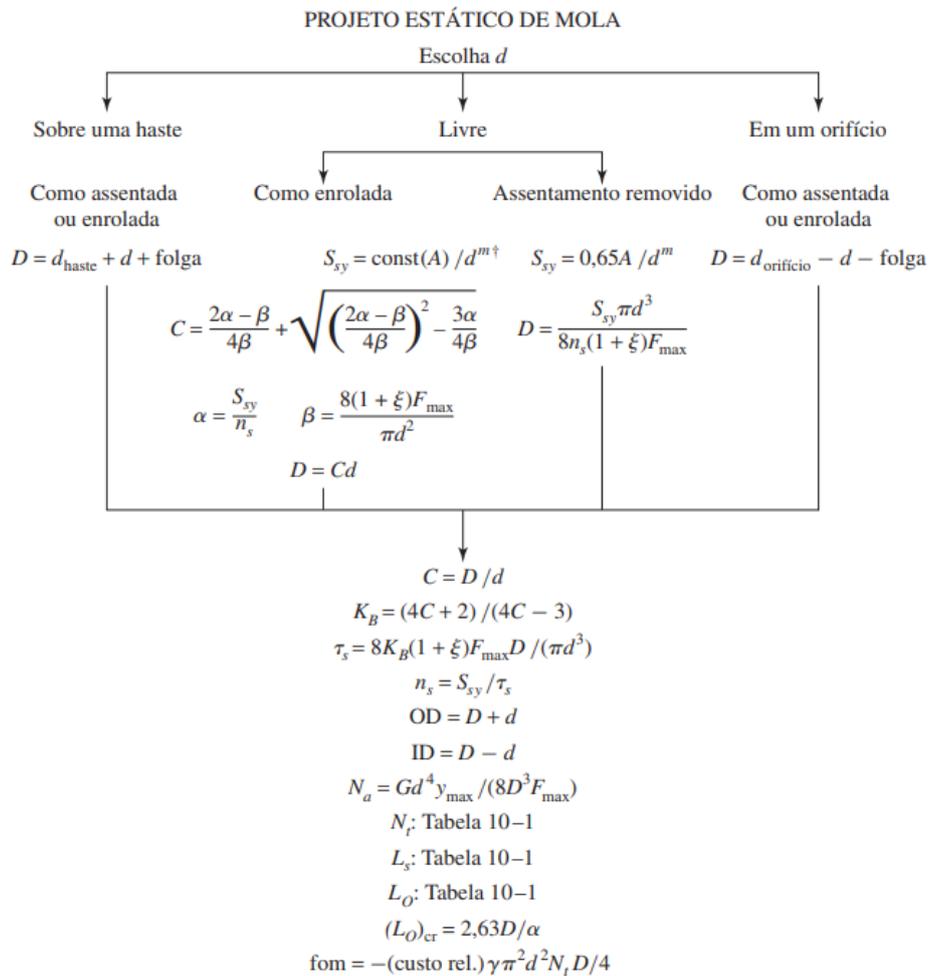


Figura 4.14: Procedimento utilizado para projeto da mola de compressão do sistema de corte.

Fonte: Budynas e Nisbeth [30].

O diâmetro do fio foi variado de 2,0 a 3,0 mm, de modo a selecionar aquele que melhor atendesse as restrições do projeto de molas. O resultado das principais variáveis para cada diâmetro é apresentado na Figura 4.15.

d	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3
C	6,79	7,58	8,41	9,26	10,14	11,05	12,00	12,97	13,97	15,01	16,07
D	13,58	15,92	18,49	21,30	24,34	27,64	31,19	35,02	39,13	43,52	48,22
OD	15,58	18,02	20,69	23,60	26,74	30,14	33,79	37,72	41,93	46,42	51,22
Na	32,37	24,38	18,75	14,67	11,65	9,37	7,62	6,26	5,19	4,34	3,66
Ls	66,73	53,31	43,45	36,04	30,36	25,93	22,42	19,61	17,35	15,50	13,98
LO	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00
Lcr	71,63	84,01	97,57	112,35	128,41	145,80	164,57	184,77	206,44	229,63	254,39
ns	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
fom	11.624,00	11.436,00	11.341,00	11.325,00	11.376,00	11.490,00	11.664,00	11.897,00	12.191,00	12.546,00	12.968,00

Figura 4.15: Resumo das especificações da mola em função do diâmetro.

Fonte: autoria própria.

Em cinza estão destacados os parâmetros que extrapolam as restrições e eliminam a possibilidade de aplicar o diâmetro relacionado. As seguintes restrições foram utilizadas para definir o diâmetro mais apropriado:

- índice de mola (C) entre 4 e 12;
- número de espiras ativas (N_a) entre 3 e 15;
- comprimento sólido (L_s) menor ou igual a 25,4 mm (1 pol);
- comprimento livre (L_0) menor ou igual a 101,6 mm (4 pol);
- pelo critério de flambagem, o comprimento crítico (L_{cr}) deve ser maior que o comprimento que o comprimento livre (L_0).

Assim, tem-se que o único diâmetro adequado para o fio da mola, considerando carga estática, é de 2,6 mm. Agora, é necessário verificar se a mola determinada é satisfatória para o caso de fadiga, que deve ser considerado já que a mola será comprimida pelo atuador e depois estender para cortar o plástico, ciclo esse que se repetirá diversas vezes.

Também seguindo o procedimento do Shigley, verificou-se se a mola selecionada atende aos critérios de Gerber, Sines e Goodman. Para isso, variou-se a pré-carga aplicada na mola até que todos os critérios apresentassem fator de segurança de 1,5, conforme determinado para o projeto. Além disso, considerou-se também se a mola possuía jateamento ou não, já que este aumenta significativamente a endurencia.

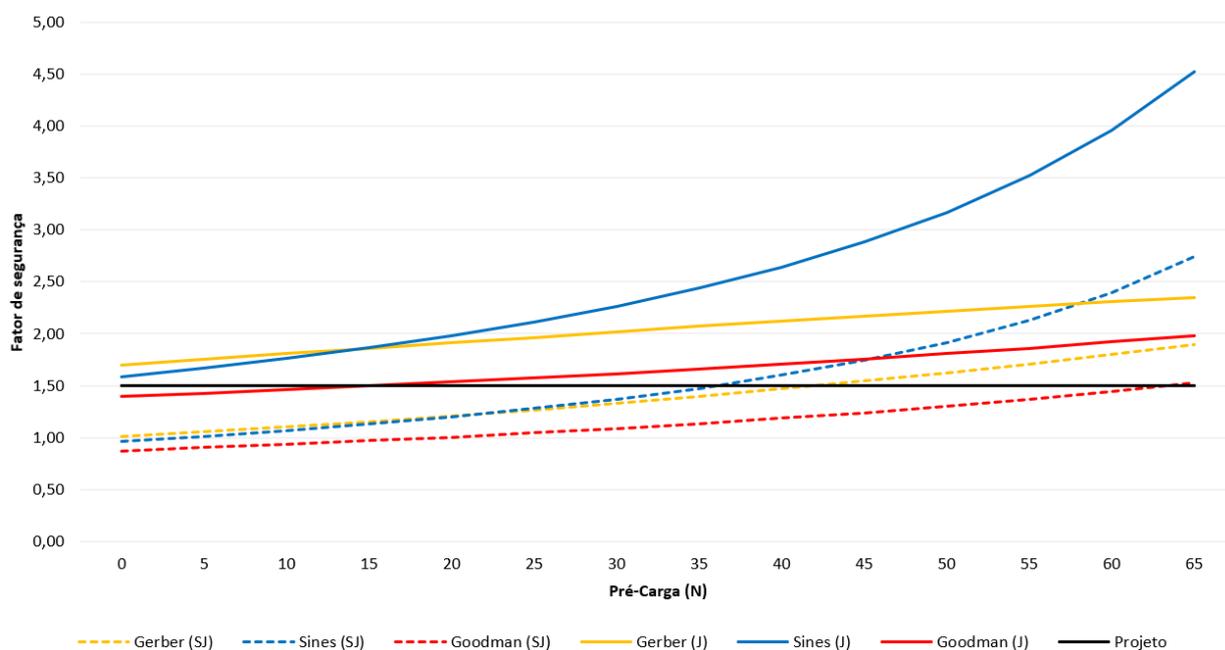


Figura 4.16: Fatores de segurança alcançados para cada critério de fadiga, com e sem jateamento.

Fonte: autoria própria.

Na Figura 4.16, as linhas tracejadas referem-se à mola sem jateamento (SJ), enquanto as linhas contínuas referem-se à mola com jateamento (J). Ainda, a linha preta é uma linha referência, representando o fator de segurança definido para o projeto. Pelos resultados, percebe-se que o critério de Goodman é o mais conservativo e, no caso da mola sem jateamento, só intersecta a linha de referência, ultrapassando, então, o valor de 1,50, para a pré-carga de 65 N, que é muito próxima da carga máxima na mola de 100 N. Já para a mola com jateamento, o valor desejado para o fator de segurança é alcançado para uma pré-carga de 15 N. Dessa forma, decidiu-se por definir o jateamento com granalhas como acabamento para a mola. A Figura 4.17 apresenta a modelagem para o sistema inferior projetado.



Figura 4.17: Modelagem do sistema inferior projetado.

Fonte: autoria própria.

4.6 ESTEIRAS DE ORGANIZAÇÃO E FINALIZAÇÃO

As esteiras de organização e finalização são, respectivamente, o primeiro e último estágio da máquina. Na primeira, o operador posiciona manualmente as latas de modo a formar o grupo de unidades que será envolvido pelo plástico, enquanto a última recebe o *pack* resultante das operações do sistema de envolvimento e do túnel de calor. Os dois sistemas são exatamente iguais, por isso decidiu-se por destinar apenas uma seção para o seu dimensionamento.

4.6.1 Esteira

Assim como na seleção da esteira inclinada do sistema inferior, o método de dimensionamento das esteiras de organização e finalização é o mesmo da esteira horizontal do envolvimento. A única diferença, no entanto, entre as três esteiras horizontais é o comprimento, já que a peça do envolvimento possui 800 mm de comprimento, enquanto as demais possuem apenas 400 mm. Sendo assim, os resultados encontrados para a esteira são apresentados na Tabela 4.11.

Tabela 4.11: Valores para o cálculo de tensão da esteira.

Símbolo	Descrição	Valor
-	Modelo da esteira	<i>Flush Grid, Series 1500</i>
-	Material da esteira	Acetal
L	Comprimento da esteira	0,40 m
H	Alteração de elevação	0 m
F_w	Coefficiente de atrito entre a guia de desgaste e a esteira	0,10
M	Carga de produto	101,86 kg/m ²
W	Peso da esteira	3,56
BP	Carga de tensão da esteira	4,36 kg/m
SF	Fator de serviço	1
ABP	Tensão ajustada da esteira	4,36 kg/m
T	Fator de temperatura	1
S	Fator de resistência	0,8
BS	Resistência da esteira	357 kg/m
ABS	Resistência admissível da esteira	142,80 kg/m

Fonte: autoria própria.

Como a tensão ajustada ABP é inferior à resistência admissível ABS, tem-se que o modelo selecionado é adequado.

4.6.2 Acionamento

Também seguindo o processo das esteiras anteriores, a porcentagem utilizada ABSU da resistência admissível é de 1,53%, resultando em um espaçamento entre as engrenagens de 102 mm. Aplicando o procedimento para confirmar que o eixo motriz é adequado, tem-se que os resultados são mostrados na Tabela 4.12.

Tabela 4.12: Valores encontrados para o eixo motriz das esteiras de organização e finalização.

Símbolo	Descrição	Valor
d	Diâmetro do eixo	0,025 mm
ρ	Massa específica do aço	7870 kg/m ³
Q	Massa do eixo	3,86 kg/m
B	Largura da esteira	0,406 m
D	Deflexão no eixo	0,01 mm
L_s	Comprimento do eixo	420 mm
E	Módulo de elasticidade	19700 kg/mm ²
I	Momento de inércia	19174,76 mm ⁴
T_0	Torque a ser transmitido	0,05 kg.m
HP	Potência de acionamento	10,46 W

Fonte: autoria própria.

A Figura 4.18 apresenta a modelagem da esteira projetada para as etapas de organização e finalização.

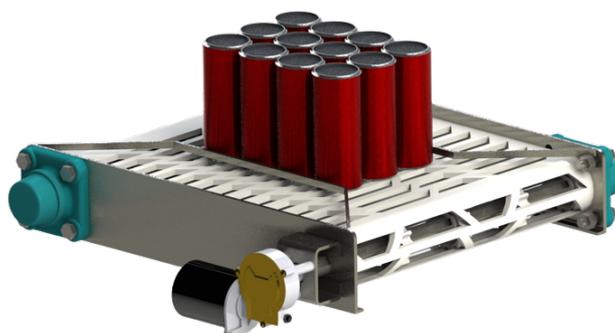


Figura 4.18: Modelagem das esteiras de finalização e organização projetadas.

4.7 SELEÇÃO DE MOTORES E MANCAIS

4.7.1 Esteiras

Para movimentar as esteiras, foi selecionado um motor que atendesse a rotação calculada na Subsubseção 4.5.2.1. o modelo escolhido foi o motorreductor 10.04.001 de 12 V da empresa Imobras [31], apresentado na Figura 4.19. Suas principais informações estão identificadas na Tabela 4.13, enquanto especificações mais detalhadas foram exibidas nos anexos.



Figura 4.19: Motoreductor selecionado para movimentação das esteiras.

Fonte: Imobras [31].

Tabela 4.13: Especificações do motoreductor selecionado.

Modelo Imobras 10.04.001 12V	
Tensão nominal	13 V
Potência nominal	28 W
Rotação nominal	29 rpm
Corrente nominal	4 A
Torque nominal	6 N.m

Fonte: Imobras [31].

Para apoiar os eixos das esteiras, procurou-se, no catálogo da SKF [32], por mancais adequados para o eixo de 25 mm das esteiras. Neste caso, decidiu-se por focar em unidades de

rolamentos de esferas, por serem mais versáteis e econômicas, do modelo flangeado, que favorece a fixação dos componentes diretamente na estrutura de sustentação da máquina. Além disso, devido a aplicação não exigir condições extremas de funcionamento, não foi necessário selecionar nenhum tipo de mancal especial.

O modelo selecionado foi o F4BC 25M-CPSS-DFH que, por ser constituído de um material composto para a *SKF Food Line*, é adequado para máquinas envolvendo comidas e bebidas. A Tabela 4.14 traz informações acerca do modelo de mancal determinado, enquanto a Figura 4.20 apresenta o componente.

Tabela 4.14: Principais especificações do modelo de mancal selecionado.

Mancal F4BC 25M-CPSS-DFH	
Fornecedor	SKF
Caixa de mancal	F4BC 505
Rolamento	YAS 205-2LP1W/SS
Diâmetro do furo	25 mm
Carga dinâmica básica	11,9 kN
Carga estática básica	7,8 kN
Limite de carga de fadiga	0,335 kN
Velocidade limite	700 rpm

Fonte: SKF [32].



Figura 4.20: Mancal F4BC 25M-CPSS-DFH selecionado para apoiar os eixos das esteiras.

Fonte: SKF [32].

4.7.2 Haste de envolvimento

Para selecionar o motor da haste de envolvimento, o principal fator foi a velocidade do componente. Conforme determinado na Subsubseção 4.5.2.2 e para evitar peças e complexidade de fabricação e montagem, a rotação do motor precisa ser de 80 rpm. Assim, foi selecionado o motor 25GA310, da empresa Robobuilders, com redução embutida no motor.

Tabela 4.15: Principais especificações do motor selecionado para a haste de envolvimento.

Motor 25GA310	
Rotação na saída	80 rpm
Tensão nominal	12 V
Corrente sem carga	0,14 A
Torque nominal	0,33 kgf.cm

Fonte: Robobuilders.



Figura 4.21: Motor 25GA310 da Robobuilders, selecionado para o sistema de envolvimento.

Fonte: Robobuilders.

O mancal selecionado para as rodas dentadas da haste de envolvimento foi o F4B 008-RM, da SKF, para um eixo de 12,7 mm. Demais especificações são apresentadas na Tabela 4.16, assim como o modelo na Figura 4.22.

Tabela 4.16: Especificações do mancal selecionado para apoiar os eixos da haste de envolvimento.

Mancal F4B 008-RM	
Fornecedor	SKF
Caixa de mancal	F4B 503
Rolamento	YAT 203-008
Diâmetro do furo	12,7 mm
Carga dinâmica básica	9,56 kN
Carga estática básica	4,75 kN
Limite de carga de fadiga	0,2 kN
Velocidade limite	9.500 rpm

Fonte: SKF [32].



Figura 4.22: Mancal F4B 008-RM selecionado para o sistema da haste de envolvimento.

Fonte: SKF [32].

4.7.3 Tensionadores

Para suportar os rolos tensionadores do filme plástico foi selecionado um mancal do estilo caixa de mancal, no modelo P2B 100-FM da SKF [32]. Preferiu-se esse estilo por facilitar a fixação na estrutura de sustentação. A Tabela 4.17 apresenta as principais informações do mancal escolhido, enquanto a Figura 4.23 mostra o componente.

Tabela 4.17: Especificações do mancal selecionado para apoiar os eixos dos rolos tensionadores.

P2B 100-FM	
Fornecedor	SKF
Caixa de mancal	P2B 505
Rolamento	YET 205-100
Diâmetro do furo	25,4 mm
Carga dinâmica básica	14 kN
Carga estática básica	7,8 kN
Limite de carga de fadiga	0,355 kN
Velocidade limite	7.000 rpm

Fonte: SKF [32].



Figura 4.23: Mancal selecionado como apoio dos rolos tensionadores.

Fonte: SKF [32].

4.8 ESTRUTURA DE SUSTENTAÇÃO

Após definidos todos os componentes necessários para o funcionamento da máquina, foi desenhada a estrutura responsável por comportar de maneira compacta e útil todos os sistemas. Preferiu-se por projetar uma estrutura para cada sistema, transformando a máquina em um produto modular e facilitando a movimentação do equipamento quando necessário.

As estruturas foram modeladas em tubos de aço ASTM A36, cujas propriedades são apresentadas na Tabela 4.18, com dimensões de 20x20mm e 2 mm de espessura, e de modo a sustentar todas as esteiras e o sistema da haste de envolvimento. Em seguida, foram feitas simulações de estática estrutural no software Ansys para verificar as estruturas, respeitando o fator de segurança calculado para o projeto. Em todos os casos, por serem semelhantes, foi aplicada a malha gerada por método tetraedro e elementos de 10 mm.

Tabela 4.18: Propriedades do aço ASTM A36.

Massa específica	7.850 kg/m ³
Módulo de elasticidade	200 GPa
Coefficiente de Poisson	0,26
Tensão de escoamento	250 MPa
Limite de resistência à tração	480 MPa

Fonte: MatWeb [29].

4.8.1 Esteira de organização

Devido ao posicionamento do sistema inferior, o suporte da esteira de organização deve, também, sustentar a esteira de direcionamento do plástico e o sistema de corte, conforme apresentado na Figura 4.24.

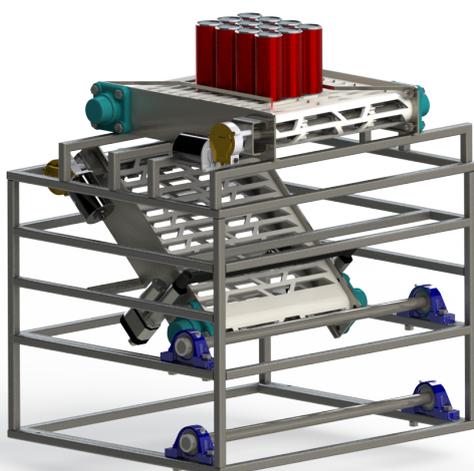


Figura 4.24: Modelagem do suporte da esteira de organização e do sistema inferior.

Fonte: autoria própria.

Na simulação, foi aplicada a carga de 173,1 N nos tubos superiores, referente à massa da esteira de organização, e de 180,3 N nos tubos intermediários, devido à esteira inclinada e ao sistema de corte (Figura 4.25). As massas foram calculadas a partir dos materiais aplicados no SolidWorks e de dados retirados dos catálogos dos fornecedores.

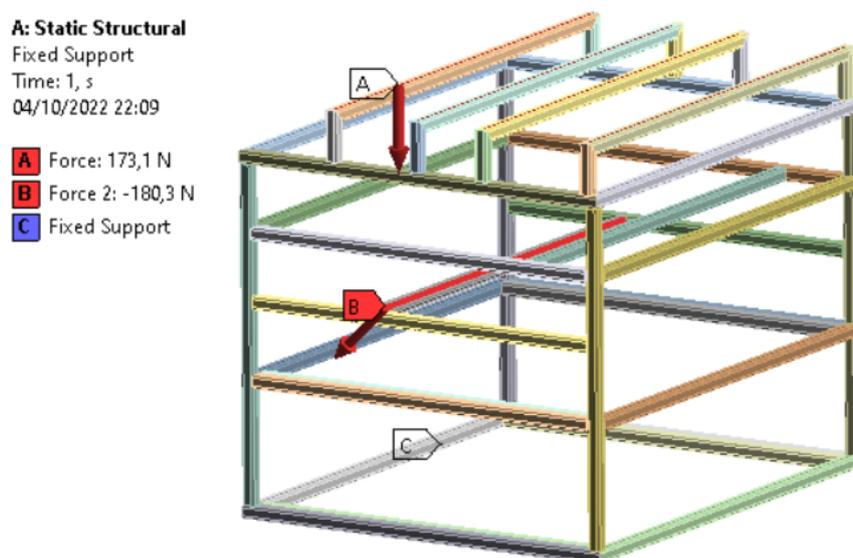


Figura 4.25: Aplicação das cargas na estrutura de organização para simulação.

Fonte: autoria própria.

A Figura 4.26 apresenta o resultado da simulação da estrutura, em que a tensão máxima foi de 34,138 MPa, resultando em um fator de segurança de 7,32. Apesar do fator ser bastante alto, a estrutura será mantida de modo a conferir estabilidade e os meios de fixação necessários à máquina.

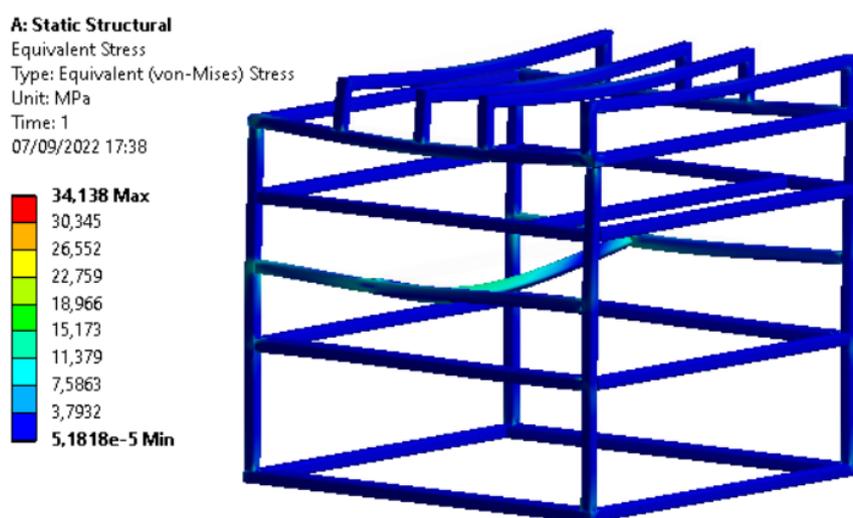


Figura 4.26: Tensão resultante durante simulação da estrutura de sustentação da esteira de organização e do sistema de corte.

Fonte: autoria própria.

Outro fator a ser analisado é o deslocamento ou deflexão dos tubos da estrutura após aplicação de carga. Na Figura 4.27, tem-se que a deflexão máxima encontrada é de 0,35 mm, aproximadamente 0,05% do comprimento do tubo.

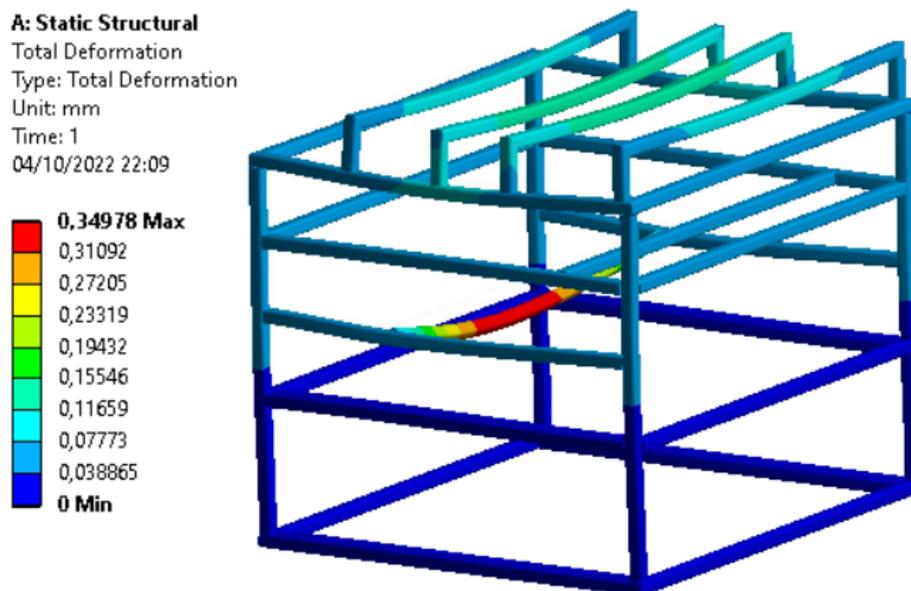


Figura 4.27: Deslocamento dos tubos da estrutura de organização após aplicação de carga durante simulação.

Fonte: autoria própria.

4.8.2 Sistema de envolvimento

A estrutura de sustentação do sistema de envolvimento é composta por duas partes: o suporte da haste (já detalhado na Figura 4.10) e o suporte inferior. A Figura 4.28 apresenta o conjunto completo, incluindo a esteira. Neste caso, as duas estruturas devem ser simuladas separadamente, uma vez que a esteira de envolvimento é suportada pelo suporte da haste.



Figura 4.28: Modelagem do suporte do sistema de envolvimento.

Fonte: autoria própria.

Primeiramente, simulou-se o suporte da haste, aplicando 221,1 N, referente à esteira, nos tubos transversais (Figura 4.29). Como resultado, conforme Figura 4.30, a tensão máxima é de 72,74 MPa, com fator de segurança de 3,43, acima do mínimo delimitado para o projeto.

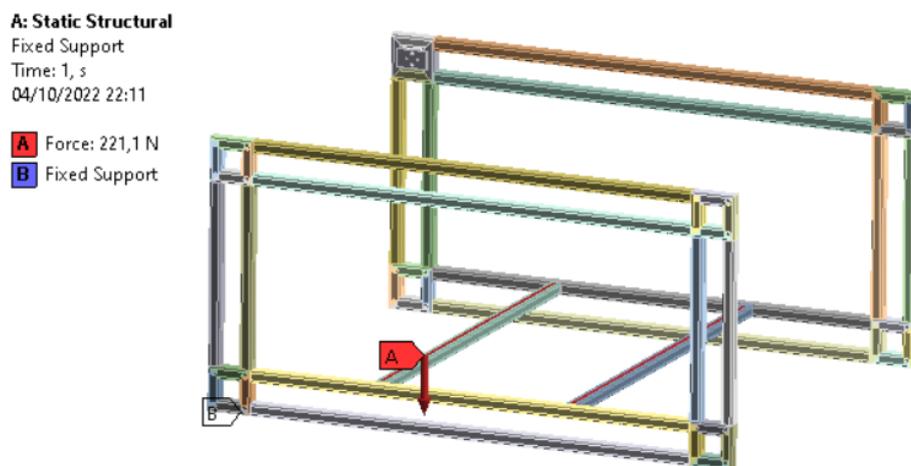


Figura 4.29: Aplicação das cargas no suporte da haste para simulação.

Fonte: autoria própria.

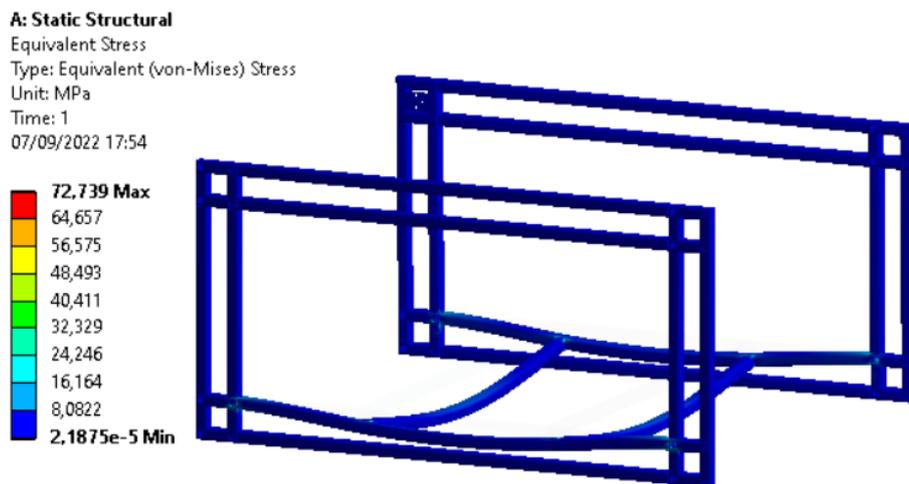


Figura 4.30: Tensão resultante durante simulação do suporte da haste de envolvimento.

Fonte: autoria própria.

Analisando a deflexão dos tubos da estrutura após aplicação de carga, na Figura 4.31, tem-se que a deflexão máxima encontrada é de 0,31 mm, aproximadamente 0,04% do comprimento do tubo.

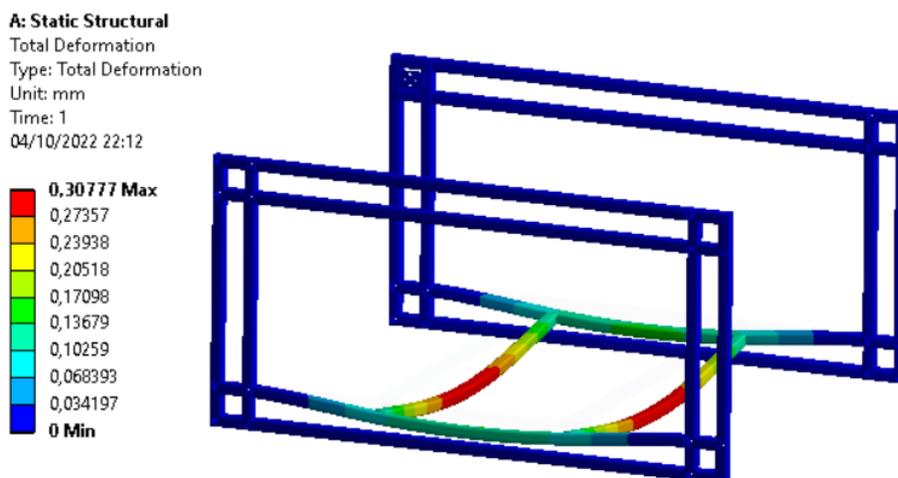


Figura 4.31: Deslocamento dos tubos da estrutura de organização após aplicação de carga durante simulação.

Fonte: autoria própria.

Em seguida, simulou-se a estrutura inferior, responsável por sustentar o suporte da haste e, por consequência, a esteira. Dessa forma, o esforço aplicado foi de 420 N, devido à massa da esteira e do suporte (Figura 4.32). Pelo resultado mostrado na Figura 4.33, a tensão máxima foi de 44,89 MPa e o fator de segurança de 5,57, também acima do valor determinado para o projeto.

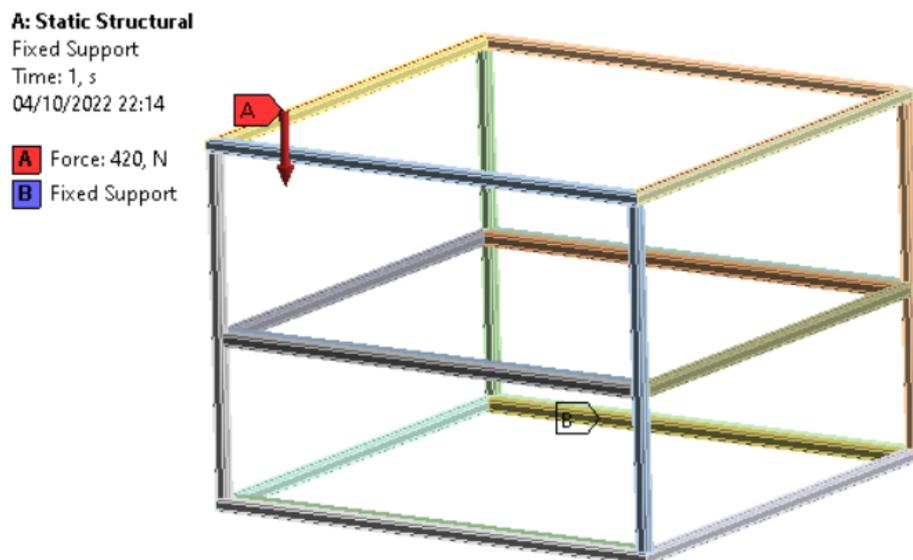


Figura 4.32: Aplicação de cargas na estrutura inferior do sistema de envolvimento para simulação.

Fonte: autoria própria.

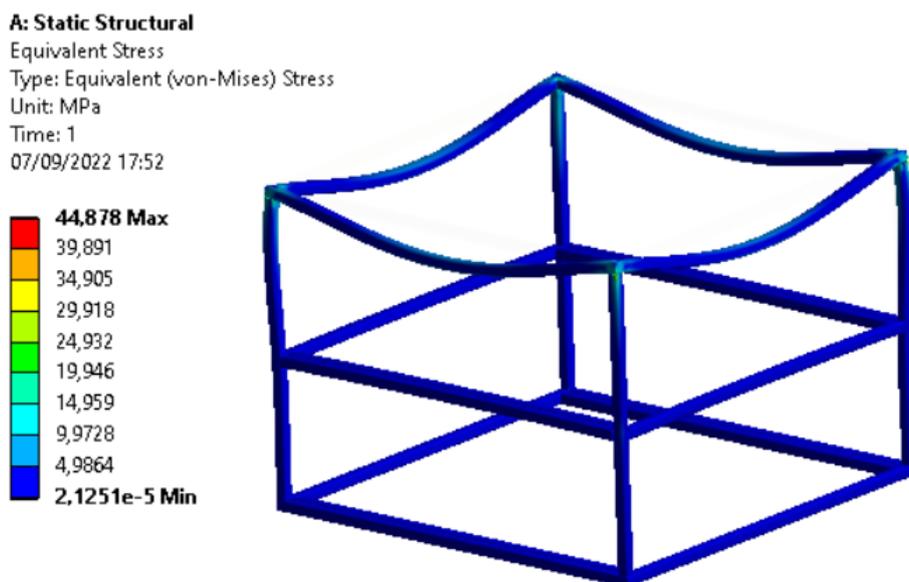


Figura 4.33: Tensão resultante durante simulação da estrutura de sustentação do sistema de envolvimento (esteira e haste).

Fonte: autoria própria.

Analisando a deflexão dos tubos da estrutura após aplicação de carga, na Figura 4.34, tem-se que a deflexão máxima encontrada é de 0,15 mm, aproximadamente 0,02% do comprimento do tubo.

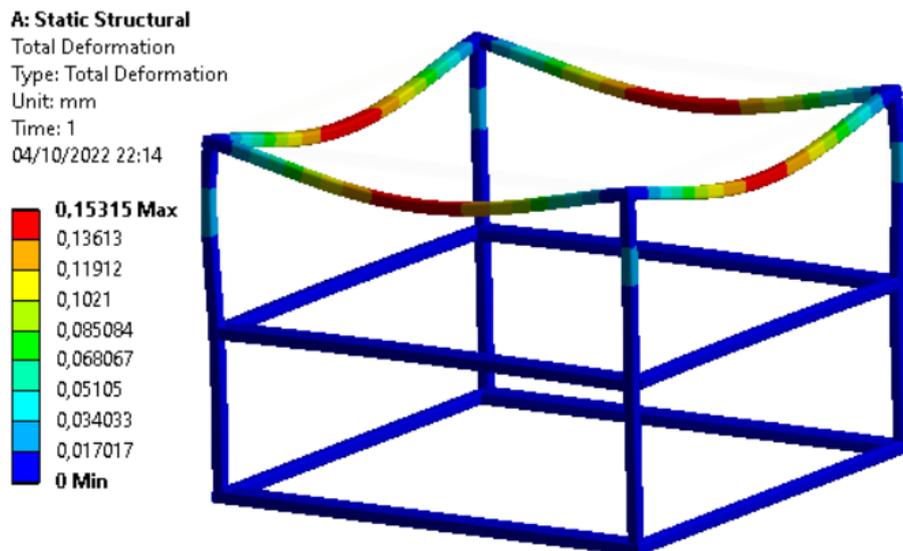


Figura 4.34: Deslocamento dos tubos da estrutura inferior do sistema de envolvimento após aplicação de carga durante simulação.

Fonte: autoria própria.

4.8.3 Esteira de finalização

Sendo a mais simples das estruturas, já que deve suportar apenas a esteira de finalização, conforme Figura 4.36, possui tubos apenas para encaixe da esteira. Na simulação, foi aplicada a carga de 173,1 N, referente às massas da esteira (Figura 4.37).

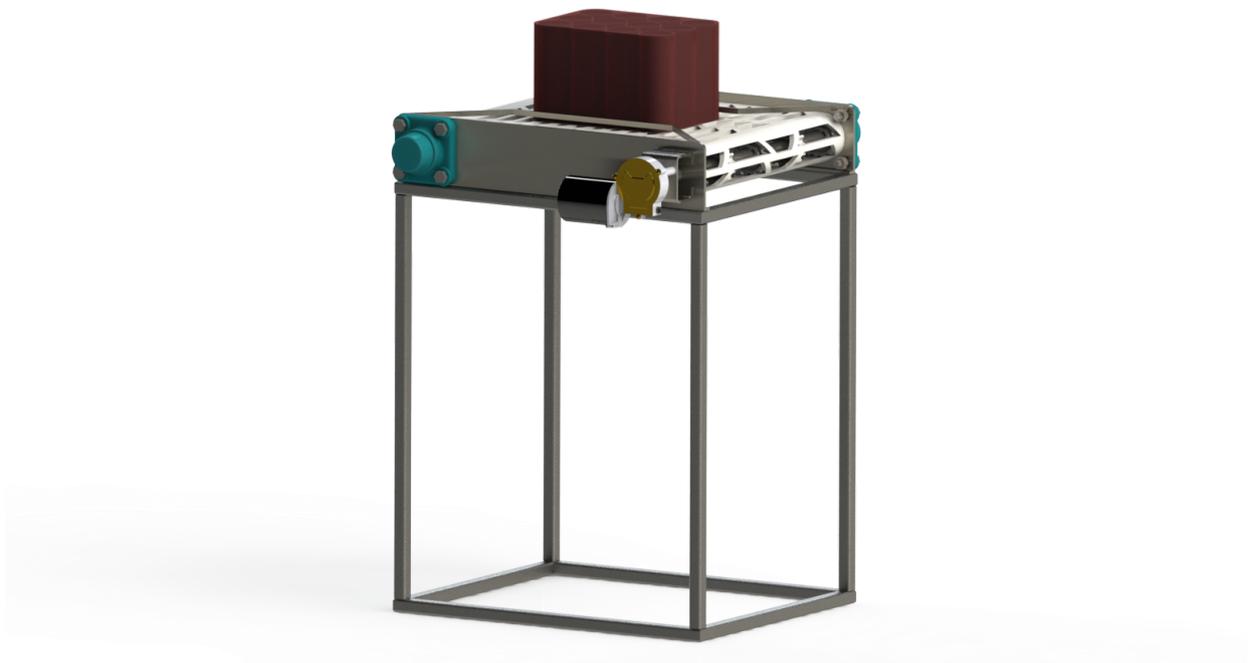


Figura 4.35: Modelagem do suporte da esteira de finalização.

Figura 4.36: Fonte: autoria própria.

A: Static Structural
Fixed Support
Time: 1, s
04/10/2022 22:04

A Force: 173,1 N
B Fixed Support

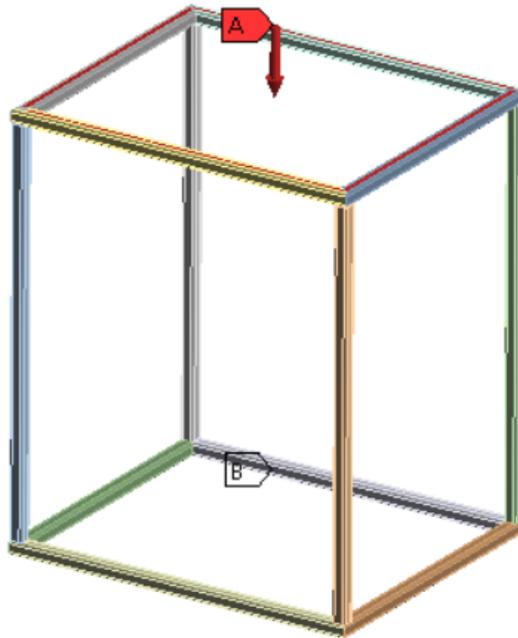


Figura 4.37: Aplicação das cargas na estrutura de finalização para simulação.

Fonte: autoria própria.

Como mostrado na Figura 4.38, a tensão máxima é de apenas 11,84 MPa, resultando no alto fator de segurança de 21,11. Assim como no suporte da esteira de organização, apesar do valor ser alto, a estrutura será mantida devido à estabilidade e fixação dos componentes.

A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
07/09/2022 17:48

11,841 Max
10,526
9,2099
7,8942
6,5785
5,2628
3,9472
2,6315
1,3158
0,00013496 Min

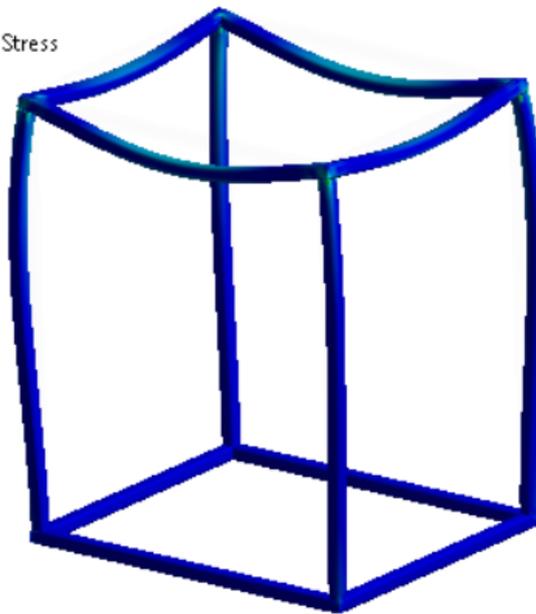


Figura 4.38: Tensão resultante durante simulação da estrutura de sustentação da esteira de finalização.

Fonte: autoria própria.

Analisando a deflexão dos tubos da estrutura após aplicação de carga, na Figura 4.39, tem-se que a deflexão máxima encontrada é de 0,31 mm, aproximadamente 0,006% do comprimento do tubo.

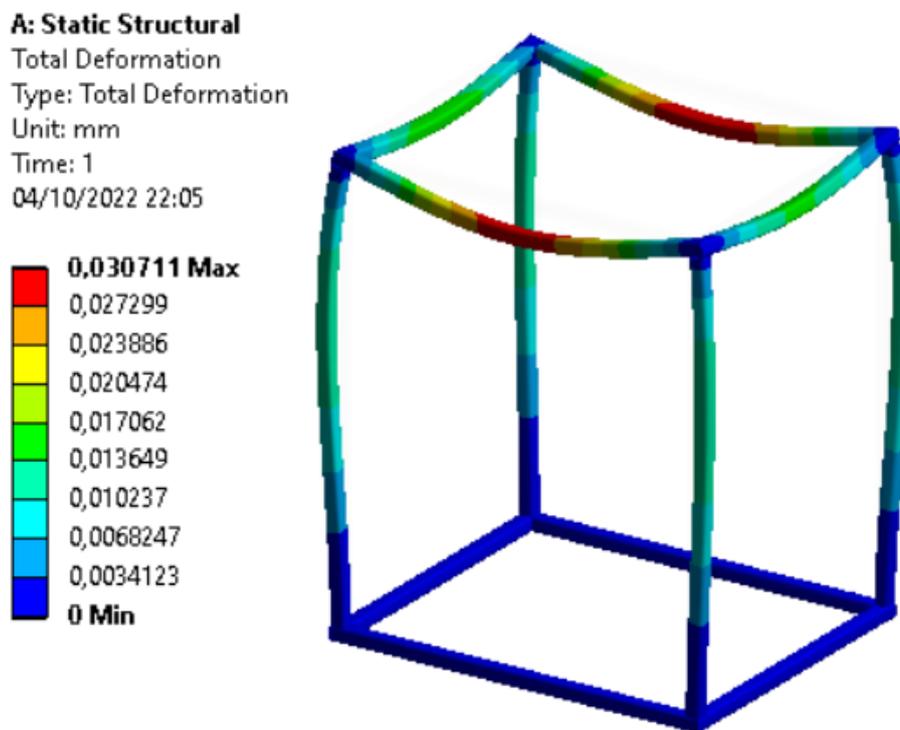


Figura 4.39: Deslocamento dos tubos da estrutura de finalização após aplicação de carga durante simulação.

Fonte: autoria própria.

5 DETALHAMENTO DE PROJETO

O objetivo desse capítulo é tratar da produtização da máquina projetada, especificando materiais e processos de fabricação, tolerâncias, ajustes e métodos de fixação, além do orçamento da máquina da confecção de desenhos técnicos.

5.1 ACIONAMENTO

Para melhor manuseio e segurança do equipamento, é necessário selecionar componentes de acionamento, além de desenvolver controladores programáveis para regular os motores elétricos. Esta última será realizada futuramente, concomitante à fabricação do produto.

Para acionar a máquina foi selecionada a chave de partida trifásica da WEG [33] PESW-9V24EX-R23, apresentada na Figura 5.1, com tensão de comando entre 208 e 240 V a 60 Hz, condizente com a rede elétrica da Brasal Refrigerantes, e corrente nominal de 9A.

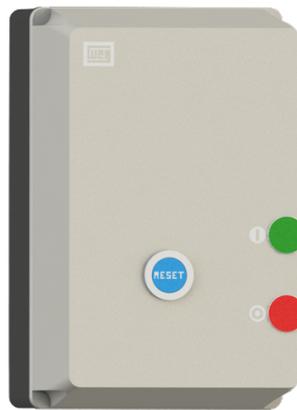


Figura 5.1: Chave de partida selecionada para acionar a máquina de reembalagem.

Fonte: WEG [33].

Além disso, também foi selecionado o botão de emergência HBS-J174, apresentado na Figura 5.2, da empresa BHS [34]. Serão posicionados 3 botões nas laterais e ao final da máquina, possibilitando que o operador acione o botão mais próximo para interromper a máquina em caso de acidente ou erro de produção.



Figura 5.2: Modelagem volumétrica do botão de emergência selecionado.

Fonte: autoria própria.

5.2 ACABAMENTO

Para definir o acabamento da máquina, levou-se em conta fatores como segurança, usabilidade e qualidade da máquina. Dessa forma, a primeira peça elaborada foi a carenagem de proteção da corrente da haste, conforme mostra a Figura 5.3, que consiste de uma chapa dobrada soldada à estrutura.

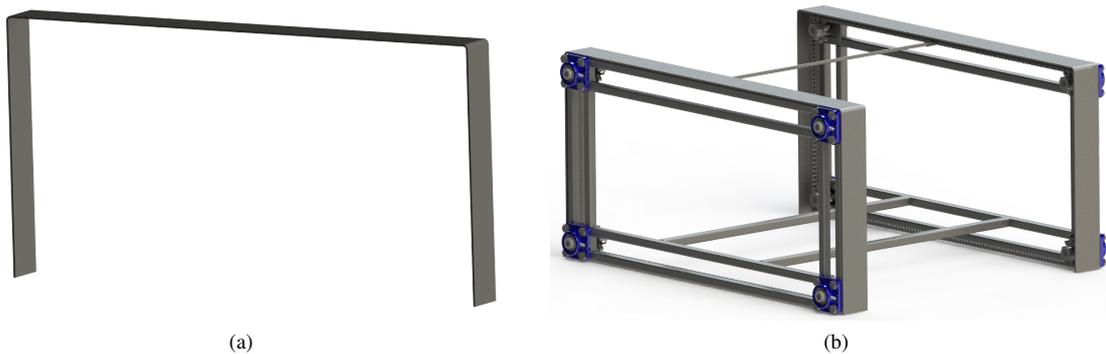


Figura 5.3: (a) carenagem elaborada para proteção das correntes e (b) carenagem fixada à estrutura do envolvimento.

Fonte: autoria própria.

Outra medida adotada foi o conjunto formado por chapas de aço e policarbonato. O intuito principal foi permitir a visualização constante do interior da máquina e, assim, identificar o momento de reposição do plástico-filme ou qualquer sinal de avaria. A Figura 5.4 traz um dos conjuntos de chapas utilizados no equipamento.



Figura 5.4: Conjunto formado por chapas de aço e policarbonato utilizado para acabamento da máquina de reembalagem.

Fonte: autoria própria.

5.3 ANÁLISE FINANCEIRA

O objetivo desta seção é realizar o orçamento da máquina e posteriormente a análise de retorno de investimento, além de comparar a máquina proposta com o gasto financeiro atual da Brasal Refrigerantes e o valor de outras máquinas disponíveis no mercado, com o intuito de validar e justificar a implementação do equipamento projetado.

5.3.1 Levantamento de custos

Para realizar o orçamento da máquina, a primeira etapa foi listar os componentes e suas quantidades, além de registrar as dimensões necessárias dos materiais de fabricação, como tubos, tarugos e chapas, a partir da modelagem.

Então, os componentes a serem comprados foram orçados diretamente com os fornecedores ou estimados de acordo com valores do mercado. Além disso, para o orçamento da mão de obra, considerou-se 175% do custos da matéria-prima de componentes a serem fabricados, como eixos, chapas, tubos, entre outros. A Tabela 5.1 detalha os custos de cada peça, bem como o custo total da máquina.

Tabela 5.1: Tabela de orçamento dos componentes da máquina de reembalagem.

Componente	Quantidade	Fornecedor	Custo unitário	Custo total
Motor da esteira 10.04.001	4	Imobras	R\$ 350,00	R\$ 1.400,00
Mancal da esteira F4BC 25M-CPSS-DFH	16	SKF	R\$ 200,00	R\$ 3.200,00
Esteiras	-	Intralox	-	R\$ 6.780,00
Túnel de calor	1	Cetro	R\$ 5.670,00	R\$ 5.670,00
Rodízios	16	Schioppa	R\$ 17,00	R\$ 272,00
Motor da haste 25GA310	1	Robobuilders	R\$ 55,00	R\$ 55,00
Mancal da haste F4B 008-RM	8	SKF	R\$ 150,00	R\$ 1.200,00
Rodas dentadas	8	SKF	R\$ 40,00	R\$ 320,00
Corrente	5 m	SKF	R\$ 56,00/m	R\$ 280,00
Atuador elétrico	2	Kalatec	R\$ 810,00	R\$ 1.620,00
Mola	1	Stock	R\$ 200,00	R\$ 100,00
Chapas de aço 1200x6000mm	2	Gravia	R\$ 365,00	R\$ 730,00
Chapas de policarbonato 2100x3000mm	1	Coberchapas	R\$ 290,00/un	R\$ 290,00
Tubos para estrutura de sustentação	16	Gravia	R\$ 62,30	R\$ 996,80
Tarugos de aço para tensionadores do plástico	4 m	JB Ferração	-	R\$ 306,00
Parafusos	108	SIA Parafusos	R\$ 5,00	R\$ 540,00
Porcas	108	SIA Parafusos	R\$ 0,45	R\$ 48,6
Arruelas	108	SIA Parafusos	R\$ 0,20	R\$ 21,60
Chave de partida	1	WEG	R\$ 766,00	R\$ 766,00
Botão de emergência	3	BHS	R\$ 29,00	R\$ 87,00
Controle elétrico	-	-	-	R\$ 3.000,00
Mão de obra	-	-	-	R\$ 10.364,90
TOTAL				R\$ 38.047,90

Fonte: autoria própria.

5.3.2 Análise do retorno de investimento

Para validar financeiramente o projeto desenvolvido, é preciso comparar o custo da máquina com demais modelos no mercado e com os gastos atuais da Brasal Refrigerantes por fazer a operação manual. Em ambos os casos, para se obter o valor de comercialização, será acrescido 50% do custo de fabricação referente aos impostos de venda, totalizando R\$ 57.071,85.

5.3.2.1 Comparação com modelos do mercado

Ao se analisar as máquinas do mercado percebe-se que o preço pode variar bastante, entre R\$ 16.000 (Figura 5.5 (a)) e R\$ 60.000 (Figura 5.5 (b)) sem considerar o valor de importação. Tal variação se dá, principalmente, devido ao grau de automatização que do equipamento.



Figura 5.5: (a) máquina de embalagem da Purusharth e (b) Unisource.

Fonte: (a) Purusharth / (b) Unisource.

Assim, o custo da máquina projetada está dentro dos valores do mercado, principalmente se for considerado o preço de importação presente na maior parte dos modelos comerciais, além da assistência técnica.

5.3.2.2 Retorno para a Brasal Refrigerantes

Durante a aquisição de um produto ou serviço, um dos principais fatores na tomada de decisão é se o investimento trará retorno para a empresa ou compensará em relação ao processo atual. No caso da Brasal Refrigerantes, a comparação deve ser feita entre o custo da máquina e o gasto operacional atual da empresa.

Dentro do gasto operacional, considerou-se o custo fixo mensal dos 4 funcionários envolvidos no processo, no valor de R\$ 5.375,00 cada, e o gasto com troca de sopradores térmicos, no valor de R\$ 300,00 a cada 4 meses. Já no custo da máquina, foi considerado, além do valor de aquisição, o custo de manutenção, avaliado em 10%/ano do valor da máquina, o custo de energia elétrica para operar a máquina, cerca de 2%/ano do valor da máquina e o custo fixo de 2 funcionários responsáveis por operar o equipamento.

Tabela 5.2: Valor do custo mensal do processo manual e da máquina de reembalagem.

	Processo Manual	Máquina
1º mês	R\$ 21.575,00	R\$ 68.392,57
2º mês em diante	R\$ 21.575,00	R\$ 11.320,72

Fonte: autoria própria.

Como é visto na Tabela 5.2, o custo mensal do processo manual é constante ao longo dos meses, enquanto da máquina é maior no primeiro mês devido ao investimento necessário, ao passo que nos meses seguintes contabiliza-se apenas os gastos de manutenção e energia. A Figura 5.6 apresenta o retorno financeiro que a Brasal terá ao investir na máquina, isto é, no 6º mês o gasto

com a máquina já é inferior ao gasto com o processo manual, enquanto no 12º mês a diferença entre os dois valores supera o preço de compra da máquina, compensando o investimento realizado.

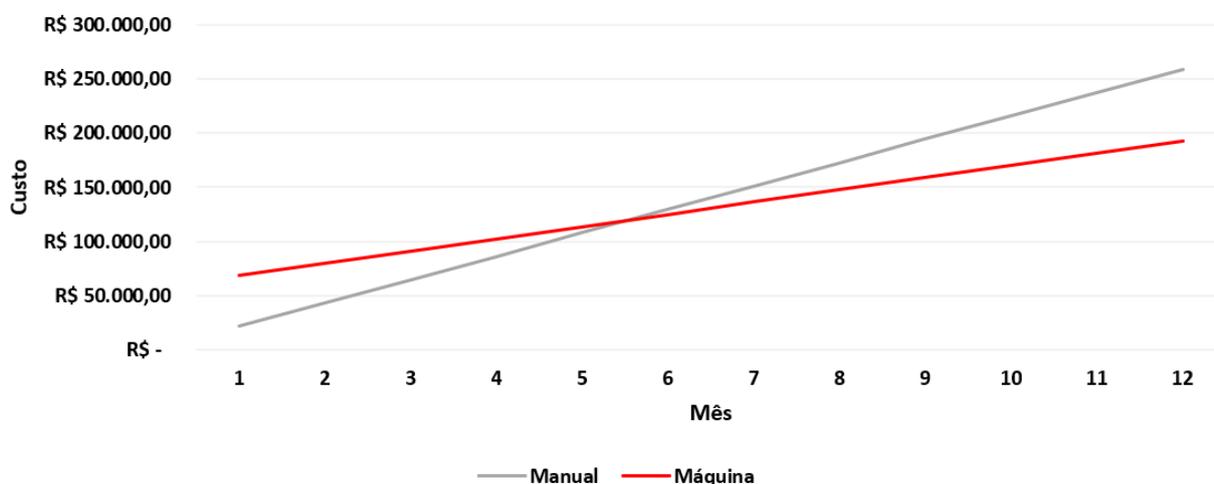


Figura 5.6: Gráfico comparativo entre o custo de investimento na máquina e o gasto com processo manual para a Brasal Refrigerantes.

Fonte: autoria própria.

5.4 ANÁLISE AMBIENTAL

Além da análise financeira e respeitando o viés ambiental da Brasal Refrigerantes, é importante também estudar o projeto pela perspectiva ambiental, considerando o crescente foco da indústria no desenvolvimento sustentável. Nesse sentido, a principal referência é a Organização das Nações Unidas (ONU) [35], que propôs 17 objetivos que devem ser atingidos até 2030.

5.4.1 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS

Em 2015, os membros da ONU adotaram, como parte da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, 17 objetivos (Figura 5.7) para nortear a implementação de políticas públicas rumo a um futuro sustentável, abordando diferentes temas, como saúde, educação, economia, ecossistemas, entre outros. Cada objetivo possui metas para apoiar a execução das medidas implementadas.



Figura 5.7: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU.

Fonte: ONU [35].

O projeto da máquina de embalagem colabora, efetivamente, com dois ODSs: Trabalho Decente e Crescimento Econômico (ODS 8) e Indústria, Inovação e Infraestrutura (ODS 9), contribuindo as seguintes metas:

- ODS 8 - Trabalho Decente e Crescimento Econômico:
 - 8.2: atingir níveis mais elevados de produtividade das economias por meio da diversificação, modernização tecnológica e inovação, inclusive por meio de um foco em setores de alto valor agregado e dos setores intensivos em mão de obra.
 - 8.3: promover políticas orientadas para o desenvolvimento que apoiem as atividades produtivas, geração de emprego decente, empreendedorismo, criatividade e inovação, e incentivar a formalização e o crescimento das micro, pequenas e médias empresas, inclusive por meio do acesso a serviços financeiros.
- ODS 9 - Indústria, Inovação e Infraestrutura:
 - 9.5: fortalecer a pesquisa científica, melhorar as capacidades tecnológicas de setores industriais em todos os países, particularmente os países em desenvolvimento, inclusive, até 2030, incentivando a inovação e aumentando substancialmente o número de trabalhadores de pesquisa e desenvolvimento por milhão de pessoas e os gastos público e privado em pesquisa e desenvolvimento.
 - 9.b: apoiar o desenvolvimento tecnológico, a pesquisa e a inovação nacionais nos países em desenvolvimento, inclusive garantindo um ambiente político propício para, entre outras coisas, a diversificação industrial e a agregação de valor às commodities.

6 CONCLUSÃO

6.1 CONCLUSÃO DO PROJETO

Como abordado na introdução deste trabalho, o processo de reembalagem de *packs* de latas de alumínio para armazém industrial é uma necessidade devido à demanda de se reaproveitar ao máximo os recursos aplicados da empresa. Assim, foi proposta uma máquina para automatizar o processo manual presente na Brasal Refrigerantes. Inicialmente, foi preciso entender o cenário de aplicação da máquina, bem como as normas e restrições que influenciam no projeto do equipamento.

Em seguida, realizou-se um estudo dos conceitos da Engenharia Mecânica, desde motores elétricos e sistemas pneumáticos até o comportamento térmico do plástico, e mecanismos existentes no mercado que poderiam ser aplicados na máquina para solucionar o problema, como túneis de calor, esteiras transportadoras e a linha de produção da Brasal Refrigerantes.

Com esse conhecimento, foi possível desenvolver o projeto conceitual, definindo e hierarquizando os requisitos de projeto, bem como suas respectivas especificações-metas, além de formular potenciais concepções de máquinas a partir dos principais subsistemas visualizados para o projeto. Tais concepções foram avaliadas através de uma matriz de decisão, onde pode-se determinar o conceito mais adequado para prosseguir às etapas seguintes do projeto.

Então, iniciou-se o dimensionamento e seleção dos componentes que atendem à concepção definida, desde o túnel de calor até as esteiras e demais elementos de apoio, como motores, mancais, suportes e atuadores, a partir de códigos de dimensionamento e simulações estáticas.

Definidos os principais componentes, foi realizada a modelagem 3D da máquina, apresentada na Figura 6.1, o que possibilitou detalhar certos elementos do projeto, como peças de acabamento e do funcionamento elétrico, além de realizar uma projeção do custo de fabricação e comercialização da máquina.

A partir do custo, foi possível comparar financeiramente a máquina projetada com outros modelos do mercado e com o cenário atual de gastos da Brasal Refrigerantes, a fim de validar o seu investimento e demonstrar em quanto tempo será alcançado o retorno monetário, conforme Figura 5.6, na qual a máquina se mostra viável financeiramente a partir do 6º mês de aquisição. Além disso, buscou-se, também, evidenciar a contribuição do produto para a perspectiva ambiental adotada pela Brasal.

O principal resultado da máquina para a Brasal Refrigerantes é dentro da operação. Os componentes projetados permitem que o processo de reembalagem seja realizado na metade do tempo atual. Além disso, é necessário apenas um funcionário por turno para operar o equipamento. Dessa forma, a operação se torna mais eficiente e os colaboradores podem ser realocados para

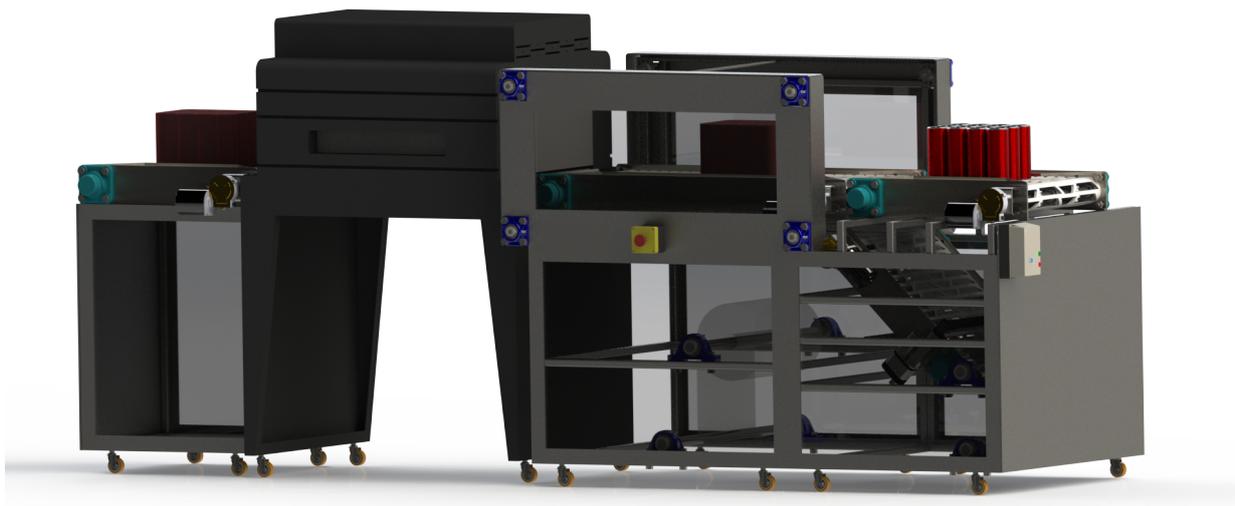


Figura 6.1: Modelagem final da máquina de reembalagem projetada.

outras funções mais sobrecarregadas, sem gerar redução do quadro de funcionários.

Por fim, vale ressaltar que o projeto de uma máquina, muitas vezes, abrange diversas áreas das engenharias de modo a possibilitar a integração de diversos componentes e minimizar a ocorrência de falhas e erros de projeto. Como este trabalho foi realizado no campo da Engenharia Mecânica, tomou-se como foco o viés mecânico dos componentes, sendo necessário atuar futuramente sobre os elementos elétricos e eletrônicos, com o intuito de garantir melhor funcionamento e eficiência da máquina.

6.2 PRÓXIMOS PASSOS

A próxima fase do projeto será focada na automatização da máquina, com foco no controle de velocidade e na aplicação de sensores de posição a partir da elaboração de códigos e rotinas para controle do equipamento. Além disso, é interessante posicionar sensores para identificar avarias no produto e interromper o funcionamento da máquina, possibilitando a intervenção do operador.

Após isso, o foco será na produtização da máquina, em que serão realizados ajustes e incrementos nos componentes, a partir de análise cuidadosa de modelos 3D e de protótipos, para garantir a fabricação e usabilidade do produto. Por fim, deseja-se elaborar um manual de instruções de montagem e operação para acompanhar o equipamento durante a comercialização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ITAL, I. de Tecnologia de A. *Evolução da Indústria de Alimentos e Bebidas no Brasil*. Alimentos Processados, 2022. Disponível em: <<https://alimentosprocessados.com.br/industria-evolucao-industria-de-alimentos-e-bebidas-no-brasil.php>>.
- 2 ABIA. Números do setor. *Associação Brasileira da Indústria de Alimentos*, p. 1, 2022.
- 3 KANTAR. Brandz insights 2021 us fmcg. p. 122, 2022.
- 4 RAJPUT, T. *Global FMCG Market Expected to Reach \$15,361.8 Billion by 2025 | CAGR 5.4%: Fmcg market opportunity analysis and industry forecast, 2021 - 2025 - allied market research*. EIN Presswire, 2021. Disponível em: <https://www.einnews.com/pr_news/548474907/global-fmcg-market-expected-to-reach-15-361-8-billion-by-2025-cagr-5-4>.
- 5 BRASAL. *BRASAL REFRIGERANTES: Segmento brasal que fabrica, comercializa e distribui produtos coca-cola company, heineken brasil, leão, monster, verde campo e ades*. 2022. Disponível em: <<https://www.brasal.com.br/brasal-refrigerantes/>>.
- 6 ILOS. *ILOS: Especialistas em Logística e Supply Chain*. 2022. Disponível em: <<https://www.ilos.com.br/web/>>.
- 7 FIALHO, A. B. *Automação Pneumática: Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos*. 2ª. ed. São Paulo, SP: Editora Érica, 2004.
- 8 PARR, A. *Hydraulics and Pneumatics: A Technician's and Engineer's Guide*. 3rd. ed. Oxford: Elsevier, 2011.
- 9 KALATEC. *Atuador elétrico: o que é, vantagens, tipos e funções*. 2022. Disponível em: <<https://blog.kalatec.com.br/atuador-eletrico/>>.
- 10 PETRUZELLA, F. D. *Electric Motors and Control Systems*. 3rd. ed. New York, NY: McGraw-Hill, 2020.
- 11 MTE. *NR 12: Segurança do trabalho em máquinas e equipamentos*. Ministério do Trabalho e Emprego, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/norma-regulamentadora-no-12-nr-12>>.
- 12 ABNT. *NBR 10151: Acústica - medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas - aplicação de uso geral*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2020. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?Q=aUdUSFkvYVN5MXhiZEhIb3pjbIRpODZSdHF4SGxWNHBZb2tiOVZvbTRzYz0=>>>.
- 13 ABNT. *NBR 7195: Cores para segurança*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?Q=Uys1ZXN0VzdkSk0yMU1NaWtIczJrenI3UEY1d0EzUIRtUjhtKytzcZGTT0=>>>.
- 14 ABNT. *NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?Q=akFCbVlmNUEyeForVzh5d3NsYkZMd0h1VU9jMUpndmxIck9TeUZML3d1MD0=>>>.

- 15 ISO. *ISO 12944: Paints and varnishes — corrosion protection of steel structures by protective paint systems*. International Organization for Standardization, 2017. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/64833.html>>.
- 16 ISO. *ISO 3864: Símbolos gráficos — cores e sinais de segurança*. International Organization for Standardization, 2013. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?Q=Q3c0bVI4Y3o5WnpuanRNem0wenIESWIUWUVCd2o4eUUzS2pTb1pTTEZMMD0=>>>.
- 17 ABNT. *NBR 14153: Segurança de máquinas - partes de sistemas de comando relacionados à segurança - princípios gerais para projeto*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2022. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?Q=WVBLcFkzUGxaWDJTtXJWMz13d010VUovVk5BYm0ydVNRZ1B4OWlkWXRtND0=>>>.
- 18 ABNT. *NBR 6678: Transportadores contínuos, transportadores de correias - roletes - projeto, seleção e padronização*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?Q=Ym5UWDhSczFMUHIxU2FRYldMZVJGdzBZa0JzQ0ttTEJNNmh1K00xT283dz0=>>>.
- 19 ABNT. *NBR 6158: Sistema de tolerâncias e ajustes*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1995. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?Q=aEdBdklnYVNrNTZsWGcxUmllyemwvWXJVbnVvVEhXajZidEk5cTBoZzErYz0=>>>.
- 20 ABNT. *NBR 16746: Segurança de máquinas - manual de instruções - princípios gerais de elaboração*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?Q=QnJpWUxXZEswR0l2dE1GOWIFMFVScGpjRWczRTg2K1pZK1R4UFB1K2hKUT0=>>>.
- 21 PACKAGING, N. *Semi Automatic Web Sealer*. 2022. Disponível em: <<https://www.nextpackaging.co.in/sealing-machine.html#semi-automatic-web-sealer>>.
- 22 KRONES. *Packaging Technology*. 2022. Disponível em: <<https://www.krones.com/en/products/machines/packaging-technology.php>>.
- 23 3NEURON. *Ferramentas de gestão: Diagrama de Mudge*. 3Neuron, 2021. Disponível em: <<https://3neuron.com/ferramentas-de-gestao/ferramentas-de-gestao-diagrama-de-mudge/>>.
- 24 COLLINS, J.; BUSBY, H.; STAAB, G. *Mechanical Design of Machine Elements and Machines: A Failure Prevention Perspective*. 2nd. ed. Columbus, OH: Wiley, 2009.
- 25 CETRO. *Túnel de Encolhimento TDEP 4020 A*. 2022. Disponível em: <<https://www.cetro.com.br/tunel-de-encolhimento-tdep-4020-a/p>>.
- 26 SCHIOPPA. *Catálogo de produtos*. 2019. Disponível em: <<https://schioppa.com.br/catalogo-geral-2019-pt-br.pdf>>.
- 27 INTRALOX. *Manual de Engenharia: Esteiras transportadoras modulares plásticas*. 2022. Disponível em: <<https://www.intralox.com/resources/engineering-manual>>.
- 28 GROUP, P. *Wear Strips*. 2022. Disponível em: <<https://www.par-group.co.uk/engineering-plastics/wear-strips/>>.
- 29 MATWEB. *Overview of materials for Low Density Polyethylene (LDPE), Film Grade*. 2022. Disponível em: <<https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=9ff98d958a714b2a8a00990a929d6f14&ckck=1>>.

- 30 BUDYNAS, R.; NISBETH, J. *Elementos de Máquinas de Shigley - 10ª Edição*. Porto Alegre, RS: McGraw Hill Brasil, 2016.
- 31 IMOBRAS. *Motoredutor*. 2022. Disponível em: <<https://www.imobras.ind.br/site-2017/pt-br/produtos/categoria/motoredutores/motoredutor-21>>.
- 32 SKF. *Unidades de rolamento de esferas flangeadas*. 2022. Disponível em: <<https://www.skf.com/br/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/flanged-ball-bearing-units>>.
- 33 WEG. 2022.
- 34 BHS. *Comando e Sinalização: Botoeiras com botões*. 2022. Disponível em: <<https://www.bhseletronica.com.br/pdf/catalogo-cx-botoeira-hb2-rev-out-18.pdf>>.
- 35 ONU. *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*. 2022. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>.
- 36 ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. *Transferência de Calor e Massa: Uma Abordagem Prática*. 4ª. ed. Porto Alegre, RS: AMGH, 2012.
- 37 INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINNE, A. S. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 7th. ed. West Lafayette, IN: John Wiley & Sons, 2011.
- 38 BALAJI, C. et al. *Heat Transfer Engineering: Fundamentals and Techniques*. 1st. ed. Chennai, Tamil Nadu: Elsevier, 2020.
- 39 KWOK, N.; HAHN, H. T. Resistance heating for self-healing composites. *Journal of Composite Materials*, v. 41, p. 20, 2007.
- 40 CHIEN, A.; CHO, S.; JOSHI, Y.; KUMAR, S. Electrical conductivity and joule heating of polyacrylonitrile/carbon nanotube composite fibers. *Elsevier*, p. 10, 2014.
- 41 SERWAY, R. A.; JR., J. W. J. *Princípios de Física: Eletromagnetismo*. 3ª. ed. São Paulo, SP: Thomson, 2005.
- 42 O'MALLEY, J. *Schaum's outline of theory and problems of basic circuit analysis*. 2nd. ed. New York, NY: McGraw-Hill, 1992.

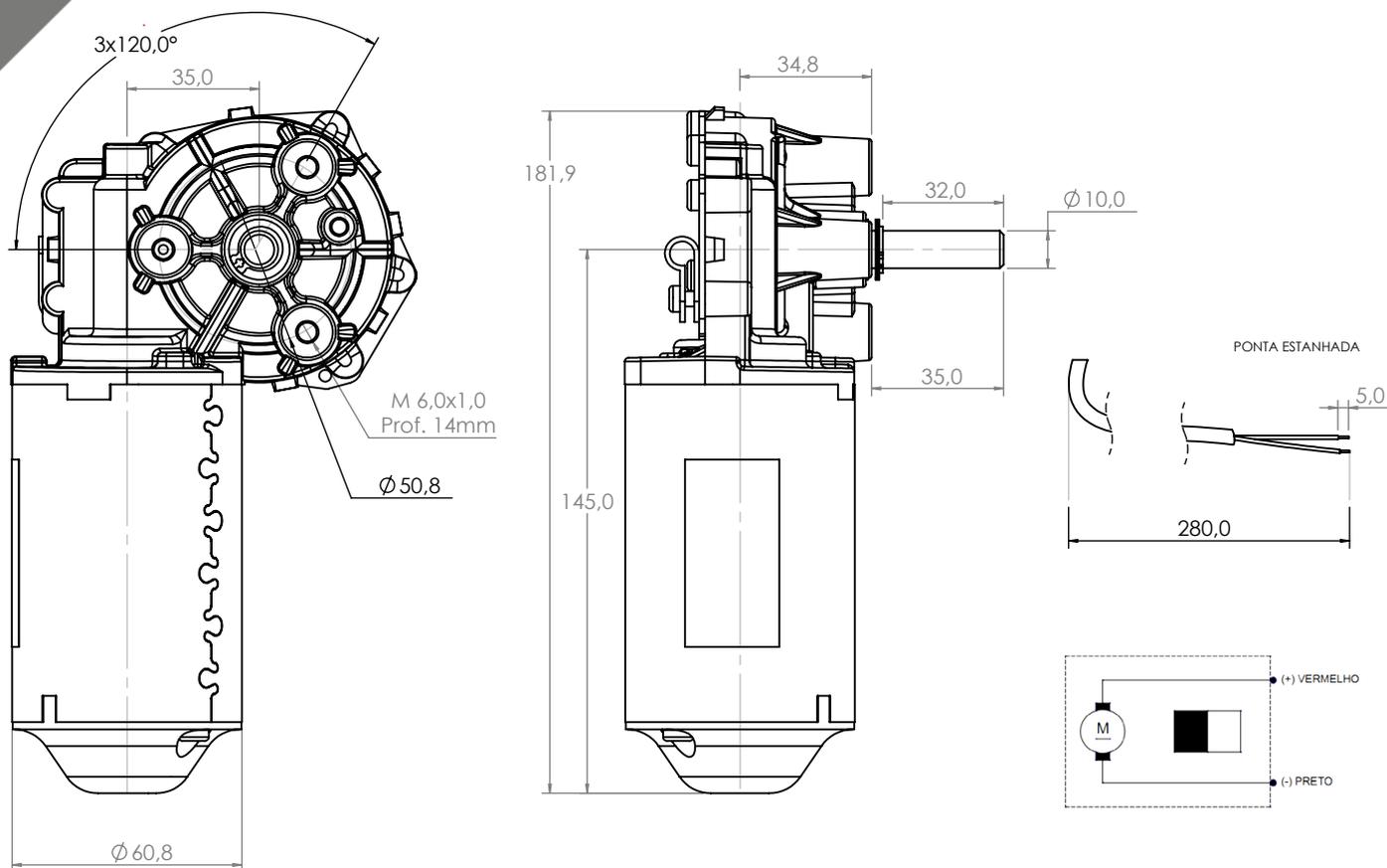
APÊNDICES

O objetivo desse capítulo é trazer etapas e estudos abordados durante a primeira etapa do Projeto de Graduação, além de outras referências, de modo a tornar o texto mais enxuto e conciso.

I.1 ANEXOS

Technical
Drawing

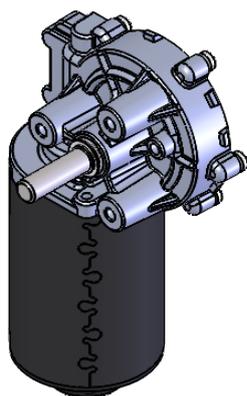
Desenho
Técnico



Technical
Specification

Especificação
Técnica

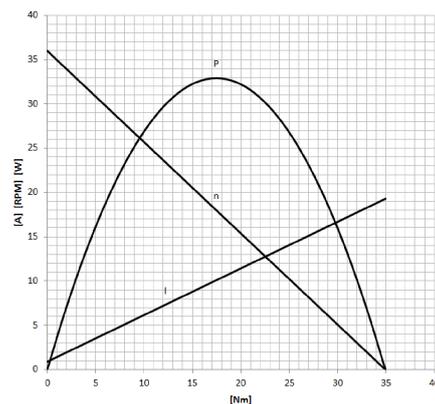
Imagem
Ilustrativa



100400112

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

U_N	13	[V]
	VI	VII
P_N	28	xx [W]
n_N	29	xx [rpm]
I_N	4	xx [A]
$I_{m\acute{a}x.}$	19	xx [A]
M_N	6	xx [Nm]
$M_{m\acute{a}x.}$	35	xx [Nm]
i	63:1	
Rot.	1/R	
K_g	1,3	[kg]

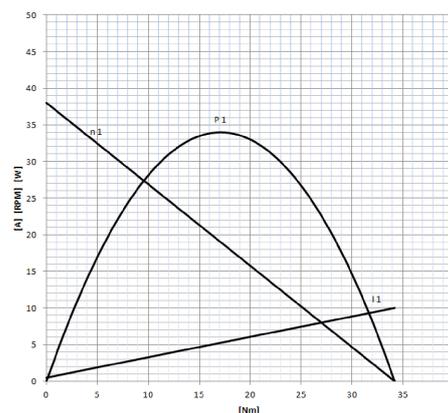


Aplicação: Industrial

100400124

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

U_N	27	[V]
	VI	VII
P_N	20	xx [W]
n_N	33	xx [rpm]
I_N	2,3	xx [A]
$I_{m\acute{a}x.}$	12	xx [A]
M_N	6	xx [Nm]
$M_{m\acute{a}x.}$	30	xx [Nm]
i	63:1	
Rot.	1/R	
K_g	1,5	[kg]





D24-P LINEAR ACTUATOR WITH POTENTIOMETER

www.kalatec.com.br

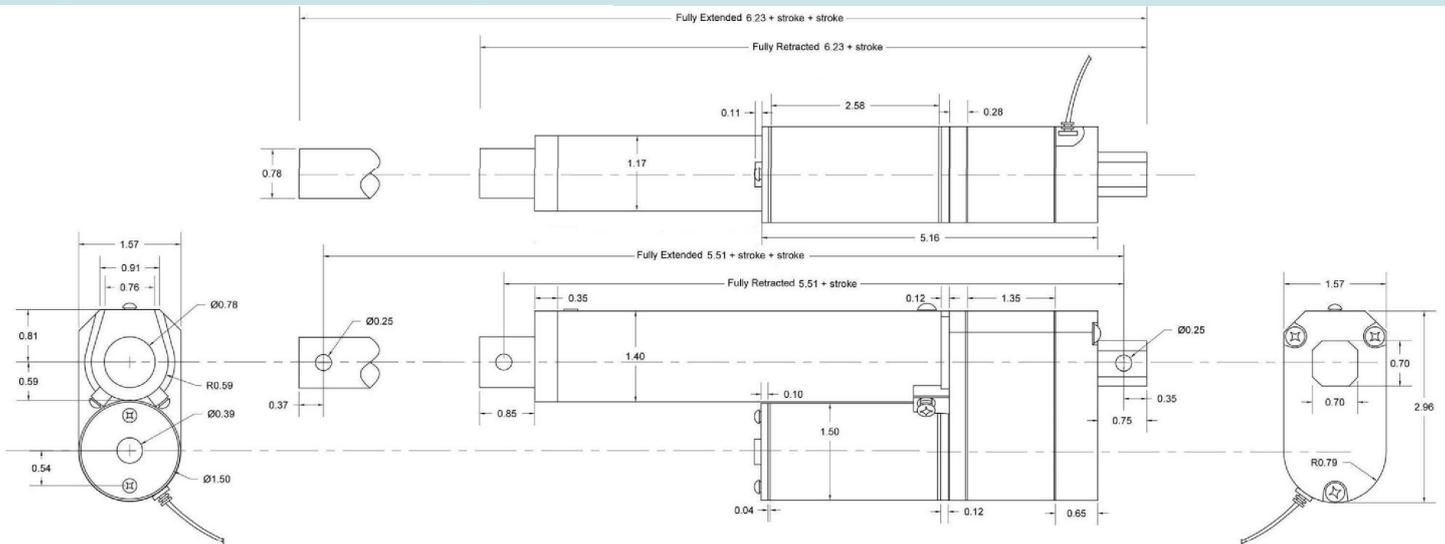


SPECIFICATIONS

Input Voltage: 12 OU 24 VDC
 Current: 5A at full load
 Load Capacity: 35 lbs, 50 lbs, 150 lbs
 Static Load: 2 x Load
 Speed: 0.59"/sec - 2.00"/sec
 Stroke length: 2" to 40"
 Mounting holes: 0.25" diameter
 Potentiometer: 10KΩ
 Screw: ACME Screw
 Duty Cycle 25%

Operational Temperature: -26°C~65°C
 (-15°F~150°F)
 Limit Switch: built-in non adjustable
 IP 65
 Certification: CE and RoHS
 Housing: Aluminum Alloy
 Gears: Powder Metallurgy
 Wire Length: 40"
 Gear Ratio: 20:1

DIMENSIONS IN INCHES





D-24P LINEAR ACTUATOR WITH POTENTIOMETER

www.kalatec.com.br



12 VDC SPEED VS LOAD



12 VDC CURRENT VS LOAD



SPEED IN INCHES PER SECOND

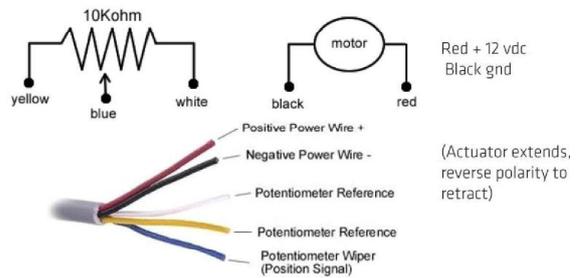
Forces (lbs)	No Load	Full Load
35	2.00	1.20
50	1.18	0.94
150	0.59	0.51

HOLE TO HOLE DIMENSIONS

Stroke Sizes (in inches)	PA-14P Model Actuator	
	Fully Retracted (in inches)	Fully Extended (in inches)
0	5.51	5.51
1	6.51	7.51
2	7.51	9.51
3	8.51	11.51
4	9.51	13.51
6	11.51	17.51
8	13.51	21.51
9	14.51	23.51
10	15.51	25.51
12	17.51	29.51
14	19.51	33.51
16	21.51	37.51
18	23.51	41.51
20	25.51	45.51
22	27.51	49.51
24	29.51	53.51
30	35.51	65.51
40	45.51	85.51

PRODUCT ACCESSORIES

POTENTIOMETER





D-24P

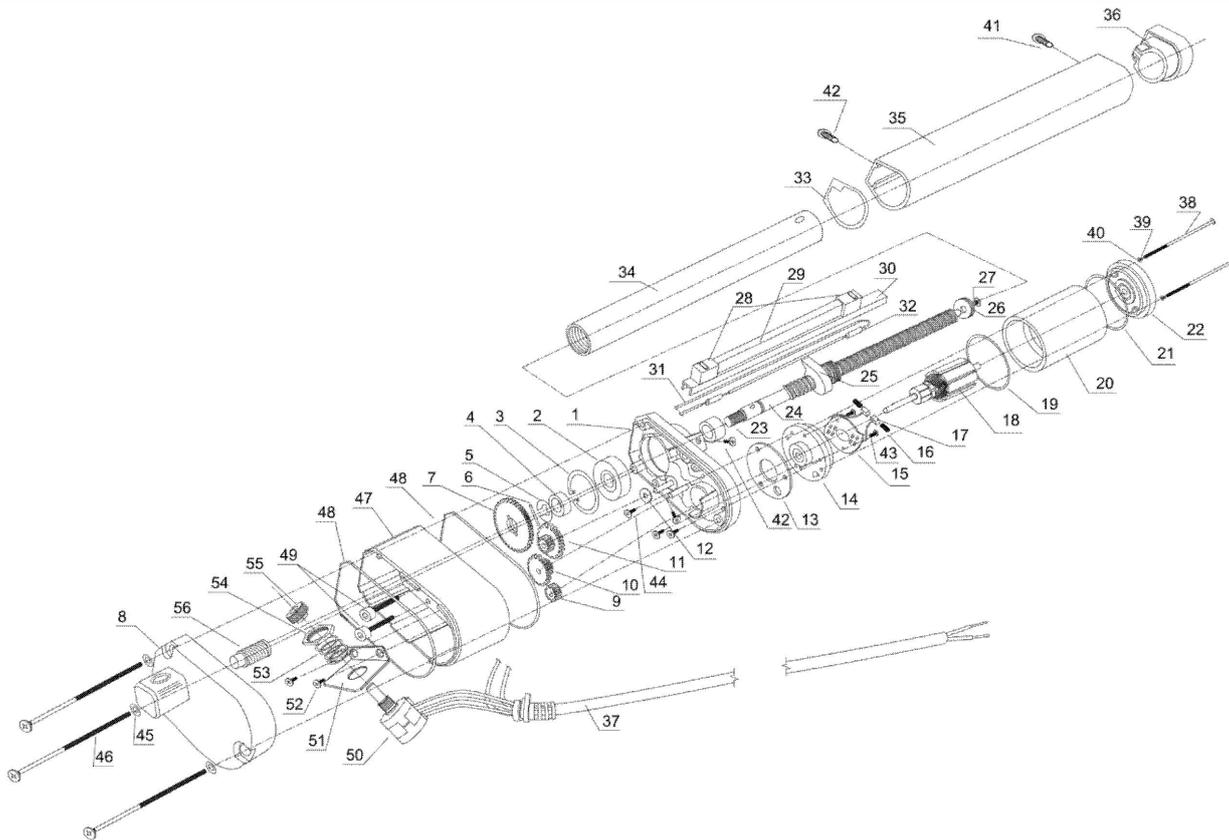
LINEAR ACTUATOR

WITH POTENTIOMETER

www.kalatec.com.br



ACTUATOR INTERNALS





D-24P LINEAR ACTUATOR WITH POTENTIOMETER

www.kalatec.com.br



ACTUATOR ASSEMBLY EXPANDED VIEW PARTS DESCRIPTION

Item	Description	Qty
1	Actuator base	1
2	Shaft Bearing	1
3	Shaft Bearing Lock	1
4	Shaft Base Spacer	1
5	Shaft Base Spacer Lock	1
6	Shaft Gear Wheel Holder	1
7	Shaft Gear Wheel	1
8	Base Cover with Mounting Support	1
9	Electric Motor Gear Wheel	1
10	Small Intermediate Gear Wheel	1
11	Medium Intermediate Gear Wheel	1
12	Teflon Washer	1
13	Electric Motor Base Washer	1
14	Electric Motor Base	1
15	Brush Holder PCB	1
16	Electric Motor Brush	2
17	Electric Motor Brush Spring	2
18	Electric Motor Rotor	1
19	Motor Enclosure Bottom Washer	1

Item	Description	Qty
29	Limit Switches Spacer	1
30	Limit Switches Base	1
31	Limit Switches Wiring	1
32	Diode	2
33	Shaft Encloser Bottom Washer	1
34	Shaft with Mounting Hole	1
35	Shaft Encloser	1
36	Shaft Enclosure Top Cap	1
37	Power Cable	1
38	Motor Enclosure Screw	2
39	Motor Screw Spring Washer	2
40	Motor Screw Washer	2
41	Shaft Enclosure Top Cap Screw	1
42	Shaft Enclosure Base Screw	3
43	Brush Holder PCB Screw	2
44	Motor Base Screw	3
45	Base Cover Washer	3
46	Base Cover Screw	3
47	Base Extension	1



D-24P

LINEAR ACTUATOR

WITH POTENTIOMETER

www.kalatec.com.br



20	Electric Motor Encloser with Stator	1
21	Motor Enclosure Top Washer	1
22	Electric Motor Cap with Rotor Bearing	1
23	Shaft Spacer	1
24	Treaded Shaft Drive / Lead Screw	1
25	Shaft Base with Limit Switches Arm	1
26	Shaft Drive End Support	1
27	Shaft Drive End Support Screw	1
28	Limit Switch	2

48	Base Extension gasket	2
49	Base Extension Screw	2
50	Potentiometer	1
51	Potentiometer Bracket	1
52	Potentiometer Bracket Screw	2
53	Potentiometer Washer	3
54	Potentiometer Nut	1
55	Potentiometer Gear	1
56	Shaft Gear	1

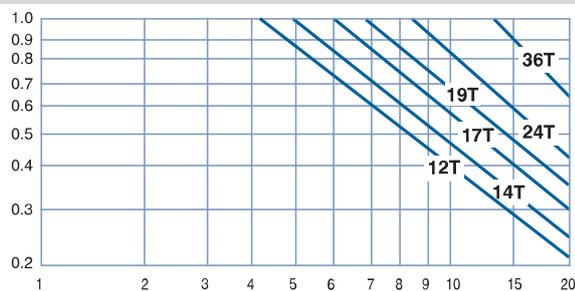
Flush Grid		
	pol	mm
Passo	0,50	12,7
Largura mínima	8	203
Incrementos de largura	0,50	12,7
Tamanho da abertura (aproximado)	0,87 × 0,30	22,1 × 7,6
	0,66 × 0,30	16,8 × 7,6
Área aberta	48%	
Estilo de articulação	Aberta	
Método de acionamento	Acionada na articulação	
Retenção da vareta; tipo de vareta	Borda ocluída; sem cabeça	
Observações sobre o produto		
<ul style="list-style-type: none"> Antes de projetar um equipamento ou encomendar uma esteira, entre em contato com a Intralox para obter medidas precisas das esteiras e o status do estoque. Superfície lisa, com bordas totalmente niveladas. O material detectável tem resistividade de superfície segundo a norma ASTM_D257 de 545 ohms por unidade de área. Informações detalhadas sobre o material são apresentadas no início da <i>Seção 2: Linha de Produtos</i>. Diâmetro da vareta: 0,140 pol (3,6 mm). Projetada para uma barra frontal de 0,5 pol (12,7 mm) de diâmetro. 		
		
		
A - Sentido do trajeto preferencial		

Dados da esteira							
Material da esteira	Material padrão da vareta Ø 0,140 pol (3,6 mm)	Resistência da esteira		Faixa de temperatura (contínua)		Peso da esteira	
		lb/pé	kg/m	°F	°C	lb/pé²	kg/m²
Polipropileno	Polipropileno	125	186	34 a 220	1 a 104	0,44	2,12
Polipropileno	Acetal	150	223	34 a 200	1 a 93	0,51	2,40
Náilon HR	Náilon	175	260	-50 a 240	-46 a 116	0,58	2,83
Náilon HHR	Náilon HHR	175	260	-50 a 310	-46 a 154	0,58	2,83
Acetal	Acetal	240	357	-50 a 200	-46 a 93	0,73	3,56
Acetal detectável	Acetal	200	298	-50 a 200	-46 a 93	0,69	3,35
Polipropileno detectável A22	Acetal	80	119	0 a 150	-18 a 66	0,57	2,78
Acetal do detector de raio X ¹	Acetal	240	357	-50 a 200	-46 a 93	0,78	3,66

¹ Projetado especificamente para ser detectado por aparelhos de raio X.

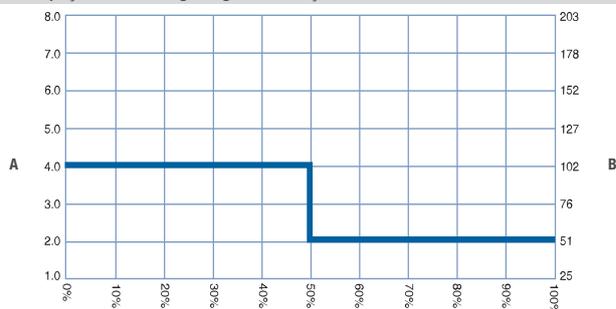
Referência para quantidade de engrenagens e suportes

Faixa de largura da esteira ¹		Número mínimo de engrenagens por eixo ²	Guias de desgaste	
pol	mm		Soleira	Retorno
8	203	3	3	2
10	254	3	3	2
12	305	3	3	2
14	356	3	4	3
16	406	5	4	3
18	457	5	4	3
20	508	5	5	3
22	559	5	5	3
24	610	7	5	3
26	660	7	6	4
28	711	7	6	4
30	762	7	6	4
32	813	9	7	4
34	864	9	7	4
36	914	9	7	4
38	965	9	8	5
40	1016	11	8	5
42	1.067	11	8	5
44	1118	11	9	5
46	1168	11	9	5
48	1219	13	9	5
50	1270	13	10	6
52	1321	13	10	6
54	1372	13	10	6
56	1422	15	11	6
58	1473	15	11	6
60	1524	15	11	6
62	1575	15	12	7
64	1626	17	12	7
Para outras larguras, use um número ímpar de engrenagens com espaçamento máximo da linha de centro de 4 pol (102 mm). ³			Espaçamento máximo da linha de centro de 6 pol (152 mm)	Espaçamento máximo da linha de centro de 12 pol (305 mm)

Fator de resistência

Razão velocidade/comprimento (V/L)

Divida a velocidade da esteira (V) pela distância (L) da linha de centro do eixo. O fator de resistência é obtido pela intersecção da razão velocidade/comprimento e a curva correspondente à engrenagem usada. Consulte *Instruções para seleção de esteiras* para obter mais informações.

V = pés/min (m/min) T = número de dentes L = pés (m)

Espaçamento da engrenagem em função da resistência da esteira utilizada

Porcentagem da resistência admissível da esteira usada

A Espaçamento das engrenagens, pol
B Espaçamento das engrenagens, mm

¹ As esteiras estão disponíveis em larguras com incrementos de 0,50 pol (12,7 mm), iniciando com o mínimo de 8 pol (203 mm). Se a largura real for essencial, entre em contato com o Serviço de Atendimento ao Cliente da Intralox.

² Este número é o número mínimo. Aplicações de carga pesada podem necessitar de engrenagens adicionais

³ Trave a engrenagem central. Se estiver usando apenas duas engrenagens, trave as engrenagens somente no trajeto da manga do eixo motriz. Consulte o Quadro de localização da engrenagem fixa nas Instruções de Instalação ou entre em contato com o Atendimento ao Cliente da Intralox para verificar o local do travamento.

Engrenagem moldada¹

Número de dentes (ação poliédrica)	Larg. nom. do passo pol	Larg. nom. do passo mm	Larg. nom. externo pol	Larg. nom. externo mm	Larg. nom. do cubo (pol)	Larg. nom. do cubo (mm)	Tamanhos de orifício disponíveis				
							U.S.		Métrico		
							Redondo em pol ²	Quadrado pol	Redondo mm ^b	Quadrado mm	
10 (4,89%)	1,6	41	1,8	46	0,65	17		5/8			
12 (3,41%)	1,9	48	2,1	53	0,65	17	1	1,0	25		
14 (2,51%)	2,3	58	2,4	61	0,75	19	3/4, 1, 1-3/16, 1-1/4	1,0	25		
17 (1,70%)	2,7	69	2,9	73	0,75	19	3/4, 1, 1-3/16, 1-1/4, 1-3/8		25		
19 (1,36%)	3,1	79	3,2	82	0,75	19	1, 1-3/8				
24 (0,86%)	3,8	97	4,0	101	0,75	19	1	1,5	25	40	
36 (0,38%)	5,7	145	5,9	150	0,75	19	1	1,5, 2		40	


Engrenagem bipartida em náilon FDA³

Número de dentes (ação poliédrica)	Larg. nom. do passo pol	Larg. nom. do passo mm	Larg. nom. externo pol	Larg. nom. externo mm	Larg. nom. do cubo (pol)	Larg. nom. do cubo (mm)	Tamanhos de orifício disponíveis				
							Tamanhos		Métrico		
							Redondo em pol ⁴	Quadrado pol	Redondo mm ⁴	Quadrado mm	
24 (0,86%)	3,8	97	4,0	101	1,5	38				40	
36 (0,38%)	5,7	145	5,9	150	1,5	38				40	



Talisca com base Flush Grid (lisas)

Altura disponível da talisca		Materiais disponíveis
pol	mm	
1	25	Acetal, náilon HR

- Talisca retas em ambos os lados.
- Cada talisca sai do centro de um módulo de suporte, moldada como uma peça inteira. Não é necessária fixação.
- Alturas de voo personalizadas estão disponíveis. Entre em contato com o Serviço de Atendimento ao Cliente da Intralox para obter mais informações.
- O recuo mínimo é uma função da largura da esteira. Faixa de recuo mínima: 3 pol (76 mm) a 3,75 pol (95 mm).



¹ Entre em contato com o Serviço de Atendimento ao Cliente sobre os tempos de entrega.

² As dimensões tamanhos das chavetas em engrenagens com furo redondo conforme a norma ANSI B17.1-1967 (R1989) e tamanhos das chavetas métricas conforme a norma DIN 6885.

³ Entre em contato com o Serviço de Atendimento ao Cliente da Intralox para obter informações sobre tempos de produção.

⁴ As dimensões de chaveta no sistema imperial nas engrenagens com orifício redondo atendem à norma ANSI B17.1-1967 (R1989) e os tamanhos de chaveta no sistema métrico atendem à norma DIN 6885.

I.2 ATUADORES

I.2.1 Atuadores pneumáticos

I.2.1.1 Propriedades físicas

Para melhor contextualizar as vantagens da utilização da pneumática, existem três propriedades físicas do ar que proporcionam à pneumática o status de custo baixo, limpa e altamente rentável. São elas: expansibilidade, compressibilidade e elasticidade.

- Expansibilidade

Por não ter forma definida, o ar, como todos os gases, adquire a forma do recipiente que o contém, ocupando completamente seu espaço, além de não demandar nenhum esforço para alterá-la. A Figura 2 mostra a habilidade do ar de ocupar diferentes formatos de recipiente.

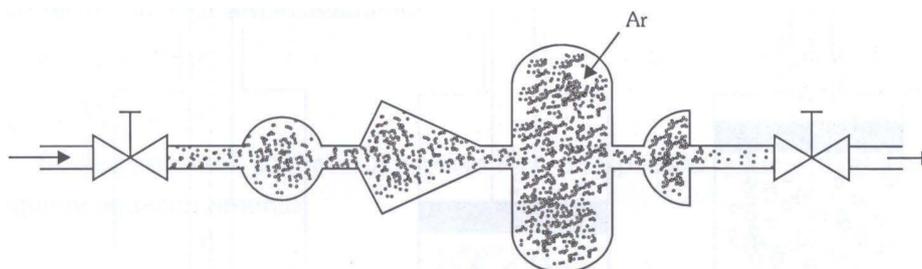


Figura 2: Expansibilidade do ar.

Fonte: Fialho [7].

- Compressibilidade a temperatura constante

Analogamente à expansibilidade do ar, se um gás pode se expandir para ocupar um recipiente, é possível, por esforços mecânicos, comprimi-lo. Assim, tem-se a propriedade da compressibilidade, em que tendo um recipiente hermeticamente fechado e uma válvula para impedir a saída do ar, pode-se insuflá-lo o quanto desejado até o limite de resistência do reservatório. Ainda, é possível também reduzir o volume de um recipiente para comprimir o ar ali encontrado.

Ao analisar a compressibilidade a temperatura constante, tem-se a Lei de Boyle-Mariotte, que explica a relação entre pressão e volume é constante para uma mesma temperatura, como exemplificado pela Figura 3 e pela Eq. (1).

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 = P_3 \cdot V_3 = cte \quad (1)$$

- Elasticidade

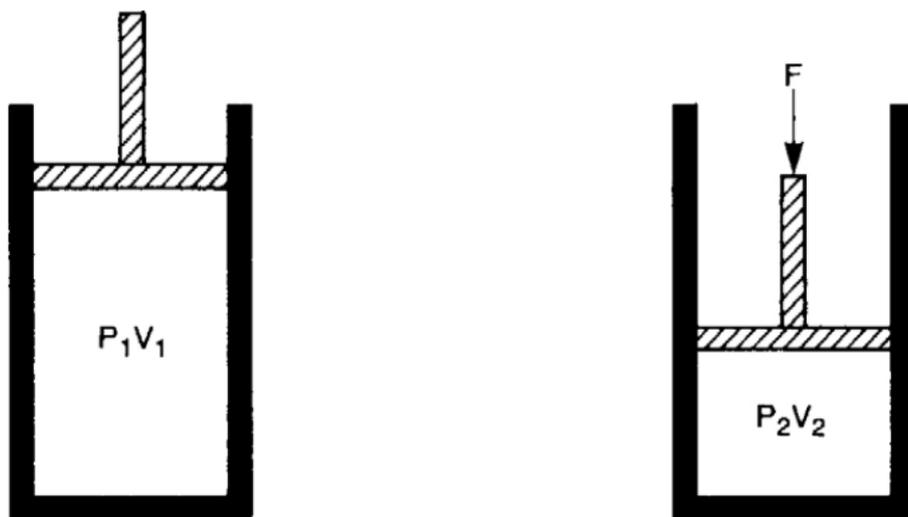


Figura 3: Exemplo com três estágios de compressão de um ar a temperatura constante.

Fonte: Parr [8].

Por fim, a terceira propriedade física do ar essencial para a pneumática é a elasticidade, que possibilita ao gás retornar ao seu volume inicial assim que o esforço de compressão é eliminado, como mostrado na Figura 4.

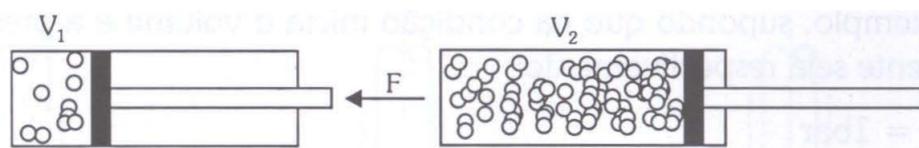


Figura 4: Elasticidade do ar atuando para retornar o gás ao seu estado inicial.

Fonte: Fialho [7].

1.2.1.2 Compressores

Para ser utilizado como fonte de energia na pneumática, o ar deve ser colocado em condições adequadas de pressão por meio de compressores, que podem ser volumétricos ou dinâmicos. Nos compressores volumétricos a elevação de pressão é obtida através da redução do volume ocupado pelo gás, cujo funcionamento constitui a admissão do gás no interior da câmara de compressão, que é fechada e tem seu volume reduzido. Então, a câmara é aberta, liberando o gás para consumo, formando um processo intermitente, em que a compressão ocorre em sistema fechado. Já os compressores dinâmicos (turbocompressores) possuem o impelidor e o difusor. O impelidor é um órgão rotativo munido de pás que transfere, na forma cinética e de entalpia, ao gás a energia recebida de um acionador. Então, o difusor recebe o escoamento do impelidor e transforma a energia cinética em entalpia, resultando no ganho de pressão. Diferente dos compressores volumétricos, os dinâmicos efetuam o processo de maneira contínua, correspondendo, assim, a um volume de controle. A Figura 5 classifica os tipos de compressores mais utilizados na

indústria, de acordo com o princípio conceutivo.

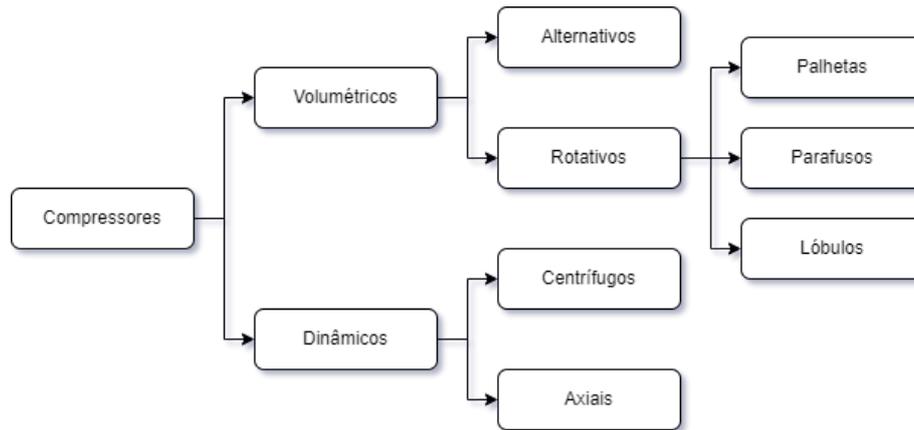


Figura 5: Quadro geral dos compressores utilizados na indústria.

Fonte: autoria própria.

- Compressores alternativos

O compressor alternativo utiliza um sistema biela-manivela para converter a rotação de um eixo em translação de um pistão. Assim, a cada rotação do acionador, o pistão efetua um percurso de ida e outro de vinda, estabelecendo um ciclo de operação. Esse ciclo está associado ao comportamento das válvulas, que possuem o obturador, um elemento que compara as pressões externa e interna. Ainda, o ciclo de funcionamento possui 4 etapas (também destacadas na Figura 6):

1. admissão: afastamento do pistão em relação ao cabeçote, reduzindo a pressão no interior do cilindro e abrindo a válvula de sucção, aspirando o gás para dentro;
2. compressão: pistão se movimenta em direção ao cabeçote, comprimindo o gás até a pressão interna ser suficiente para abrir a válvula de descarga;
3. descarga: expulsão do gás devido à abertura da válvula de descarga e ao movimento do pistão até o fim do curso;
4. expansão: afastamento do pistão em relação ao cabeçote com as duas válvulas fechadas.

Os compressores alternativos podem ser de um ou mais estágios, a depender da pressão desejada. No caso dos compressores com dois estágios ou mais, é necessário aplicar um sistema de refrigeração devido à alta temperatura atingida pelo gás por ser submetido à sucessivas compressões. Os compressores alternativos podem ser de dois tipos: de simples ação, em que o ar é comprimido apenas durante o movimento ascendente do pistão, ou de dupla ação, em que a compressão do ar ocorre nos dois sentidos de deslocamento do pistão.

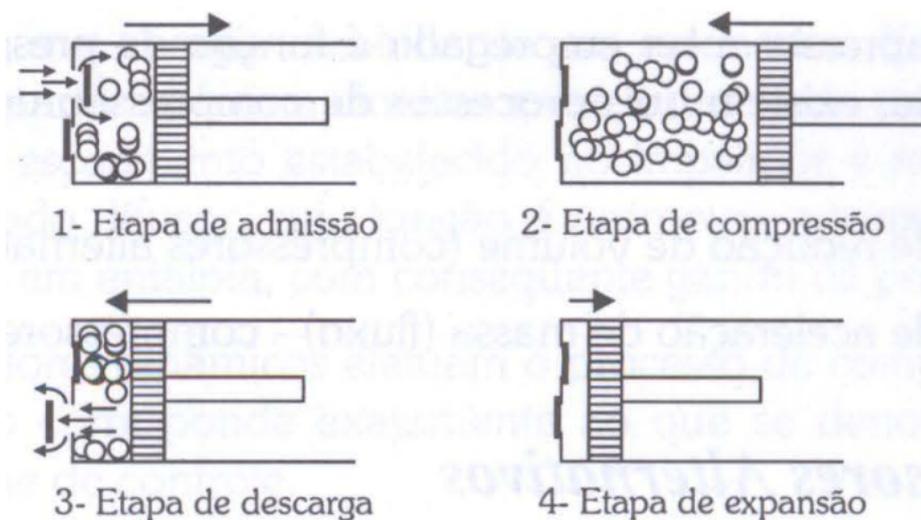


Figura 6: Etapas do ciclo de funcionamento de um compressor alternativo.

Fonte: Fialho [7].

- Compressores rotativos

A partir de movimentos rotacionais de elementos internos, os compressores rotativos promovem a sucção e compressão do ar até que a pressão determinada para uso seja atingida. Podem ser de três tipos: de palhetas, de parafuso e de lóbulos:

1. compressor de palhetas: possui um rotor excêntrico com rasgos radiais nos quais são encaixadas palhetas retangulares. Com o giro do rotor, as palhetas deslocam-se radialmente, mantendo contato com a carcaça, e o gás é aspirado para os espaços de maior volume definidos pelas palhetas e, devido ao giro, são levados por espaços de menor volume até a descarga, onde são expulsos com maior pressão.
2. compressor de parafuso: utiliza um conjunto de dois rotores macho-fêmea que giram em sentido contrário e possuem condição de engrenamento. As aberturas de sucção e descarga estão diametralmente opostas e o caminho do gás entre elas passa pelos rotores, ocupando os intervalos entre os filetes. Devido ao engrenamento e redução do espaço para o gás, ocorre a compressão.
3. compressor de lóbulos: possui uma carcaça e dois rotores descentrados que transportam o gás desde a zona de aspiração até a zona de descarga, onde há compressão do gás devido há redução de volume.

- Compressores dinâmicos

Os compressores dinâmicos, diferentemente dos volumétricos, funcionam com a aceleração de massa e podem ser de dois tipos: axial (turbocompressor) ou radial (centrífugo). No caso do

turbocompressor, a aceleração do ar ocorre axialmente, ao longo do eixo, por uma série de lâminas rotativas. Já no caso do centrífugo, o ar é submetido a um aumento progressivo de pressão desde a aspiração até a descarga, passando por uma sucessão de rodas e pás colocadas em série sobre o mesmo eixo.

- Escolha de um compressor

Durante a escolha de um compressor, as características mais importantes a serem analisadas são o volume de ar fornecido, a pressão, o acionamento e o sistema de regulação, da seguinte forma:

- Volume de ar fornecido:

- * volume teórico: definido pelo produto do volume cilíndrico pelo número de rotações do compressor;
- * volume efetivo: definido em função da eficiência volumétrica dos compressores (rendimento), que varia de acordo com o tipo de compressor.

- Pressão:

- * pressão de regime: pressão do ar quando armazenado no reservatório e que será fornecida e distribuída pelo compressor por toda a linha;
- * pressão de trabalho: pressão necessária ao acionamento dos mecanismos, deve ser menor que a pressão de regime.

- Acionamento:

- * motor elétrico: aplicado aos compressores de uso nas indústrias e oficinas;
- * motor a explosão: aplicado em situações com limitação de energia elétrica.

- Sistema de regulação:

- * regulação por descarga: quando atingida a pressão máxima previamente determinada, uma válvula reguladora de pressão do tipo alívio é acionada para descarregar o ar comprimido;
- * regulação por fechamento: semelhante à regulação por descarga, mas utilizando uma válvula 1/2 com retorno por mola, que só permite a comutação da válvula quando a pressão de fechamento é atingida;
- * regulação por garras: acionamento de mecanismo do tipo garra quando a pressão atinge um valor predeterminado, mantendo a válvula de admissão aberta até que a pressão seja reduzida;
- * regulação por rotação: ocorre desaceleração do motor, reduzindo a aspiração de ar até que a pressão atinja o nível mínimo predeterminado;
- * regulação intermitente: utiliza um pressostato ligado à rede de alimentação do motor, que promove o desligamento de uma chave contactora e, conseqüentemente, do motor.

1.2.1.3 Atuadores pneumáticos

- Atuadores pneumáticos lineares

- Atuadores pneumáticos lineares de dupla ação

Diferentemente dos atuadores de simples efeito, essa categoria tem como principal diferencial a entrada e saída de ar pelas duas extremidades, resultando na aplicação de força pelo equipamento nos dois sentidos de movimentação do êmbolo (Figura 7).

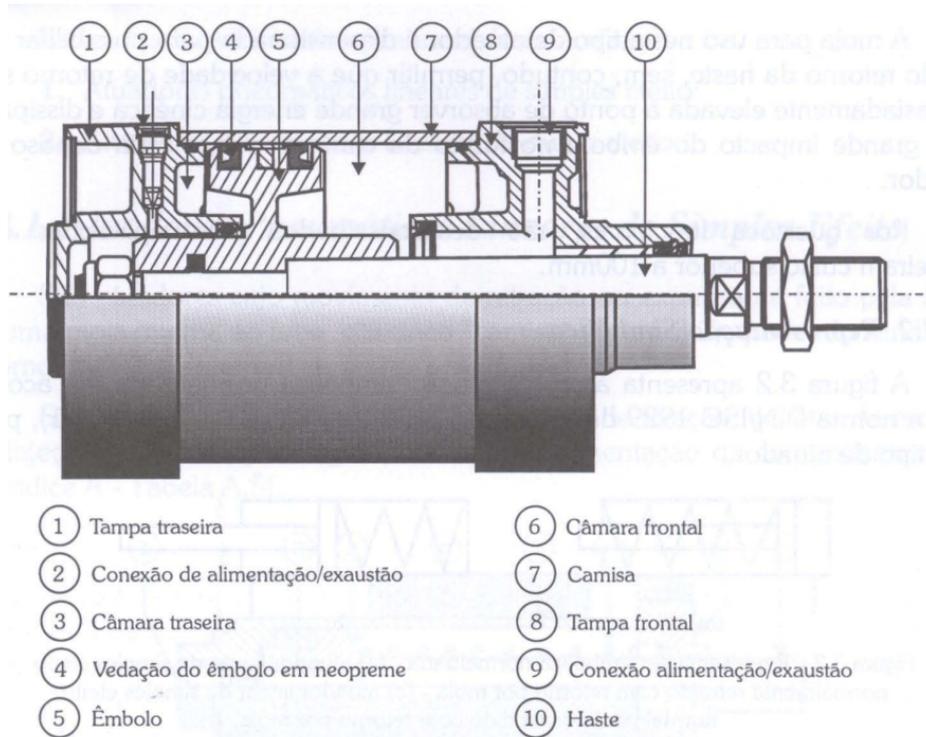


Figura 7: Esquematização de atuador linear de dupla ação.

Fonte: Fialho [7].

O atuador não acionado é mantido recuado, com sua câmara frontal preenchida, e seu funcionamento depende unicamente da válvula controladora direcional, que quando comutada, permite o preenchimento da câmara traseira até superar as forças que impedem o movimento da haste, promovendo, assim, a expulsão do ar por uma das extremidades. O atuador permanecerá nesse estado até que a válvula seja novamente comutada.

- Atuadores Pneumáticos Lineares com Amortecimento

Nos atuadores pneumáticos, os amortecedores de fim de curso tem como objetivo absorver a energia cinética excessiva com a qual o conjunto (haste+embolo) avança ou retorna, devido à sua alta velocidade de deslocamento. Um sistema pneumático trabalha com pressão reduzida em comparação a um sistema hidráulico e, por isso, os atuadores pneumáticos são

produzidos em materiais mais leves e frágeis, o que mantém, muitas vezes, a necessidade de aplicação de amortecedores.

I.2.1.4 Válvulas

Sistemas pneumáticos demandam a aplicação de válvulas solenoides de controle para direcionar e regular o fluxo do fluido desde o compressor até os atuadores. Basicamente, existem dois tipos de válvulas: de controle direcional e de regulagem de fluxo. As válvulas de controle direcional atuam de maneira binária, ou seja, permitindo a passagem completa do fluxo ou bloqueando por inteiro. Por outro lado, as válvulas de regulagem de fluxo possibilitam o controle variável da passagem de fluido, podendo ser comparada analogamente a um potenciômetro. A Figura 8 mostra um exemplo de válvula 4/3 operada por solenoide, com retorno por mola para a posição central.

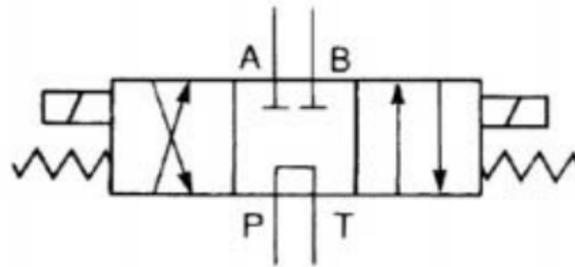


Figura 8: Exemplo de válvula 4/3 operada por solenoide, com retorno por mola.

Fonte: Parr [8].

I.3 TÚNEL DE CALOR

Analisando as máquinas de embalagem já existentes no mercado, percebe-se que, em sua grande maioria, um túnel de calor é utilizado para conformar o plástico em volta das latas e garrafas. Assim, é necessário entender os conceitos por trás das diferentes soluções do túnel de calor de modo a possibilitar o melhor dimensionamento do mesmo.

I.3.1 Transferência de calor

Chama-se transferência de calor a ciência que estuda as taxas de transferência do calor (calor transferido por unidade de tempo), que é definido como a forma de energia que pode ser transferida de um sistema para outro em situações de diferença de temperatura entre eles (Çengel e Ghajar [36]). Pelo fato das taxas de transferência de calor serem o foco dessa ciência, o tempo de aquecimento ou resfriamento e a variação de temperatura de um sistema são, conseqüentemente, objetivos de estudo da mesma.

A transferência de energia enquanto calor ocorre sempre do sistema com maior temperatura para o de menor temperatura, sendo interrompida assim que ambos os sistemas atingem a mesma temperatura. Tal transferência pode ser feita de três modos: condução, convecção e radiação, que serão abordados a seguir, uma vez que o seu entendimento é fundamental para o futuro do projeto. Esses modos de transferência podem ou não ocorrer simultaneamente, a depender de características como transparência do corpo, escoamento do fluido, entre outros.

1.3.1.1 Condução

A condução (Figura 9) é um processo que ocorre a níveis atômicos e moleculares e pode ser entendida como a transferência de energia das partículas mais energéticas para as menos energéticas de uma substância devido às interações entre partículas (Incropera et al. [37]). A condução pode ocorrer em líquidos e gases, devido às colisões e difusões das moléculas em seus movimentos aleatórios, e também nos sólidos, por meio da combinação das vibrações das moléculas em rede, sendo a energia transportada por elétrons livres.

A taxa de condução de calor por um meio depende da geometria, da espessura, do tipo de material e da diferença de temperatura, sendo expressa por:

$$\dot{Q}_{cond} = k \cdot A \cdot \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}, \quad (2)$$

que em sua forma diferencial no caso-limite $\Delta x \rightarrow 0$, fica:

$$\dot{Q}_{cond} = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}, \quad (3)$$

denominada lei de Fourier para condução térmica, em que k é a condutividade térmica do material, Δx é a espessura e A é a área.

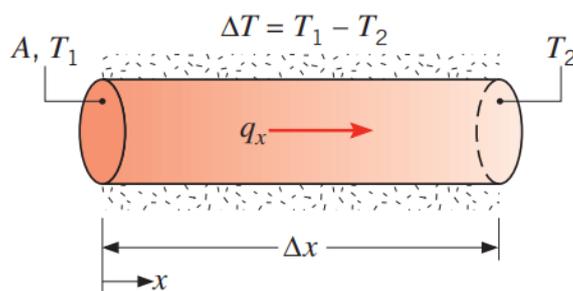


Figura 9: Exemplo de transferência de calor por condução.

Fonte: Incropera et al. [37].

A condutividade térmica k , expressa no S.I. em $\frac{W}{m \cdot K}$, é a taxa de transferência de calor por meio de uma unidade de comprimento de um material por unidade de área por unidade de temperatura. Resumindo, é a medida da capacidade de o material conduzir calor, em que um alto valor

indica que o material é bom condutor de calor, como diamante e metais, enquanto um valor baixo indica que o material é mau condutor, sendo chamado, nesse caso, de isolante, como borracha ou lã de vidro.

Outros dois conceitos da condução são a capacidade térmica e a difusividade térmica. A capacidade térmica, representada por ρc_p , é a capacidade de armazenamento de calor de um material, assim como o calor específico c_p , a diferença sendo que a capacidade térmica é expressa em unidade de volume ($\frac{J}{m^3 \cdot K}$), enquanto o calor específico é em unidade de massa ($\frac{J}{kg \cdot K}$).

A difusividade térmica α ($\frac{m^2}{s}$), então, nada mais é do que a razão entre a condutividade térmica e a capacidade térmica, ou seja, é a razão entre o calor conduzido por meio do material e o calor armazenado por unidade de volume. Um alto valor de difusividade térmica significa que o calor irá se propagar rapidamente no meio, com pouco calor sendo absorvido, enquanto em caso de baixa difusividade a quantidade de calor conduzida adiante é menor e a maior parte do calor é absorvida.

$$\alpha = \frac{\text{Condução de calor}}{\text{Armazenamento de calor}} = \frac{k}{\rho c_p} \quad (4)$$

1.3.1.2 Convecção

O modo de convecção depende tanto do movimento molecular aleatório (difusão) quanto do movimento de um fluido, sendo assim uma combinação do processo de condução com o movimento do fluido. Ou seja, caso não haja nenhum movimento de massa de fluido, ocorrerá apenas a condução. Quanto mais rápido for o movimento, maior será a transferência de calor por convecção, apesar de dificultar a determinação das taxas de calor.

A convecção (Figura 10) é chamada de forçada se um agente externo, como vento, bomba ou ventilador, é responsável por forçar o fluido a fluir sobre a superfície. Por outro lado, chama-se de convecção natural ou livre quando o movimento do fluido se dá apenas pela diferença de densidade entre o ar quente (mais leve) próximo ao corpo e o ar frio (mais pesado) longe do corpo. A lei de Newton do resfriamento expressa a taxa de transferência de calor por convecção:

$$\dot{Q}_{conv} = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_\infty), \quad (5)$$

em que h é o coeficiente de transferência de calor por convecção, expresso em $\frac{W}{m^2 \cdot K}$, A_s é a área da superfície por meio da qual ocorre o fenômeno, T_s é a temperatura da superfície e T_∞ é a temperatura do fluido distante da superfície.

1.3.1.3 Radiação

Segundo a lei fundamental da natureza proposta por Pierre Prevost em 1791, a Lei de Prevost, qualquer corpo acima da temperatura de zero Kelvin emite radiação (Balaji et al. [38]). Duas

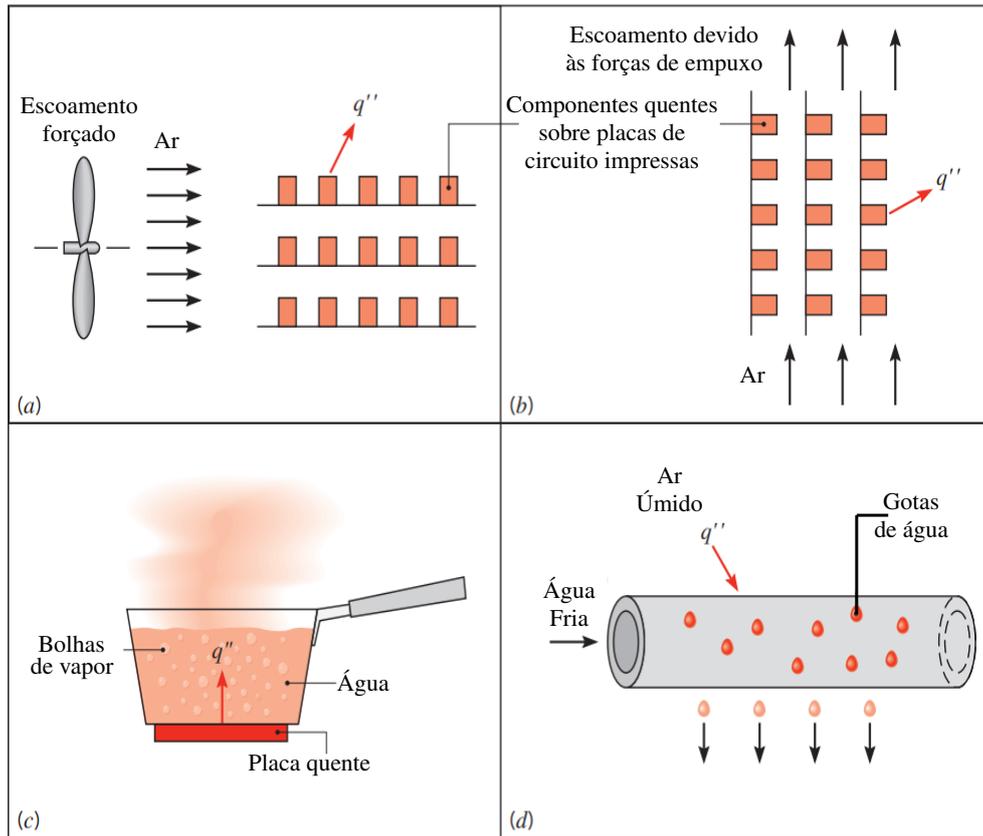


Figura 10: Processos de transferência de calor por convecção. (a) Convecção forçada. (b) Convecção natural. (c) Ebulição. (d) Condensação.

Fonte: adaptado de Incropera et al. [37].

teorias são amplamente aceitas para descrever e caracterizar a radiação (Figura 11): a teoria eletromagnética, utilizada para escrever diversas propriedades da radiação, e a teoria quântica, a única capaz de explicar o comportamento de um corpo negro.

Pela teoria eletromagnética, a radiação se desloca como uma onda eletromagnética e depende da velocidade c , do comprimento de onda λ e da frequência ν conforme Equação 6:

$$c = \nu \cdot \lambda \quad (6)$$

Já pela teoria quântica, propõe-se que a radiação é propagada na forma de pacotes de energia chamados quanta, e essa energia é dada por:

$$E = h \cdot \nu \quad (7)$$

onde h é a constante de Planck igual a $6,629 \times 10^{-34} J \cdot s$.

A taxa máxima de radiação que pode ser emitida de uma superfície na temperatura termodinâmica T_s é dada pela lei de Stefan-Boltzmann, dada pela Equação 8:

$$\dot{Q}_{emit,max} = \sigma \cdot A_s \cdot T_s^4 \quad (8)$$

em que $\sigma = 5,670 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$ é a constante de Stefan-Boltzmann. Chama-se de corpo negro a superfície ideal capaz de emitir a taxa apresentada na Equação 8. Assim, como a radiação emitida por superfícies reais é menor que a radiação de corpo negro, é necessário utilizar a Equação 9:

$$\dot{Q}_{emit} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_s \cdot T_s^4 \quad (9)$$

que considera a emissividade ε das superfícies reais, que pode variar de 0 a 1, $\varepsilon = 1$ a emissividade do corpo negro. De maneira análoga, tem-se a absorptividade α , que é a fração de energia de radiação incidente sobre a superfície que a absorve e seu valor está na faixa $0 \leq \alpha \leq 1$ e, assim como ocorre com a emissividade, a absorptividade do corpo negro é $\alpha = 1$, tornando-o, assim, um perfeito absorvedor e um perfeito emissor.

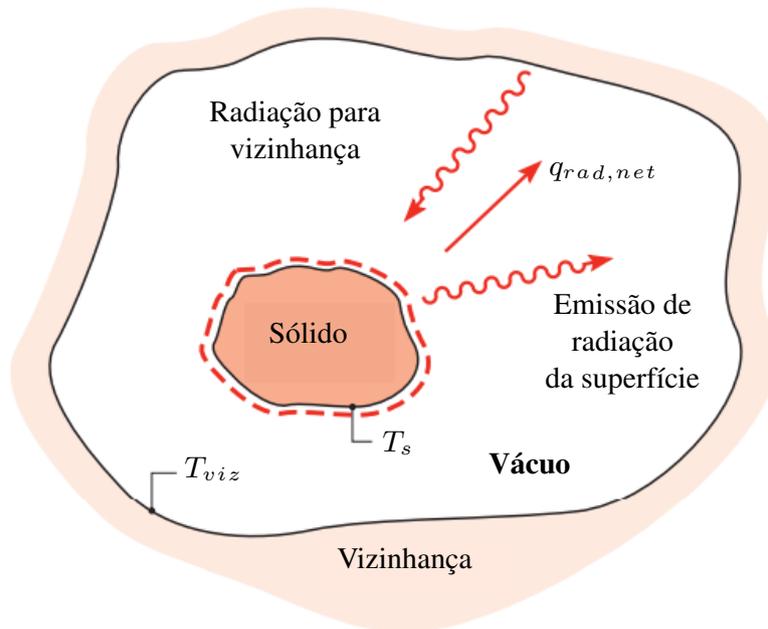


Figura 11: Resfriamento de um sólido quente por transferência de calor por radiação.

Fonte: adaptado de Incropera et al. [37].

1.3.2 Aquecimento por resistência elétrica

Também conhecido por aquecimento Joule ou ôhmico, o aquecimento por resistência elétrica (Figura 12) possui várias aplicações, sendo bastante utilizado em aquecedores e fogões elétricos (Kwok e Hahn [39]). Seu funcionamento consiste na passagem de corrente através de um elemento resistivo, que resulta na dissipação de potência pela Eq. (10):

$$P_e = i^2 \cdot R \quad (10)$$

em que P_e é a potência em W , i é a corrente em A e R é a resistência em Ω . A dissipação de potência é, então, a dissipação de calor para o meio.

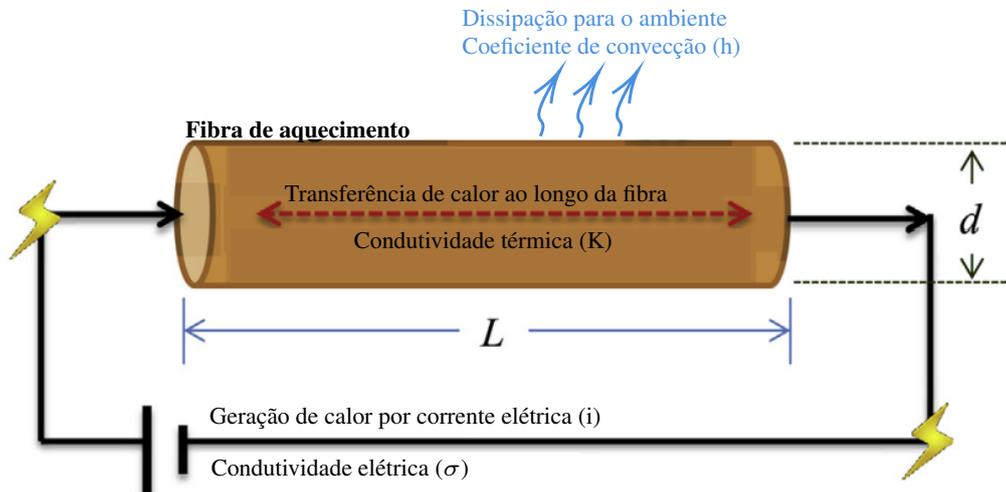


Figura 12: Esquematização do fenômeno de aquecimento por resistência elétrica.

Fonte: adaptado de Chien et al. [40].

Atualmente, diversos materiais podem ser utilizados para realizar a dissipação de calor, como fibras de carbono, mas as ligas mais presentes na indústria são as de Nicromo, baseadas em Ni (níquel) e Cr (cromo), por serem de alta resistividade, de aproximadamente $\rho = 1,50 \times 10^{-6} \Omega \cdot m$ (Serway e Jr. [41]), e suportarem altas temperaturas, acima dos $1000 \text{ }^\circ C$, além de possuírem elevada resistência mecânica, e também a liga Constantan, com resistividade $\rho = 0,49 \times 10^{-6} \Omega \cdot m$ e baixo coeficiente de temperatura de $8 \times 10^{-5} \text{ }^\circ C^{-1}$ a $20 \text{ }^\circ C$, isto é, sua resistividade sofre poucas alterações conforme ocorre a mudança de temperatura (O'Malley [42]).

O fenômeno de aquecimento Joule pode, ainda, ser combinado com outros equipamentos, como ventiladores, para gerar mecanismos mais eficazes de transferência de calor, como a convecção forçada que ocorre a partir da união desses dois métodos.

1.3.3 Comportamento térmico do plástico

Um tópico de suma importância para o desenvolvimento deste trabalho é o comportamento do plástico quando submetido ao aumento de temperatura, visto que a conformação do plástico filme em torno das latas para formação do *pack* será feita a partir da aplicação de calor. Na Brasal Refrigerantes usa-se, principalmente, o plástico filme de polietileno de baixa densidade (LDPE), que será utilizado como referência para o projeto do túnel de calor. A Tabela 1 apresenta as

principais propriedades de interesse do LDPE.

Tabela 1: Propriedades do polietileno de baixa densidade (LDPE).

Propriedade	Valor médio
Densidade	923 $\frac{kg}{m^3}$
Espessura	0,05 mm
Limite de resistência à tração	12,9 MPa
Tensão de escoamento	11,7 MPa
Módulo de elasticidade	0,244 MPa
Temperatura de selagem	104 °C
Ponto de fusão	113 °C
Ponto de amolecimento	94,7 °C

Fonte: MatWeb [29].

Para este projeto, as propriedades fundamentais são aquelas relacionadas à aplicação de calor: a temperatura de selagem e os pontos de fusão e amolecimento e serão utilizadas como principais parâmetros para o dimensionamento do sistema de conformação do plástico.

I.4 DIMENSIONAMENTO DO RODÍZIO DO TÚNEL DE CALOR

```
%%%%%%%%%%%%% DIMENSIONAMENTO DO RODÍZIO DO TÚNEL DE CALOR
```

```
clc
clear all

PE = 150; %massa do equipamento - kg
PMC = 4.1; %massa do produto transportado - kg
N = 4; %número de rodízios
S = 1.5; %coeficiente de segurança
C = ((PE+PMC)/N)*S %carga atuante no rodízio - kg
```

I.5 DIMENSIONAMENTO DAS ESTEIRAS

```
%%%%%%%%%%%%% DIMENSIONAMENTO DAS ESTEIRAS
```

```
%%%%%%%%% MODELO: FLUSH GRID, SERIES 1500
```

```
%%%%%%%%% MATERIAL: ACETAL
```

```
clc
clear all

%%%%%%%%% Etapa 1: Cálculo da carga de tensão da esteira/do esticador
M = 101.86; %carga de produto - kg
W = 3.56; %peso da esteira - kg/m2
L = 0.8; %comprimento do transportador - m
H = 0; %alteração de elevação - m
Fw = 0.10; %coeficiente de atrito entre a guia de desgaste e a esteira
Mp = 0; %carregamento devido a produto acumulado
BP = ((M+(2*W))*Fw+Mp)*L+(M*H) %carga de tensão - kg/m

%%%%%%%%% Etapa 2: Ajuste do BP para condições de serviço
SF = 1; %fator de serviço
ABP = BP*SF %tração ajustada da esteira - kg/m

%%%%%%%%% Etapa 3: Cálculo da resistência admissível
BS = 357; %resistência da esteira - kg/m
T = 1; %fator de temperatura
S = 0.8; %fator de resistência
ABS = BS*T*S %resistência admissível da esteira - kg/m

%%%%%%%%% Etapa 4: comparação entre ABS e ABP
if (ABS > ABP)
    printf("OK -> ");
else
    printf("QUEBRA -> ");
endif
```

```

##### Etapa 5: Espaçamento máximo do eixo motriz
ABSU = (ABP/ABS) %porcentagem da resistência admissível utilizada
Espmax = 102; %espaçamento máximo permitido
if (ABSU<0.5)
    printf("Esp = 102 mm -> ");
else
    printf("Esp = 51 mm -> ");
endif

##### Etapa 6: Confirmação da resistência do eixo motriz
d = 0.025; %diâmetro do eixo - m
rho = 7870; %massa específica do aço - kg/m3
B = 0.406; %largura da esteira - m
Q = rho*pi*(d/2)^2 %peso do eixo (seção circular) - kg/m
w = (ABP+Q)*B %carga total no eixo - kg
Ls = 490; %comprimento do eixo - mm
E = 19700; %módulo de elasticidade do aço - kg/mm2
I = pi*((d*1000)^4)/64 %momento de inércia (seção circular) - mm4
D = (5/384)*((w*(Ls^4
))/ (E*I)) %deflexão no eixo - mm
PD = 0.058; %passo diametral da engrenagem - m
T0 = ABP*B*PD/2 %torque a ser transmitido - kg.m

##### Etapa 7: Determinação da potência necessária para acionamento
V = 5; %velocidade linear da esteira - m/min
Bft = B*3.28084; %largura da esteira - ft
ABPft = ABP*2.20462/3.28084; %tração ajustada da esteira - lb/ft
Vft = V*3.28084; %velocidade linear da esteira - ft/min
HP_W = Bft*ABPft*Vft/6.12 %potência necessária - W
HP_HP = Bft*ABPft*Vft/33000 %potência necessária - HP
Omega = V/(pi*PD) %rotação nas engrenagens da esteira - rpm

```

I.6 DIMENSIONAMENTO DA MOLA DO SISTEMA DE CORTE

```

##### DIMENSIONAMENTO DA MOLA DE COMPRESSÃO DO SISTEMA DE CORTE
##### MATERIAL: FIO MUSICAL A228
##### EXTREMIDADE: AMBAS SIMPLES E RETIFICADAS
##### ACABAMENTO: JATEAMENTO DE GRANALHA

clc
clear all

##### DIMENSIONAMENTO PARA CARGA ESTÁTICA

d = 2.6; %diâmetro inicial da espira - mm
n = 1.5; %fator de segurança do projeto = fator de segurança de altura sólida
m = 0.145; %declividade - expoente m
A = 2211; %intersecção A - MPa.mm^m
Sut = A/(d^m); %resistência mínima de tração da mola - MPa

```

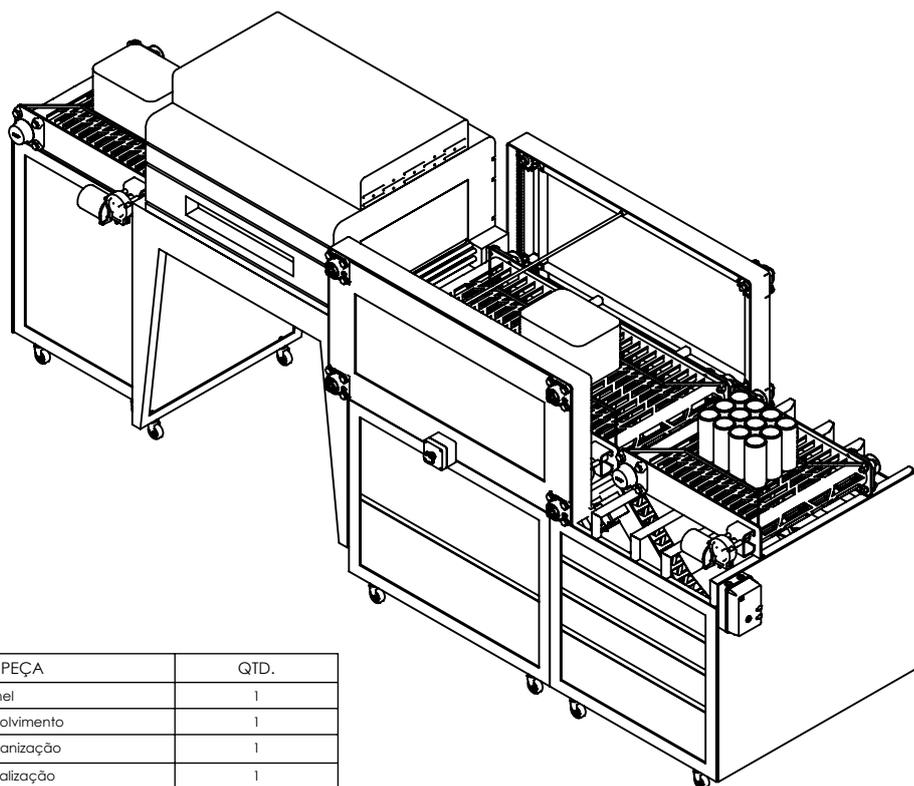
```

Ssy = 0.45*Sut; %tensão máxima de cisalhamento - MPa
alfa = Ssy/n;
csi = 0.15; %valor recomendado para linearidade
F0 = 16; %pré-carga - N
Fmax = 100; %força máxima de compressão aplicada pelo atuador - N
ymax = 50; %comprimento de compressão - mm
beta = (8*(1+csi)*Fmax)/(pi*(d^2));
C = (((2*alfa) - beta)/(4*beta)) + sqrt((((2*alfa) - beta)/(4*beta))^2 - ((3*alfa)/(4*beta)))
%índice de mola - intervalo recomendado: 4<=C<=12
D = C*d %diâmetro da espira - mm
Kb = ((4*C)+2)/((4*C)-3) %fator de Bergstrasser
taus = Kb*((8*(1+csi)*Fmax*C)/(pi*(d^2))) %tensão de fechamento - MPa
ns = Ssy/taus %fator de segurança
OD = D+d %diâmetro externo - mm
ID = D-d %diâmetro interno - mm
G = 81000; %módulo de cisalhamento do material - MPa
E = 196500; %módulo de elasticidade - MPa
Na = (G*(d^4)*ymax)/(8*(D^3)*Fmax) %número de espiras ativas
Nt = Na+1 %número de espiras totais - extremidades simples e retificadas
L0 = 75; %comprimento livre - mm
Ls = d*Nt %comprimento sólido - mm
p = L0/(Na+1) %passo
alfa0 = 0.5; %condição de extremidades
Lcr = 2.638*D/alfa0 %comprimento crítico
Custo = 2.6; %custo relativo do material
fom = Custo*((pi^2)*(d^2)*Nt*D)/4

%%%%% DIMENSIONAMENTO PARA FADIGA

Fa = (Fmax-F0)/2; %força alternada na mola
Fm = (Fmax+F0)/2; %força média na mola
taua = Kb*((8*Fa*D)/(pi*(d^3))); %componente alternante de tensão de cisalhamento - MPa
taum = Kb*((8*Fm*D)/(pi*(d^3))); %componente medial de tensão de cisalhamento - MPa
Sut = A/(d^m); %resistência última de tração - MPa
Ssu = 0.67*Sut; %resistência última cisalhante - MPa
r = taua/taum; %declividade da linha de carga
Ssa = 398; %componente de resistência de endurance para vida infinita com jateamento de
%granalha - MPa
Ssm = 534; %componente de resistência de endurance para vida infinita com jateamento de
%granalha - MPa
Sse_Gerber = Ssa/(1-(Ssm/Ssu)^2); %ordenada de intersecção de Gerber - MPa
Ssa_Gerber = (((r^2)*(Ssu^2))/(2*Sse_Gerber))*(-1+(sqrt(1+(((2*Sse_Gerber)/(r*Ssu))^2)));
%componente de amplitude de resistência de Gerber
Nf_Gerber = Ssa_Gerber/taua %fator de segurança de fadiga de Gerber
Nf_Sines = Ssa/taua %fator de segurança de fadiga de Sines
Sse_Goodman = Ssa/(1-(Ssm/Ssu)^2); %ordenada de intersecção de Goodman - MPa
Ssa_Goodman = (r*Sse_Goodman*Ssu)/((r*Ssu)+Sse_Goodman); %componente de amplitude de resistência
%de Goodman
Nf_Goodman = Ssa_Goodman/taua %fator de segurança de fadiga de Goodman

```



Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	QTD.
1	Túnel	1
2	Esteira envolvimento	1
3	Esteira organização	1
4	Esteira finalização	1
5	Suporte esteira de finalização	1
6	Haste	1
7	Esteira inclinada	1
8	Sistema de Corte	1
9	Suporte esteira principal	1
10	Rolo de filme	1
11	SKF_P2B_100_FM	8
12	Tensionador	3
13	Pack envolvido	1
14	Suporte esteira organização	1
15	Encaixe mola	1
16	Rolo do filme	1
17	Parafuso M10	108
18	Arruela M10	108
19	Porca M10	108
21	Proteção 3	2
22	Proteção 1	1
23	Proteção 2	2
24	Proteção 4	2
25	Proteção 5	1
26	Rodízio	16
27	Carenagem2	2
28	Botão de emergência	3
29	Chave de partida WEG	1
30	Policarbonato 1	2
31	Policarbonato 2	2
32	Policarbonato 3	2
33	Policarbonato 4	2
34	Policarbonato 5	2
35	Policarbonato 6	2
36	Policarbonato 7	2
37	Policarbonato 8	2



Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Mecânica

Projeto De Guarda-ção 2

Peça: Montagem Geral

Data: 05/10/2022

Projetista: Gustavo Faber de Almeida Rosa

Título Do Trabalho:

Máquina de
Reembalagem

Escala: 1:20

Folha: 1/26

Unidade: mm

Dados de fabricação:	Material: Aço AISI 1020 revenido e temperado - Dureza 163 HB.
Quantidade: 3	
Processo: corte e dobra	

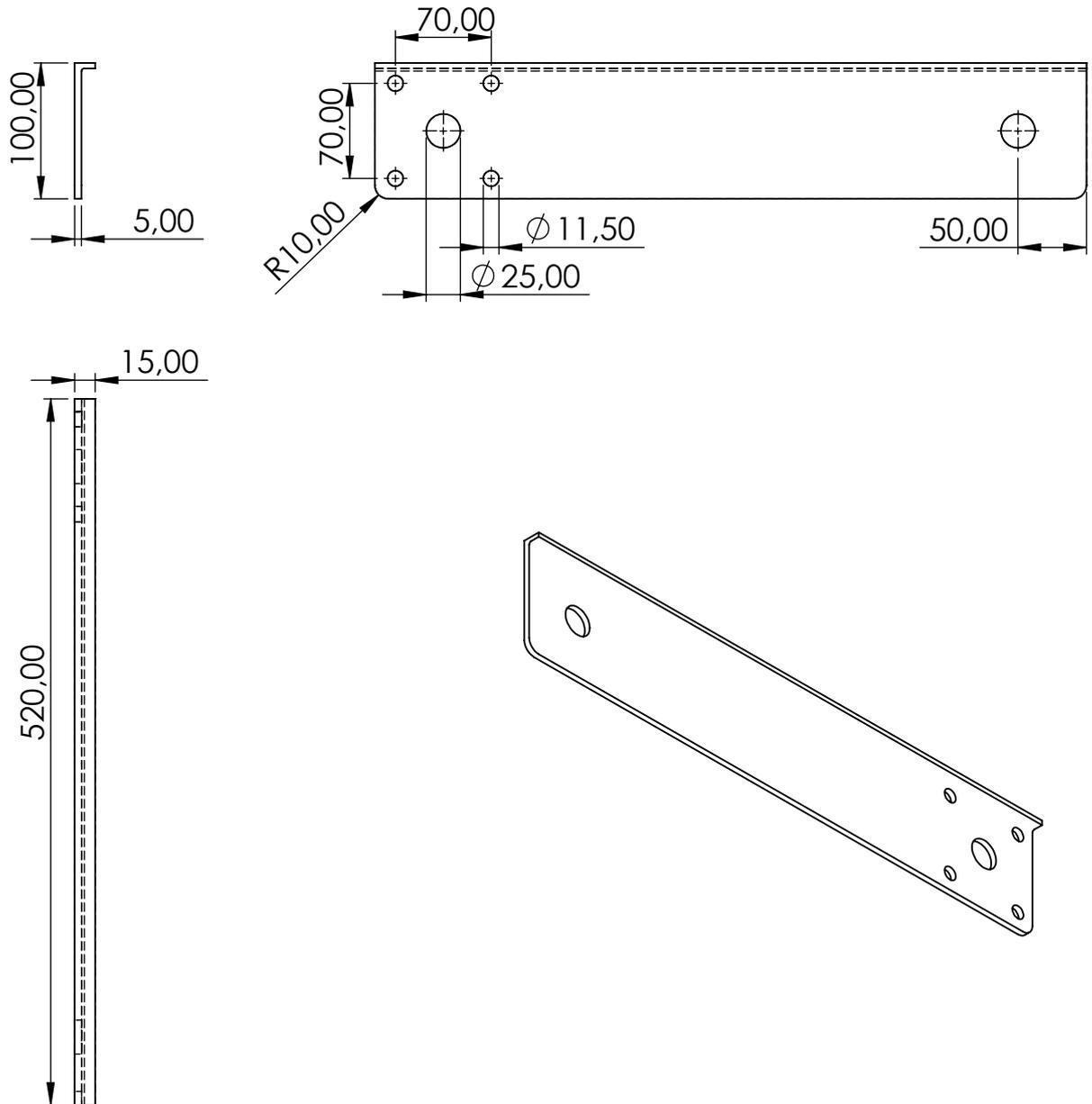


Tabela geral para dimensões cujas tolerâncias não foram especificadas

Dimensões (mm)	0,5 a 30	30 a 200	200 a 500	500 a 1000
Tolerância (mm)	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Mecânica

Projeto de Graduação 2	Título Do Trabalho: Máquina de Reembalagem		
Peça: Placa menor do motor			
Data: 05/10/2022			
Projetista: Gustavo Faber de Almeida Rosa	Escala: 1:5	Folha: 2/26	Unidade: mm

Dados de fabricação:	Material: Aço AISI 1020 revenido e temperado - Dureza 163 HB.
Quantidade: 3	
Processo: corte e dobra	

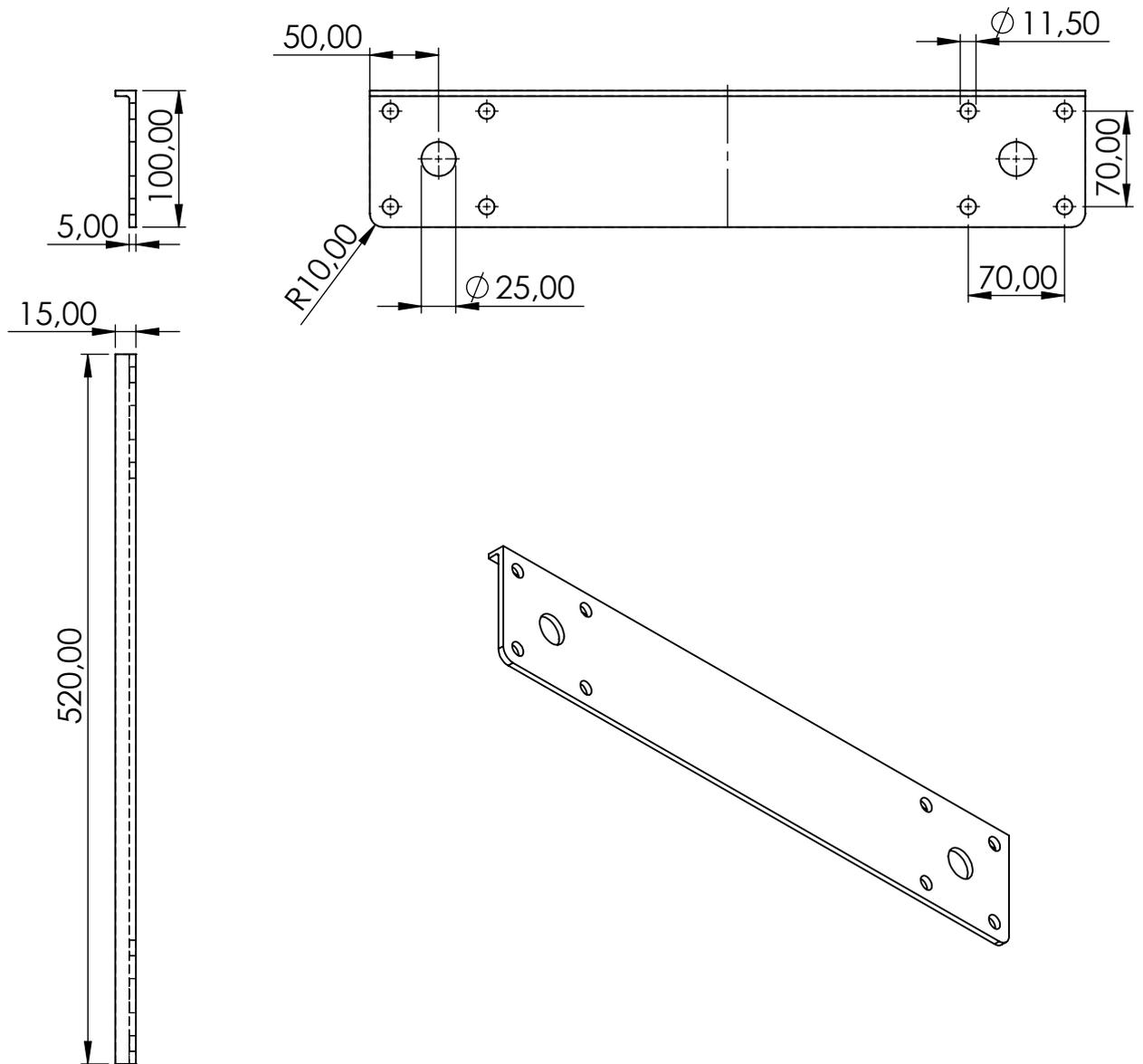


Tabela geral para dimensões cujas tolerâncias não foram especificadas

Dimensões (mm)	0,5 a 30	30 a 200	200 a 500	500 a 1000
Tolerância (mm)	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Mecânica

Projeto de Graduação	Título Do Trabalho: Máquina de Reembalagem		
Peça: Placa menor dos mancais			
Data: 05/10/2022			
Projetista: Gustavo Faber de Almeida Rosa	Escala: 1:5	Folha: 3/26	Unidade: mm

Dados de fabricação:	Material: Aço AISI 1020 revenido e temperado - Dureza 163 HB.
Quantidade: 1	
Processo: corte e dobra	

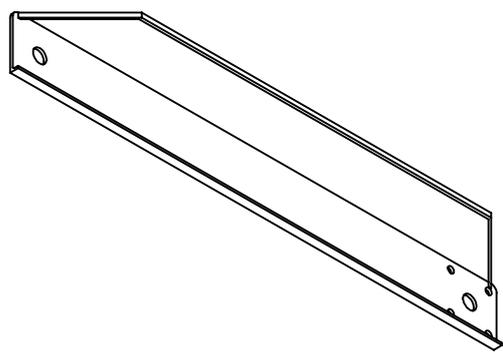
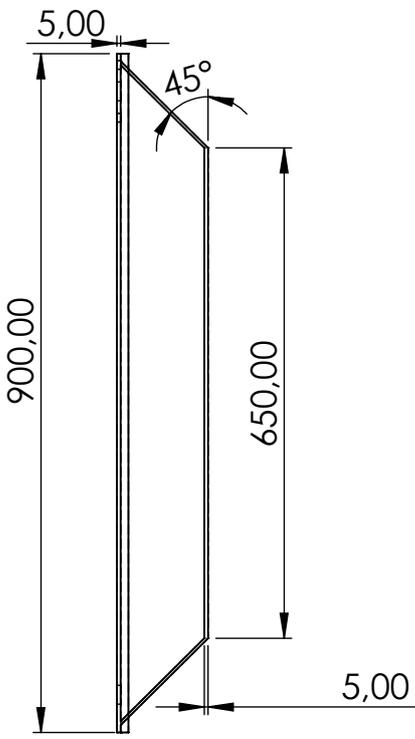
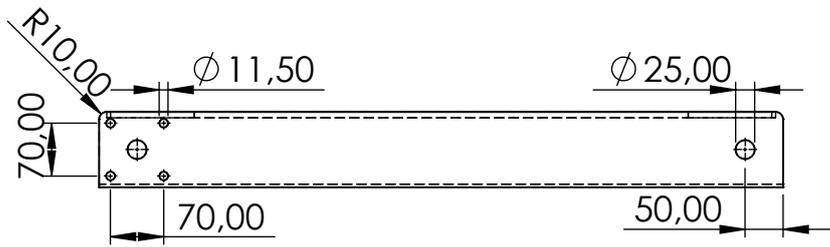
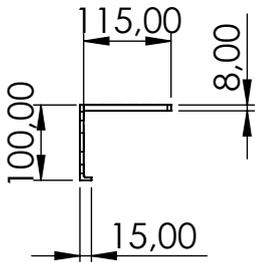


Tabela geral para dimensões cujas tolerâncias não foram especificadas				
Dimensões (mm)	0,5 a 30	30 a 200	200 a 500	500 a 1000
Tolerância (mm)	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Mecânica

Projeto de Graduação 2	Título Do Trabalho: Máquina de Reembalagem		
Peça: Placa maior do motor			
Data: 05/10/2022			
Projeta: Gustavo Faber de Almeida Rosa	Escala: 1:10	Folha: 4/26	Unidade: mm

Dados de fabricação:	Material: Aço AISI 1020 revenido e temperado - Dureza 163 HB.
Quantidade: 1	
Processo: corte e dobra	

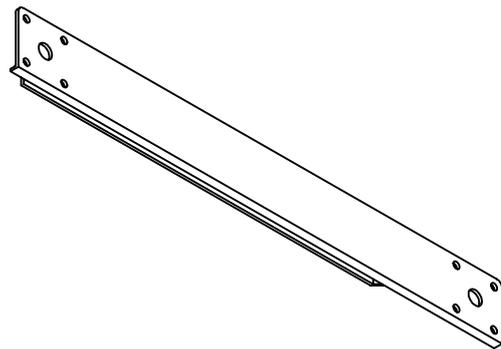
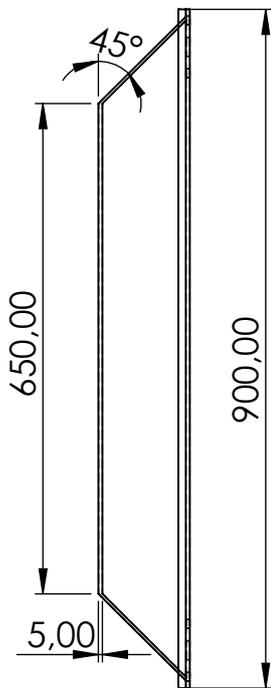
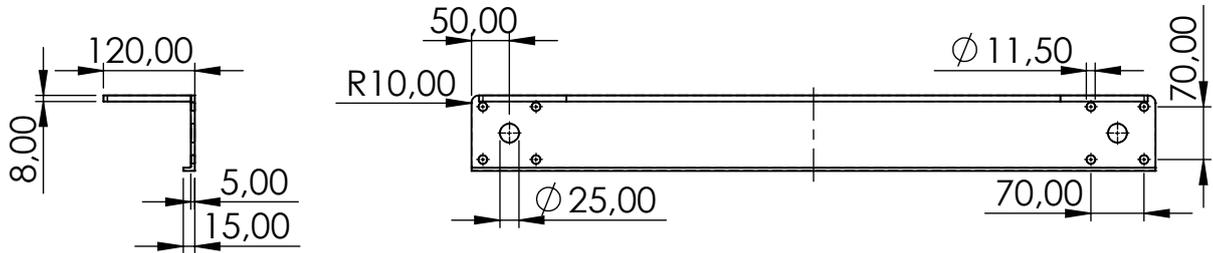


Tabela geral para dimensões cujas tolerâncias não foram especificadas

Dimensões (mm)	0,5 a 30	30 a 200	200 a 500	500 a 1000
Tolerância (mm)	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5

	<p>Universidade de Brasília Departamento de Engenharia Mecânica</p>
---	---

Projeto de Graduação 2	<p>Título Do Trabalho:</p> <p>Máquina de Reembalagem</p>		
Peça: Placa maior dos mancais			
Data: 05/10/2022			
Projeta: Gustavo Faber de Almeida Rosa	Escala: 1:10	Folha: 5/26	Unidade: mm

Dados de fabricação:	Material: Policarbonato, espessura 4 mm.
Quantidade: 2	
Processo: corte	

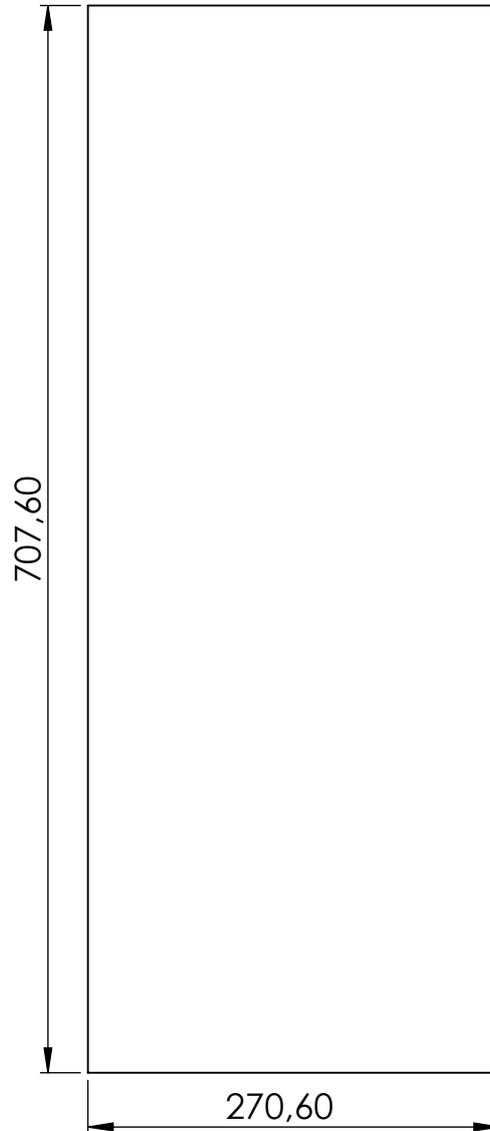


Tabela geral para dimensões cujas tolerâncias não foram especificadas

Dimensões (mm)	0,5 a 30	30 a 200	200 a 500	500 a 1000
Tolerância (mm)	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Mecânica

Projeto de graduação 2	Título Do Trabalho: Máquina de Reembalagem		
Peça: Policarbonato 1			
Data: 05/10/2022			
Projetista: Gustavo Faber de Almeida Rosa	Escala: 1:5	Folha: 6/26	Unidade: mm

Dados de fabricação:	Material: Policarbonato, espessura 4 mm.
Quantidade: 2	
Processo: corte	

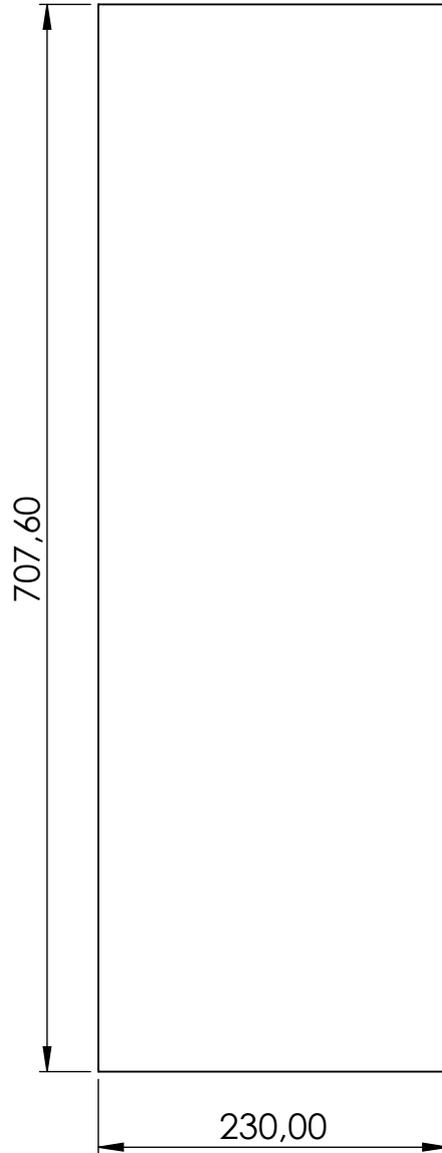


Tabela geral para dimensões cujas tolerâncias não foram especificadas

Dimensões (mm)	0,5 a 30	30 a 200	200 a 500	500 a 1000
Tolerância (mm)	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Mecânica

Projeto de Graduação 2	Título Do Trabalho: Máquina de Reembalagem		
Peça: Policarbonato 2			
Data: 05/10/2022			
Projetista: Gustavo Faber de Almeida Rosa	Escala: 1:5	Folha: 7/26	Unidade: mm

Dados de fabricação:	Material: Policarbonato, espessura 4 mm.
Quantidade: 2	
Processo: corte	

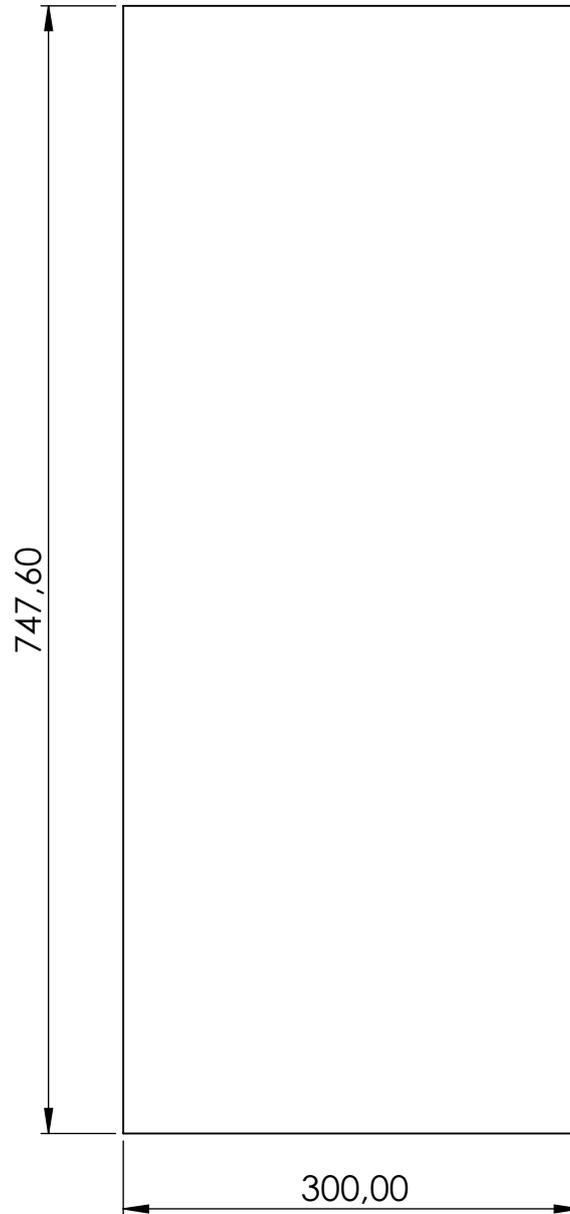


Tabela geral para dimensões cujas tolerâncias não foram especificadas

Dimensões (mm)	0,5 a 30	30 a 200	200 a 500	500 a 1000
Tolerância (mm)	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Mecânica

Projeto de Graduação 2	Título Do Trabalho: Máquina de Reembalagem		
Peça: Policarbonato 3			
Data: 05/10/2022			
Projetista: Gustavo Faber de Almeida Rosa	Escala: 1:5	Folha: 8/26	Unidade: mm

Dados de fabricação:	Material: Policarbonato, espessura 4 mm.
Quantidade: 2	
Processo: corte	

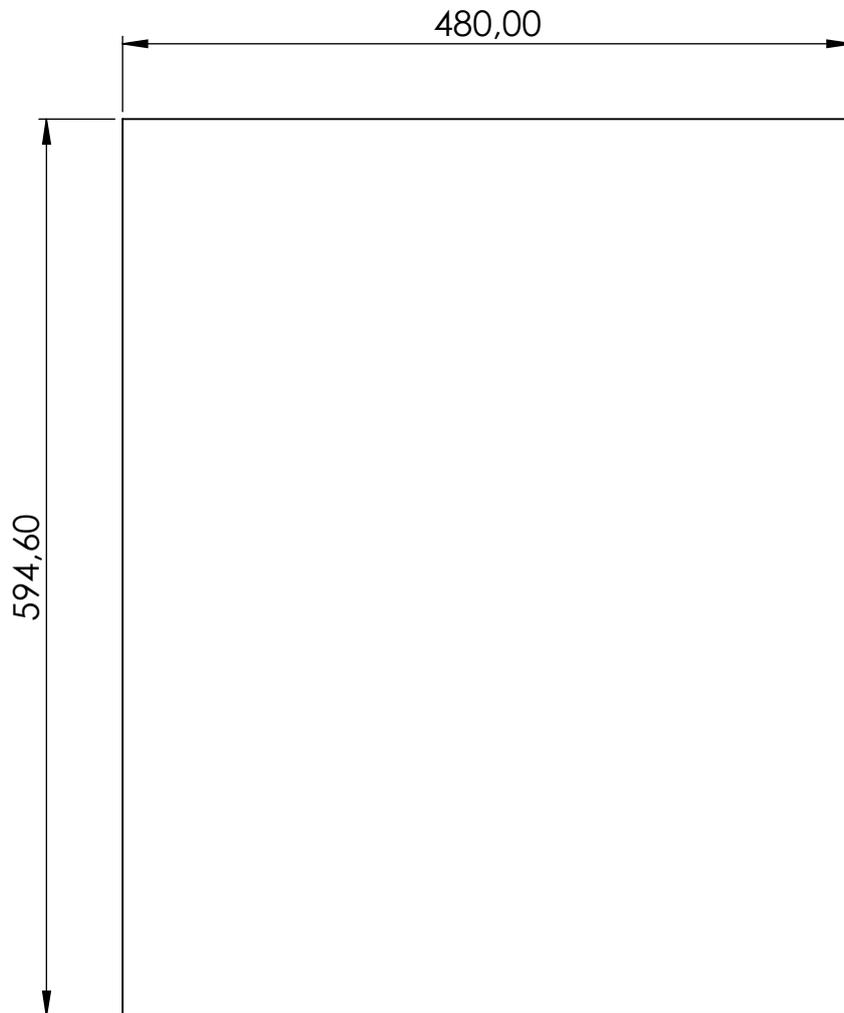


Tabela geral para dimensões cujas tolerâncias não foram especificadas

Dimensões (mm)	0,5 a 30	30 a 200	200 a 500	500 a 1000
Tolerância (mm)	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Mecânica

Projeto de Graduação 2	Título Do Trabalho: Máquina de Reembalagem		
Peça: Policarbonato 4			
Data: 05/10/2022			
Projetista: Gustavo Faber de Almeida Rosa	Escala: 1:5	Folha: 9/26	Unidade: mm

Dados de fabricação:	Material: Policarbonato, espessura 4 mm.
Quantidade: 2	
Processo: corte	

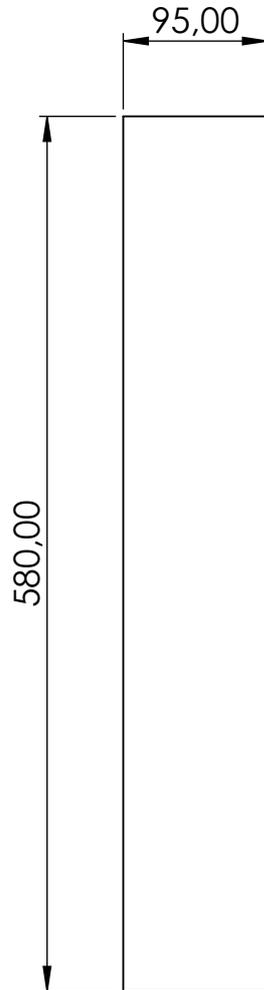


Tabela geral para dimensões cujas tolerâncias não foram especificadas

Dimensões (mm)	0,5 a 30	30 a 200	200 a 500	500 a 1000
Tolerância (mm)	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Mecânica

Projeto de Graduação 2	Título Do Trabalho: Máquina de Reembalagem		
Peça: Policarbonato 5			
Data: 05/10/2022			
Projetista: Gustavo Faber de Almeida Rosa	Escala: 1:5	Folha: 10/26	Unidade: mm

Dados de fabricação:	Material: Policarbonato, espessura 4 mm.
Quantidade: 2	
Processo: corte	

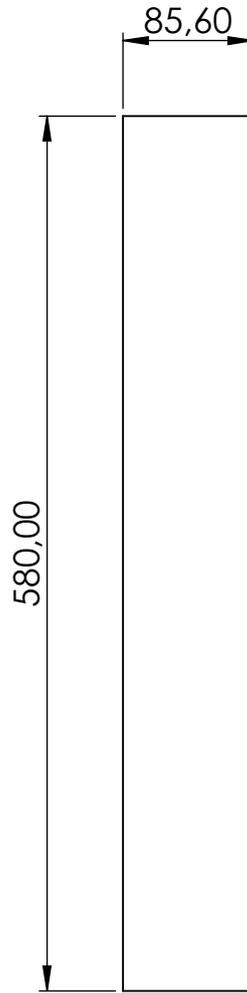


Tabela geral para dimensões cujas tolerâncias não foram especificadas

Dimensões (mm)	0,5 a 30	30 a 200	200 a 500	500 a 1000
Tolerância (mm)	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Mecânica

Projeto de Graduação 2	Título Do Trabalho: Máquina de Reembalagem		
Peça: Policarbonato 6			
Data: 05/10/2022			
Projetista: Gustavo Faber de Almeida Rosa	Escala: 1:5	Folha: 11/26	Unidade: mm

Dados de fabricação:	Material: Policarbonato, espessura 4 mm.
Quantidade: 2	
Processo: corte	

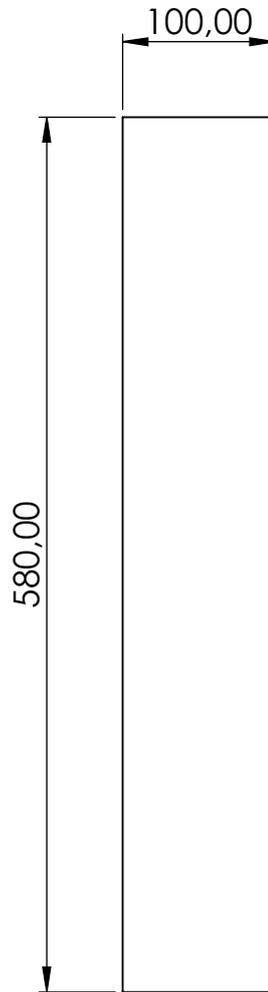


Tabela geral para dimensões cujas tolerâncias não foram especificadas

Dimensões (mm)	0,5 a 30	30 a 200	200 a 500	500 a 1000
Tolerância (mm)	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Mecânica

Projeto de Graduação 2	Título Do Trabalho: Máquina de Reembalagem		
Peça: Policarbonato 7			
Data: 05/10/2022			
Projetista: Gustavo Faber de Almeida Rosa	Escala: 1:5	Folha: 12/26	Unidade: mm

Dados de fabricação:	Material: Policarbonato, espessura 4 mm.
Quantidade: 2	
Processo: corte	

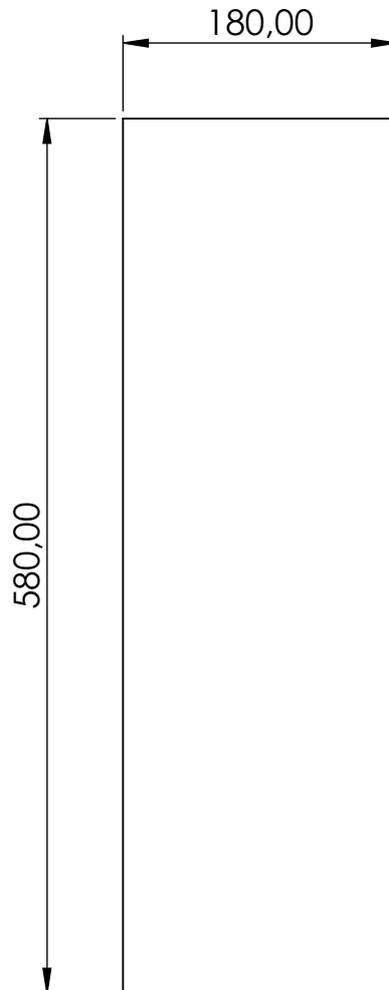


Tabela geral para dimensões cujas tolerâncias não foram especificadas

Dimensões (mm)	0,5 a 30	30 a 200	200 a 500	500 a 1000
Tolerância (mm)	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Mecânica

Projeto de Graduação 2	Título Do Trabalho: Máquina de Reembalagem		
Peça: Policarbonato 8			
Data: 05/10/2022			
Projetista: Gustavo Faber de Almeida Rosa	Escala: 1:5	Folha: 13/26	Unidade: mm

Dados de fabricação:	Material: Aço AISI 1020 revenido e temperado - Dureza 163 HB, espessura 4 mm.
Quantidade: 2	
Processo: corte	

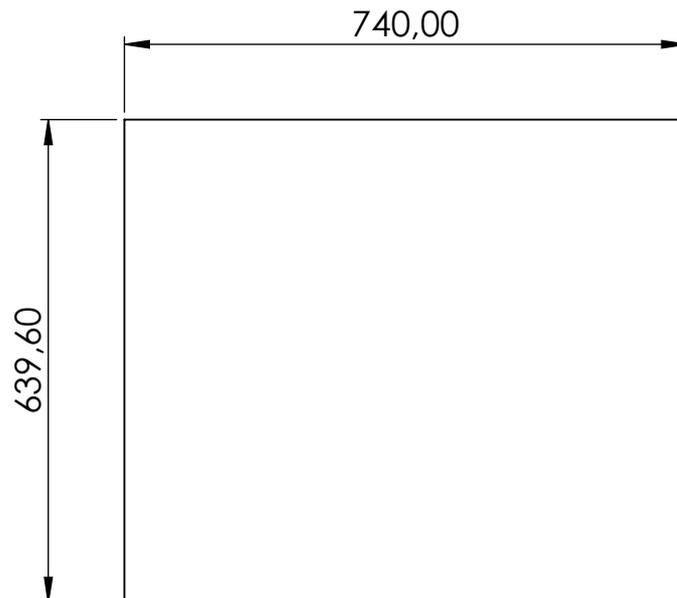


Tabela geral para dimensões cujas tolerâncias não foram especificadas

Dimensões (mm)	0,5 a 30	30 a 200	200 a 500	500 a 1000
Tolerância (mm)	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Mecânica

Projeto de Graduação 2	Título Do Trabalho: Máquina de Reembalagem		
Peça: Proteção 1			
Data: 05/10/2022			
Projetista: Gustavo Faber de Almeida Rosa	Escala: 1:10	Folha: 14/26	Unidade: mm

Dados de fabricação:	Material: Aço AISI 1020 revenido e temperado - Dureza 163 HB, espessura 4 mm.
Quantidade: 2	
Processo: corte	

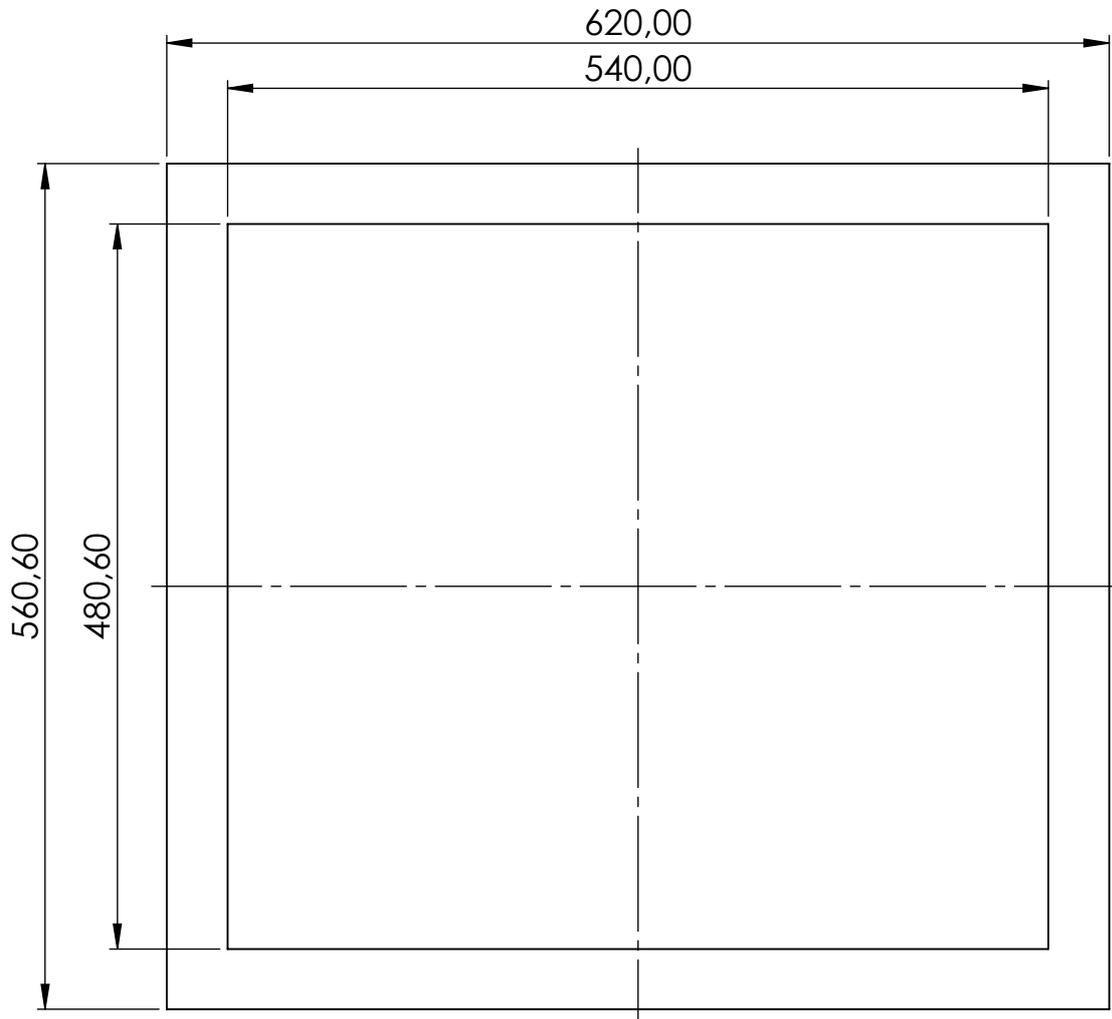


Tabela geral para dimensões cujas tolerâncias não foram especificadas

Dimensões (mm)	0,5 a 30	30 a 200	200 a 500	500 a 1000
Tolerância (mm)	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Mecânica

Projeto de Graduação 2	Título Do Trabalho: Máquina de Reembalagem		
peça: Projeção 2			
Data: 05/10/2022			
Projetista: Gustavo Faber de Almeida Rosa	Escala: 1:5	Folha: 15/26	Unidade: mm

Dados de fabricação:	Material: Aço AISI 1020 revenido e temperado - Dureza 163 HB, espessura 4 mm.
Quantidade: 2	
Processo: corte	

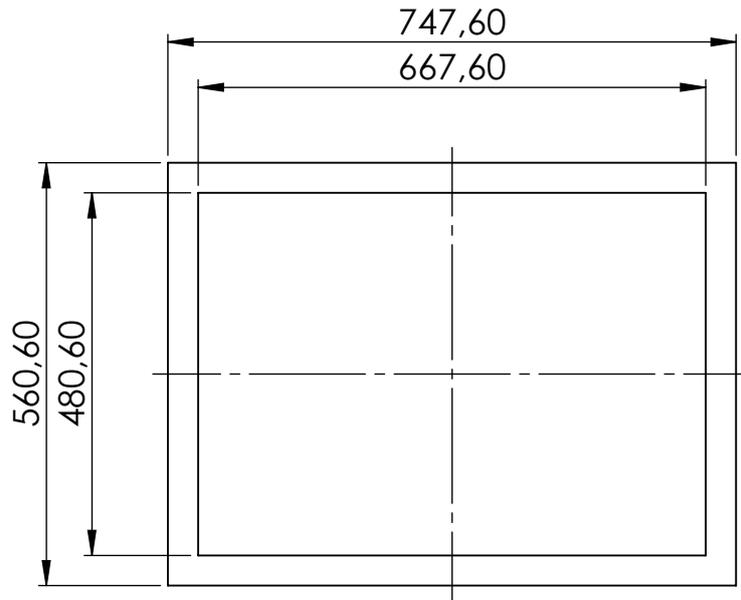


Tabela geral para dimensões cujas tolerâncias não foram especificadas

Dimensões (mm)	0,5 a 30	30 a 200	200 a 500	500 a 1000
Tolerância (mm)	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Mecânica

Projeto de Graduação 2	Título Do Trabalho: Máquina de Reembalagem		
Peça: Proteção 3			
Data: 05/10/2022			
Projetista: Gustavo Faber de Almeida Rosa	Escala: 1:10	Folha: 16/26	Unidade: mm

Dados de fabricação:	Material: Aço AISI 1020 revenido e temperado - Dureza 163 HB, espessura 4 mm.
Quantidade: 2	
Processo: corte	

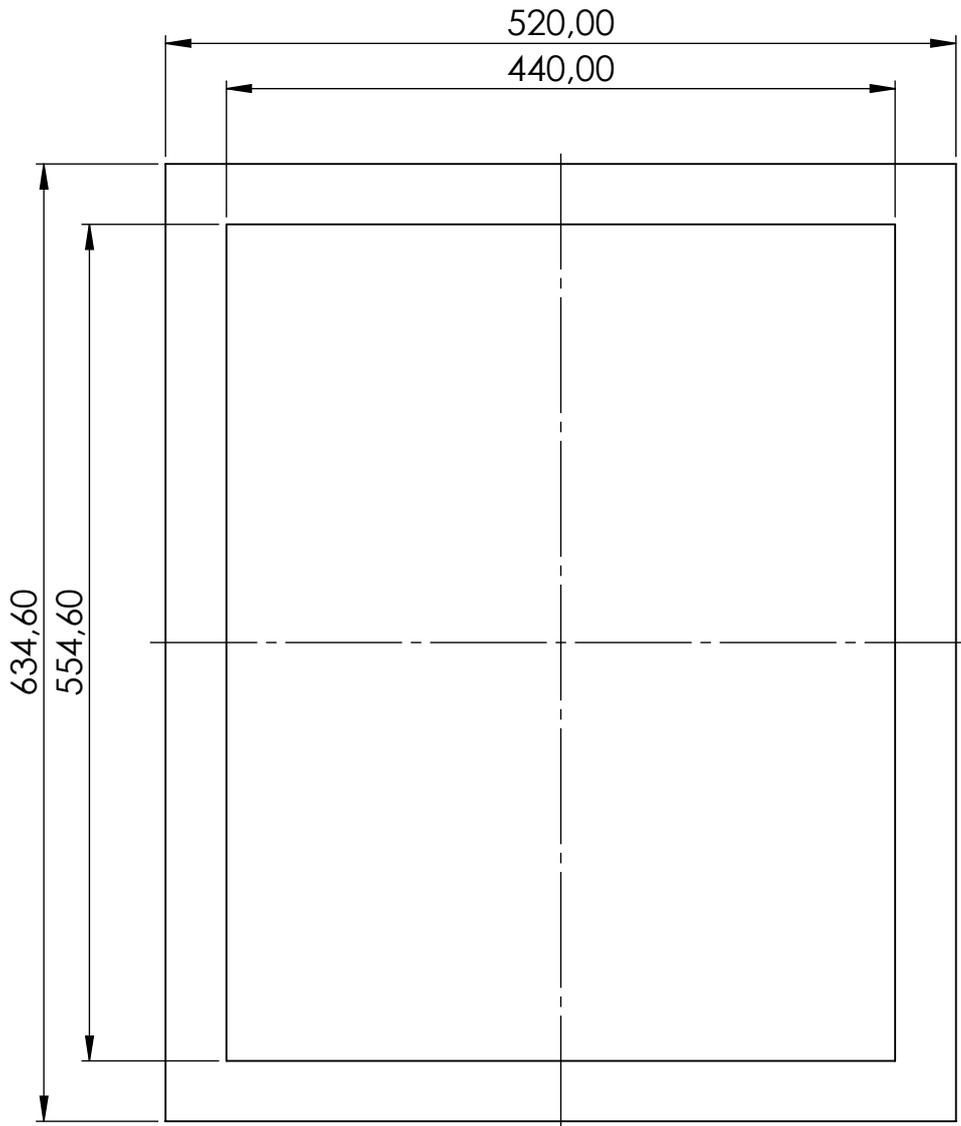


Tabela geral para dimensões cujas tolerâncias não foram especificadas

Dimensões (mm)	0,5 a 30	30 a 200	200 a 500	500 a 1000
Tolerância (mm)	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Mecânica

Projeto de Graduação 2	Título Do Trabalho: Máquina de Reembalagem		
Peça: Proteção 4			
Data: 05/10/2022			
Projetista: Gustavo Faber de Almeida Rosa	Escala: 1:5	Folha: 17/26	Unidade: mm

Dados de fabricação:	Material: Aço AISI 1020 revenido e temperado - Dureza 163 HB, espessura 4 mm.
Quantidade: 2	
Processo: corte	

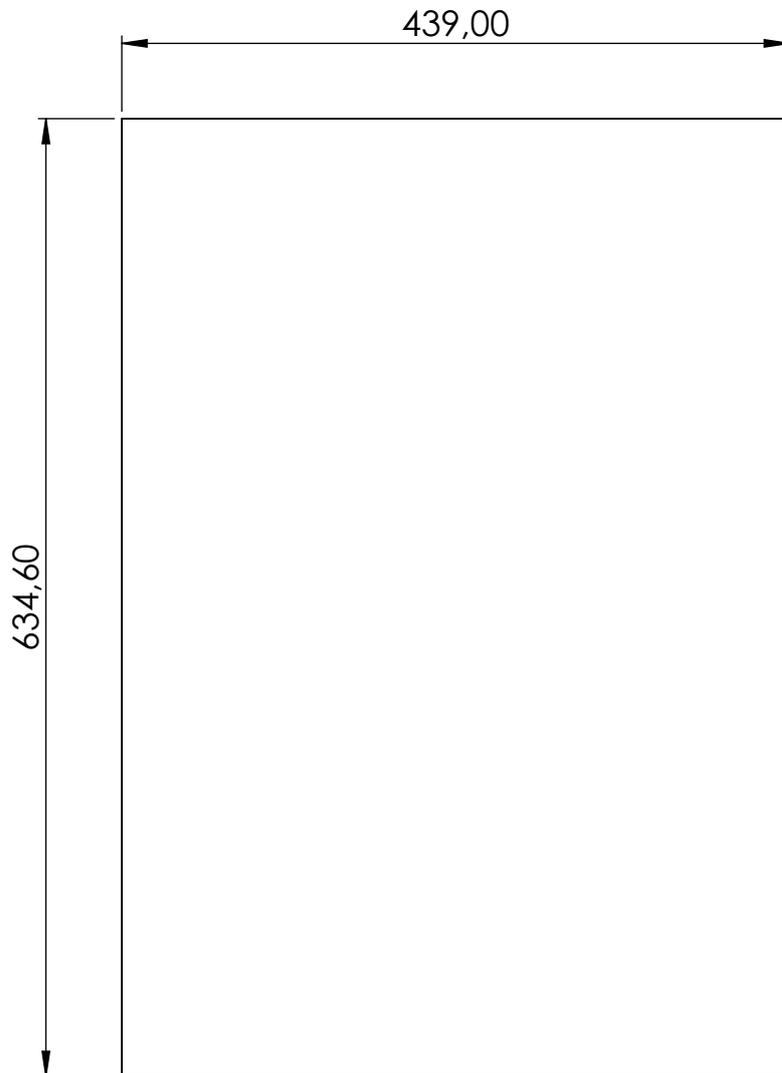


Tabela geral para dimensões cujas tolerâncias não foram especificadas

Dimensões (mm)	0,5 a 30	30 a 200	200 a 500	500 a 1000
Tolerância (mm)	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Mecânica

Projeto de Graduação 2	Título Do Trabalho: Máquina de Reembalagem		
Peça: Proteção 5			
Data: 05/10/2022			
Projetista: Gustavo Faber de Almeida Rosa	Escala: 1:5	Folha: 18/26	Unidade: mm

Dados de fabricação:	Material: Aço AISI 1020 revenido e temperado - Dureza 163 HB, espessura 4 mm.
Quantidade: 2	
Processo: corte	

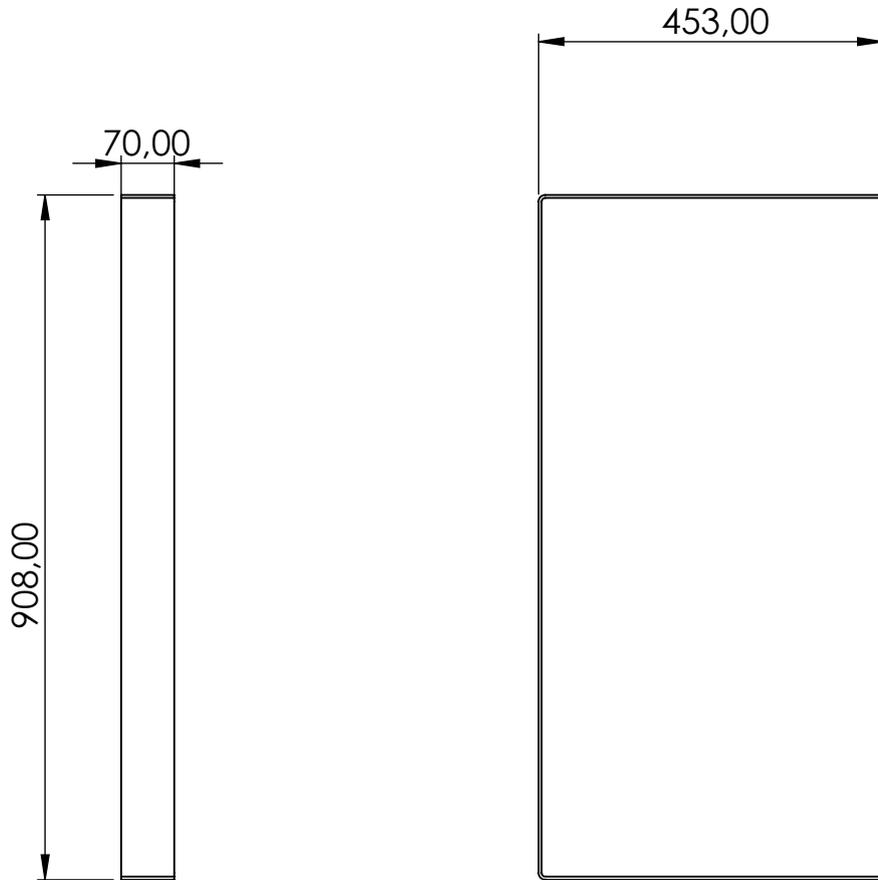


Tabela geral para dimensões cujas tolerâncias não foram especificadas

Dimensões (mm)	0,5 a 30	30 a 200	200 a 500	500 a 1000
Tolerância (mm)	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Mecânica

Projeto de Graduação 2	Título Do Trabalho: Máquina de Reembalagem		
Peça: Carenagem 1			
Data: 05/10/2022			
Projetista: Gustavo Faber de Almeida Rosa	Escala 1:10	Folha: 19/26	Unidade: mm

Dados de fabricação:	Material: Aço AISI 1020 revenido e temperado - Dureza 163 HB, espessura 4 mm.
Quantidade: 2	
Processo: corte	

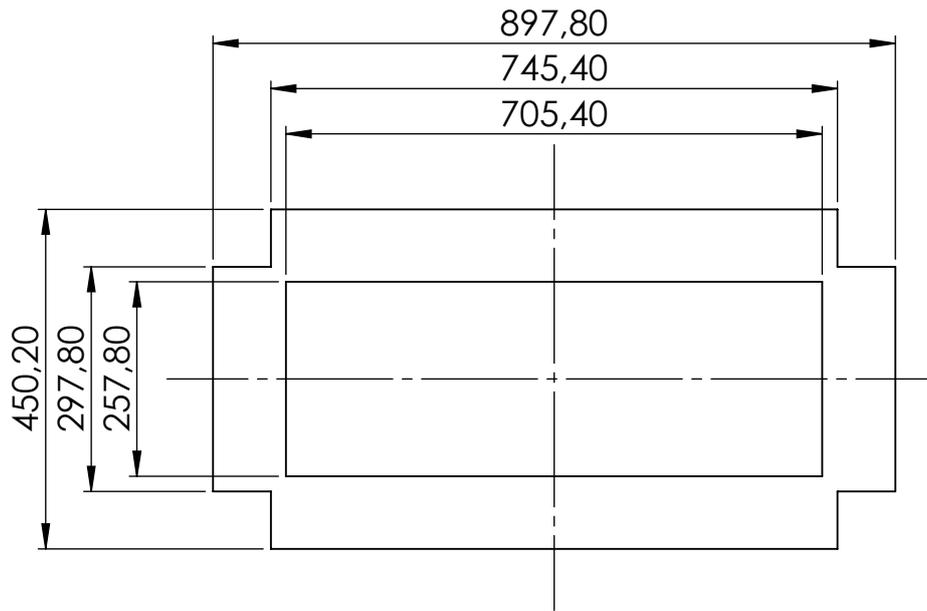


Tabela geral para dimensões cujas tolerâncias não foram especificadas

Dimensões (mm)	0,5 a 30	30 a 200	200 a 500	500 a 1000
Tolerância (mm)	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Mecânica

Projeto de Graduação 2	Título Do Trabalho: Máquina de Reembalagem		
Peça: Carenagem 2			
Data: 05/10/2022			
Projetista: Gustavo Faber de Almeida Rosa	Escala: 1:10	Folha: 20/26	Unidade: mm

Dados de fabricação:	Material: Aço AISI 1020, perfil 20x20, espessura 2 mm.
Quantidade: 1	
Processo: corte e soldagem	

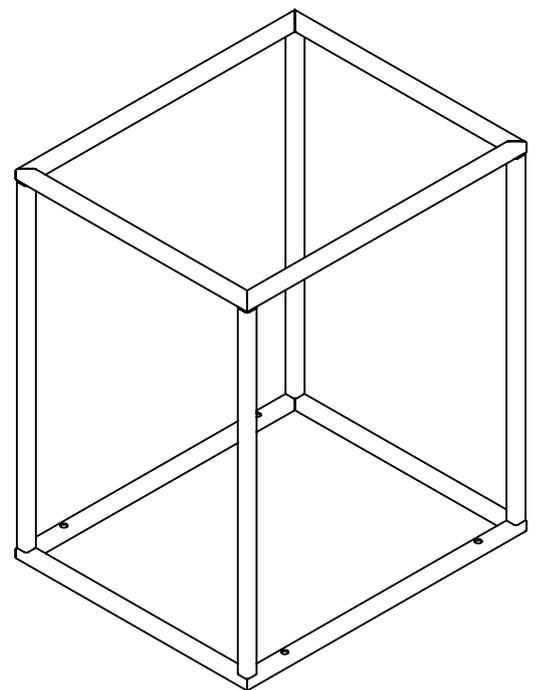
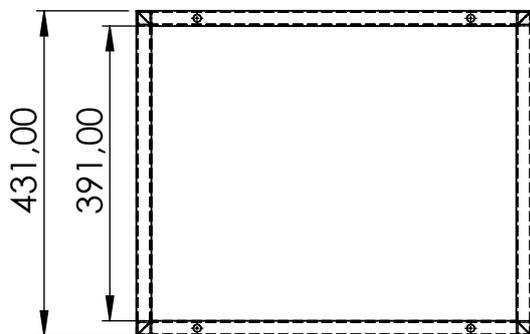
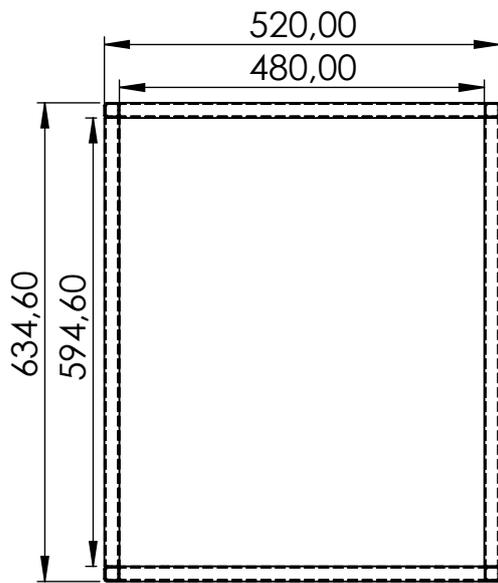


Tabela geral para dimensões cujas tolerâncias não foram especificadas

Dimensões (mm)	0,5 a 30	30 a 200	200 a 500	500 a 1000
Tolerância (mm)	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Mecânica

Projeto de Graduação 2	Título Do Trabalho: Máquina de Reembalagem		
Peça: Suporte da esteira de finalização			
Data: 05/10/2022			
Projeta: Gustavo Faber de Almeida Rosa	Escala: 1:10	Folha: 21/26	Unidade: mm

Dados de fabricação:	Material: Aço AISI 1020, perfil 20x20, espessura 2 mm.
Quantidade: 1	
Processo: corte e soldagem	

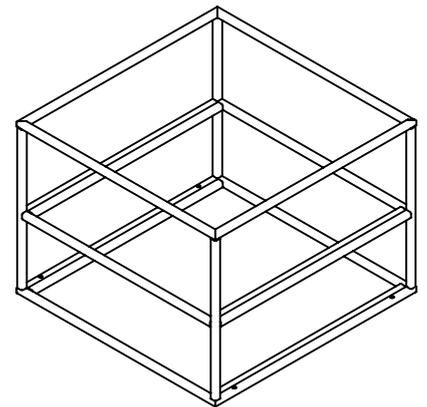
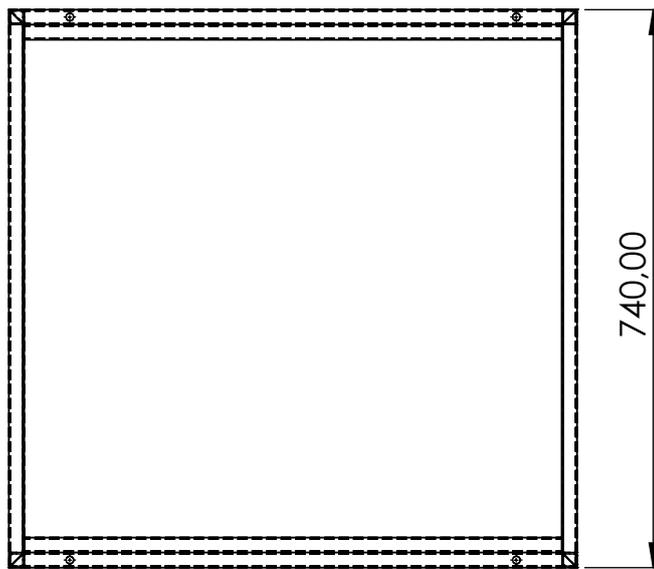
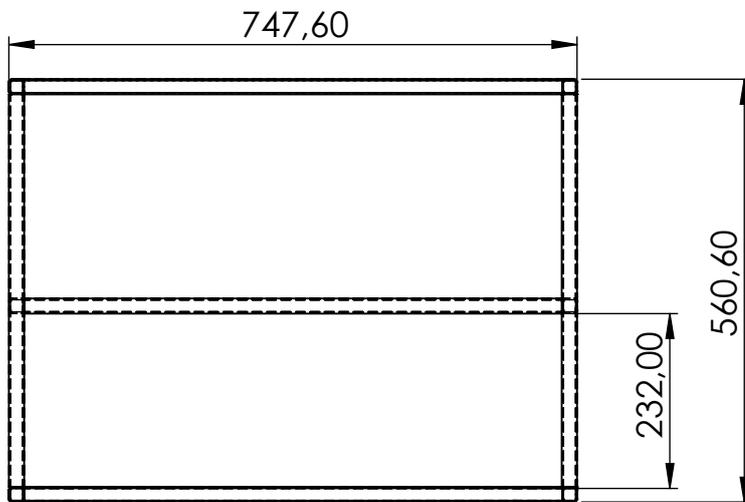


Tabela geral para dimensões cujas tolerâncias não foram especificadas

Dimensões (mm)	0,5 a 30	30 a 200	200 a 500	500 a 1000
Tolerância (mm)	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Mecânica

Projeto de Graduação 2	Título Do Trabalho: Máquina de Reembalagem		
Peça: Suporte da esteira de envolvimento			
Data: 05/10/2022			
Projetista: Gustavo Faber de Almeida Rosa	Escala: 1:10	Folha: 22/26	Unidade: mm

Dados de fabricação:

Material: Aço AISI 1020, perfil 20x20, espessura 2 mm.

Quantidade: 1

Processo: corte e soldagem

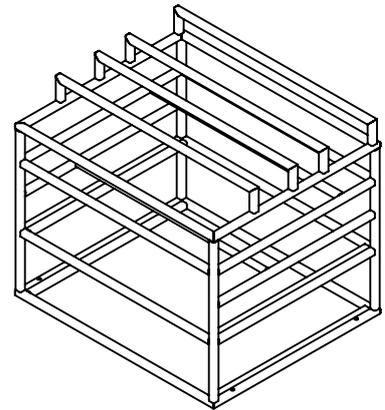
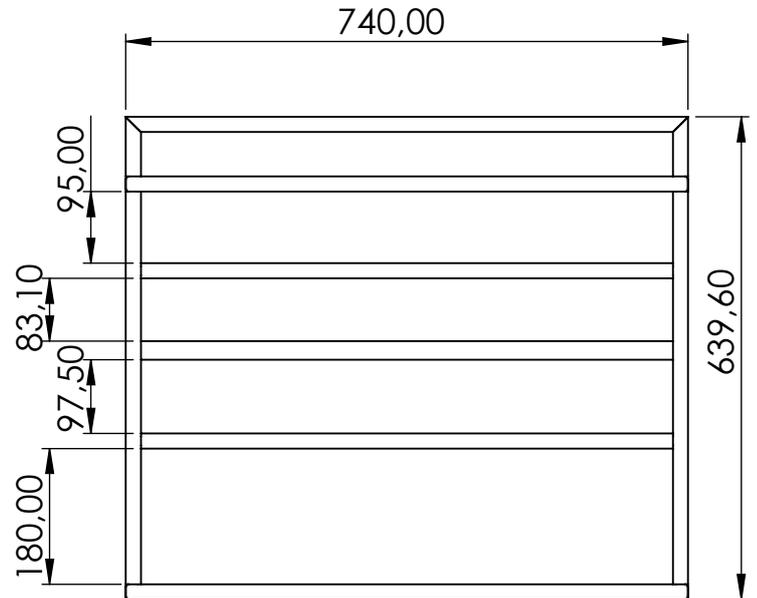
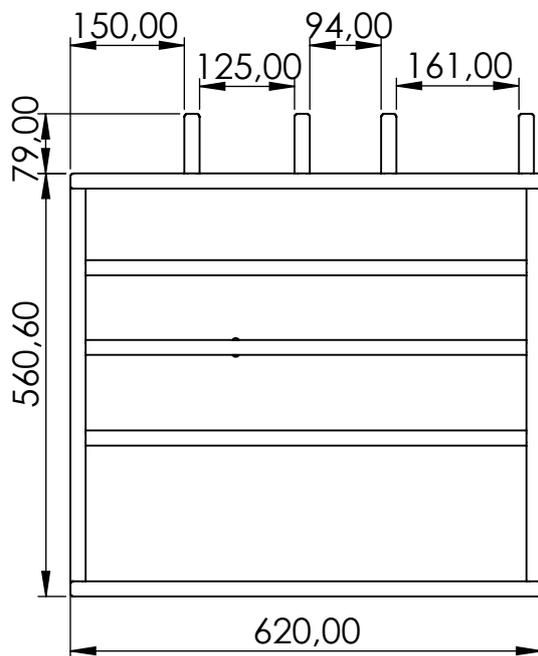


Tabela geral para dimensões cujas tolerâncias não foram especificadas

Dimensões (mm)	0,5 a 30	30 a 200	200 a 500	500 a 1000
Tolerância (mm)	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Mecânica

Projeto de Graduação 2

Peça: Suporte da esteira de organização

Data: 05/10/2022

Projetista: Gustavo Faber de Almeida Rosa

Título Do Trabalho:

Máquina de Reembalagem

Escala: 1:10

Folha: 23/26

Unidade: mm

Dados de fabricação:	Material: Aço inoxidável 304.
Quantidade: 8	
Processo: usinagem	

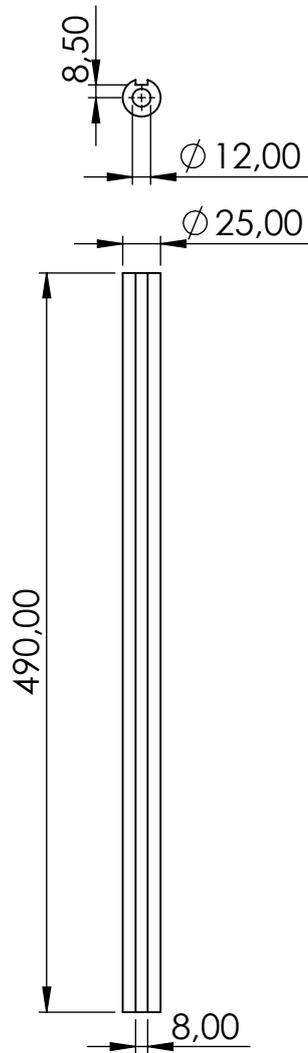


Tabela geral para dimensões cujas tolerâncias não foram especificadas

Dimensões (mm)	0,5 a 30	30 a 200	200 a 500	500 a 1000
Tolerância (mm)	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Mecânica

Projeto de Graduação 2	Título Do Trabalho: Máquina de Reembalagem		
Peça: eixo da esteirização			
Data: 05/10/2022			
Projetista: Gustavo Faber de Almeida Rosa	Escala: 1:5	Folha: 24/26	Unidade: mm

Dados de fabricação:	Material: Aço AISI 1020 revenido e temperado - Dureza 163 HB.
Quantidade: 3	
Processo: usinagem	

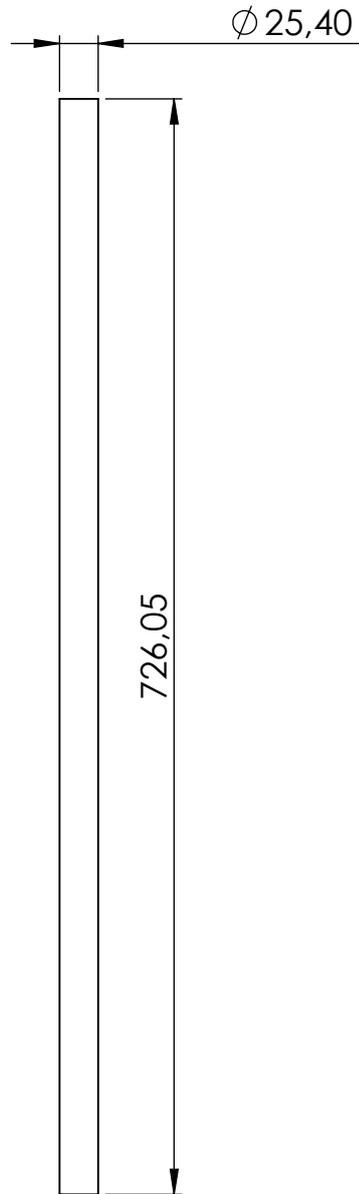


Tabela geral para dimensões cujas tolerâncias não foram especificadas

Dimensões (mm)	0,5 a 30	30 a 200	200 a 500	500 a 1000
Tolerância (mm)	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Mecânica

Projeto de Graduação 2	Título Do Trabalho: Máquina de Reembalagem		
Peça: Tensionador do plásticoo			
Data: 05/10/2022			
Projetista: Gustavo Faber de Almeida Rosa	Escala: 1:5	Folha: 25/26	Unidade: mm

Dados de fabricação:	Material: Aço AISI 1020 revenido e temperado - Dureza 163 HB.
Quantidade: 1	
Processo: usinagem	

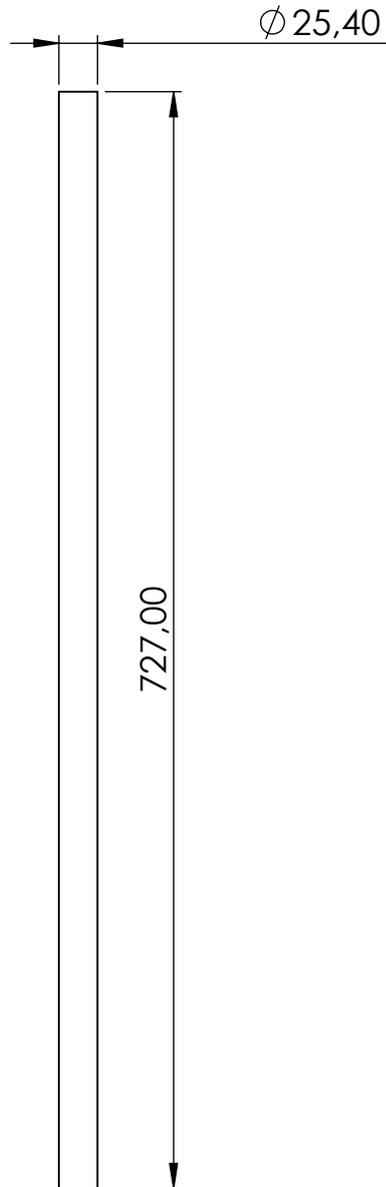


Tabela geral para dimensões cujas tolerâncias não foram especificadas

Dimensões (mm)	0,5 a 30	30 a 200	200 a 500	500 a 1000
Tolerância (mm)	+/- 0,1	+/- 0,2	+/- 0,3	+/- 0,5



Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Mecânica

Projeto de Graduação 2	Título Do Trabalho: Máquina de Reembalagem		
Peça: Encaixe do rolo de filme			
Data: 05/10/2022			
Projetista: Gustavo Faber de Almeida Rosa	Escala: 1:5	Folha: 26/26	Unidade: mm