

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

FABRÍCIO CAPELLIN

**ESTUDO DE UMA EMPACOTADORA AUTOMÁTICA PARA ARAMADOS
METÁLICOS**

PATO BRANCO

2023

FABRÍCIO CAPELLIN

**ESTUDO DE UMA EMPACOTADORA AUTOMÁTICA PARA ARAMADOS
METÁLICOS**

Study of an automatic packaging machine for metallic wire

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Dr. Robson Gonçalves Trentin

PATO BRANCO

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

FABRÍCIO CAPELLIN

**ESTUDO DE UMA EMPACOTADORA AUTOMÁTICA PARA ARAMADOS
METÁLICOS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada
como requisito para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do
Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 30 de novembro de 2023

Fabio de Freitas Lima
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Fabio Rodrigo Mandello Rodrigues
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Robson Gonçalves Trentin
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PATO BRANCO

2023

Dedico este trabalho ao meu orientador, colegas de estudo e acima de tudo, aos meus familiares, que foram protagonistas nessa caminhada e permitiram condições para que com afinco concluísse essa jornada.

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos se devem a todo o desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso, assim como todo o decorrer do curso.

Inicialmente a Deus que é o responsável pelo dom da vida e conseqüentemente por tudo que acontece nela. A universidade, de forma geral, incluindo os docentes que por meio de seus ensinamentos, permitiram que eu sempre pudesse abstrair aquilo de melhor que nos foi dado e concluísse este trabalho.

A toda minha família, em especial meus pais, meus avôs, que sempre me incentivaram e não permitiram que eu desistisse.

A meus colegas de curso e amigos que sempre dividiram comigo os percalços neste caminho difícil, e que fizeram parte dessa minha formação, os meus agradecimentos.

Eu sou aquele que foge tanto dos vivos quanto dos mortos. Caçado por saqueadores. Assombrado por aqueles que não consegui proteger. Assim, eu existo neste deserto. Um homem reduzido a um único instinto: sobreviver (MAX, Mad).

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso foca no estudo de uma máquina empacotadora automática que atenda às necessidades específicas de uma empresa, sendo a principal empacotar peças metálicas de forma automática, priorizando a produtividade, o tamanho das peças e o custo-benefício, devido ao elevado custo de compra de uma máquina já pronta. O processo de projeto seguiu a metodologia detalhada por Norton (2013), começando com a fase de definição, onde os requisitos são cuidadosamente delimitados, e progredindo para o projeto preliminar e detalhado. No decorrer do estudo, foram definidas as condições iniciais. A seleção de materiais, como o aço SAE 1045 para os eixos de transmissão, foi guiada por cálculos de tensões e resistência à fadiga. Através do desenho no software *AutoCad* foi possível modelar e detalhar a máquina, estruturando-a em partes. Os cálculos das tensões aplicadas no eixo, bem como a seleção dos rolamentos e mancais trazem para o estudo mais uma parte mais avançada de trabalho de engenharia. Portanto, esse trabalho de engenharia mecânica segue um processo estruturado, focado em detalhes e cálculos técnicos rigorosos para a estruturação uma máquina que atenda às necessidades específicas da empresa, cumprindo altos padrões de segurança e engenharia de precisão.

Palavras-chave: Engenharia Mecânica. Projeto de Máquinas. Tensões e Dimensionamento.

ABSTRACT

This end-of-course work focuses on the study of an automatic packaging machine that meets the specific needs of a company, the main one being to package metal parts automatically, prioritizing productivity, the size of the parts and cost-effectiveness, due to the high cost of buying a ready-made machine. The design process followed the methodology detailed by Norton (2013), starting with the definition phase, where requirements are carefully delimited, and progressing to preliminary and detailed design. In the course of the study, the initial conditions were defined. The selection of materials, such as SAE 1045 steel for the drive shafts, was guided by stress and fatigue resistance calculations. Using AutoCad software, it was possible to model and detail the machine, structuring it into parts. The calculations of the stresses applied to the shaft, as well as the selection of the bearings, bring to the study another more advanced part of the engineering work. Therefore, this mechanical engineering work follows a structured process, focused on details and rigorous technical calculations for structuring a machine that meets the company's specific needs, complying with high safety and precision engineering standards.

Keywords: Mechanical Engineering. Machine Design. Stress and Sizing

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Embaladora Maksiwa de barras de sabão.....	16
Figura 2-Embaladora Contínua de Caixas de Papelão.....	16
Figura 3-Divisão estrutural da empacotadora.	18
Figura 4-Ciclo dos CLPs.....	20
Figura 5-Partes principais da CLP.....	20
Figura 6-Exemplo de seladora.....	21
Figura 7-Exemplo de esteira.....	22
Figura 8-Inversor CFW 300.....	23
Figura 9-Etapas de Desenvolvimento do Estudo.....	27
Figura 10-Eixo de transmissão.....	31
Figura 11-Diagrama de corpo livre do eixo.....	32
Figura 12-Esforço cortante.....	32
Figura 13-Momento fletor.....	33
Figura 14-Fatores de sensibilidade ao entalhe para aços.....	36
Figura 15-Fatores de sensibilidade ao entalhe para aços.....	37
Figura 16-Fator de concentração de tensão para torção.....	39
Figura 17-Dimensões do rolamento 61810.....	41
Figura 18-Dados de cálculo.....	41
Figura 19-Mancal UCF210.....	42
Figura 20-Dados técnicos do motorreductor.....	44
Figura 21-Posição de montagem do motorreductor.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Estimativa de investimento.....	17
Tabela 2-Especificações iniciais.....	29
Tabela 3-Premissas do projeto.....	31
Tabela 4-Acionamentos.....	31
Tabela 5-Premissas iniciais do projeto.....	33
Tabela 6-Fórmula do fator de correção.....	34
Tabela 7-Coefficientes para equação do fator de superfície.....	34
Tabela 8-Fator de confiabilidade para S.....	35

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS GERAIS	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 Máquinas empacotadoras automáticas	15
2.1.1 Estrutura da máquina	17
2.1.2 Controlador lógico programável (CLP)	18
2.1.3 Sistema da seladora.....	21
2.1.4 Esteiras transportadoras, inversores de frequência e embalagens	22
2.1.5 Ergonomia, regulação e sistema de segurança	23
2.2 Empacotadora	26
2.3 Processo de embalagem	26
3. METODOLOGIA	27
3.1 Etapas do estudo	27
3.2 Pesquisa de suporte	27
3.3 Ferramentas e recursos computacionais	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
4.1 Estágio de definição	29
4.2. Projeto preliminar	30
4.2.1. Esteira transportadora	30
4.2.2 Forças de Acionamento da Esteira	30
4.2.3 Eixo de Transmissão da Esteira.....	32
4.2.4 Tensões de Flexão do Eixo	35
4.2.5 Tensões Torcionais do Eixo.	38
4.2.6 Coeficiente de Segurança	40
4.3 Projeto detalhado	40
4.3.1 Seleção dos rolamentos	40
4.3.2 Escolha do Mancal	42
4.3.3 Dimensionamento do Motorreductor	43
5. CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS	46
APÊNDICE A: FICHA TÉCNICA ESTEIRA	48
APÊNDICE B: FICHA TÉCNICA DO MOTORREDUTOR.....	50

APÊNDICE C: DESENHO MÁQUINA COMPLETA	52
APÊNDICE D: SISTEMA DE SELAGEM DA EMBALAGEM	54
APÊNDICE E: GAIOLA DE PROTEÇÃO DE SEGURANÇA.....	56
APÊNDICE F: ESTEIRA DE MOVIMENTAÇÃO COMPLETA.....	58
APÊNDICE G: SISTEMA DE TRAÇÃO.....	60

1 INTRODUÇÃO

Sendo a revolução industrial um processo de enormes mudanças nos processos produtivos e de produção, através do uso de energia a vapor e mecanização da produção, a automatização de serviços e manufaturas ganhou imensa ênfase, permitindo um grande desenvolvimento das máquinas, principalmente da área têxtil. Com essa temática, a automação industrial passa a ter importante papel na indústria, buscando cada vez mais níveis elevados de produção, com redução de custos, as empresas estão sendo obrigadas a investir em aperfeiçoamentos e otimização das tarefas fabris.

Também, entendendo a Indústria 4.0 como uma evolução dos sistemas produtivos industriais, a automação industrial passa a ser porta para a indústria 4.0, sendo a maneira mais eficiente de aumentar a produção e eficiência na produção, reduzir os custos, melhorar a ergonomia e elevar o rendimento do trabalho como nunca ocorreu antes (Portal da Indústria, 2021).

Com um consumidor cada vez mais crítico, a necessidade de elevados padrões de qualidade e a constante busca por diminuição nos custos dos processos de produção, a importância da automação industrial dentro das empresas reflete na adoção de cadeias produtivas que sejam especializadas e assim garantam o abastecimento dos estoques, mas também a sobrevivência das empresas que precisam se adequar a tais necessidades.

Relacionando as atuais necessidades nos processos de produção, com os conceitos de automação industrial surgidos com a revolução industrial no século XVIII, surgiu a necessidade de estudo de caso da implantação de uma empacotadora automática para uma Indústria de Aramados da região de Pato Branco PR. Por atualmente tratar-se de um processo totalmente manual, a implantação de uma máquina automática torna possível diminuir o tempo de produção e os custos com mão-de-obra, muito escassa na região.

Localizada na em Pato Branco, Paraná, a Industria de Aramados, empresa onde é desenvolvido o projeto, é focada na produção de acessórios para fogões. Hoje, a empresa se encontra em constante modernização, automatizando processos e incrementando o controle de qualidade. Possui como clientes grandes empresas como Atlas Eletrodomésticos, Whirlpool Latin América, Fogões Mueller, Fogões Fischer, Britânia, Fogões Braslar, Tecnovidro, Fogões Petrycoski, Fogões Oeste, entre outros,

fornecendo trempes, grades e acessórios da linha tubular e puxadores de alto padrão de qualidade. Com um crescimento de 60% na demanda de produção nos dois últimos anos, alguns processos de produção ficaram desatualizados e com alta necessidade de incremento de produção, surgindo a necessidade de melhorias e implementações nas linhas de produção.

Atualmente, o processo de empacotamento de todos os produtos produzidos na empresa é feito manualmente, onde são empregados 9 funcionários em dois turnos de 8 horas. No local há apenas uma esteira que é destinada a movimentação das peças. As peças são colocadas no início da esteira e os funcionários que ficam nas bordas da esteira fazem o processo de embalagem, ao fim da esteira ficam alocados mais dois funcionários responsáveis pela retirada das peças já empacotadas.

Também, passando por um processo de modernização das suas linhas de produção, com o objetivo de aumentar sua capacidade produtiva, a empresa em questão aposta na automação das linhas, com o grande crescimento da produção nos últimos anos, algumas áreas da produção estão um pouco obsoletas e não são mais capazes de suprir as necessidades atuais.

1.1 Objetivos gerais

Esse trabalho objetiva estruturar, estudar e projetar partes de uma empacotadora automática numa Indústria de Aramados sediada na cidade de Pato Branco-PR.

1.2 Objetivos específicos

- Determinar as condições de contorno para atendimento das necessidades específicas da empresa;
- Estruturar uma empacotadora automática;
- Estudar as principais partes que compõem a estrutura da máquina;
- Dimensionar um eixo e escolher rolamentos, mancais e motorreductores;

2 REVISÃO DE LITERATURA

A Revisão da Literatura está dividida em seis subcapítulos, sendo estes: 1. Máquinas Empacotadoras Automáticas; 2. Estrutura da Máquina; 3. Controlador Lógico Programável (CLP); 4. Sistema da Seladora; 5. Esteiras Transportadoras, Inversores de Frequência e Embalagens; e 6. Ergonomia, Regulamentação e Sistemas de Segurança.

2.1 Máquinas empacotadoras automáticas

Uma empacotadora automática industrial se caracteriza como um equipamento que serve para embalar produtos. Esse objeto é muito utilizado por empresas dos vários segmentos industriais, pois permite maior agilidade na produção, além de ser um método mais funcional e assertivo (SCM AUTOMAÇÃO, 2019). Os principais tipos de máquinas empacotadoras automáticas encontrados no mercado se destinam a área de alimentos, cosméticos, farmacêuticos, metalurgia e plásticos, entretanto, mesmo após uma vasta pesquisa nada foi encontrado para o empacotamento de médios e grandes peças de metais, onde se aplica a necessidade da empresa, surgindo assim, a necessidade deste trabalho.

Possuindo grande versatilidade, pois podem ser configuradas para lidar com produtos dentro de um mesmo padrão ou não, podendo haver alterações e diversos comandos distintos, basta alterações rápidas, se ajusta ao que for necessário na produção (LC EMPACOTADORS, 2020).

Os principais fornecedores de empacotadoras no cenário nacional são LC Empacotadoras, SCM Automação, Maksiwa e mais especificamente na região do Paraná a Cetro Máquinas. Na Figura 1 é mostrada uma embaladora Gênesis Speed da Maksiwa, que é um equipamento para aplicação exclusiva na embalagem de sabão em barras pelo processo de termo encolhimento, configurável para embalar barras tanto na forma agrupada como na forma unitária e com capacidade de produção de até 70 embalagens por minuto. O material de embalagem usado é o polietileno de baixa densidade (PEBD), potência nominal de 16 KW, tensão de acionamento de 380 V e preço de compra em cerca de R\$ 200.000,00 (variando de acordo com a necessidade de alterações).

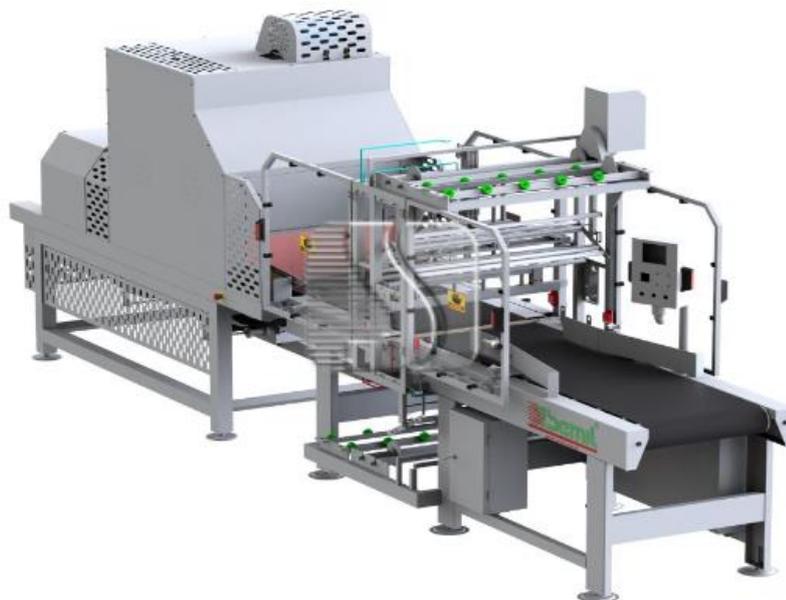
Figura 1 - Embaladora Maksiwa de barras de sabão.



Fonte: <https://maksywa.com/categoria-produto/linha-embalagens/> (2023).

A figura 2 mostra um equipamento destinado para envolver caixas de papelão com filme plástico termoencolhível realizando também o encolhimento do mesmo da marca SEMIL, que atua na área de frigorífico, avaliada em R\$ 190.000,00.

Figura 2 - Embaladora Contínua de Caixas de Papelão.



Fonte: <https://semil.com.br/solutions-products.html?category=embalagens> (2023).

O grande benefício que a empacotadora automática oferece, é o ganho de produtividade, fazendo com que sejam amplamente utilizadas nas mais diversas áreas alimentícias, farmacêuticas, de cosméticos, peças plásticas etc. Através do processo

de empacotamento automático, é possível padronizar o tempo de produção, evitando desperdício de recursos e matéria prima, além de não se fazer necessário um operador que fique constantemente manuseando o equipamento. São equipamentos que proporcionam agilidade e versatilidade, sendo possível embalar com velocidade uma enorme gama de diferentes objetos. Algumas Máquinas alcançam marcas de 6000 peças/pacotes por hora.

Como principal argumentação para a implantação temos o retorno do investimento, por se tratar de um investimento relativamente baixo (Tabela 1), tendo em vista que é possível aumentar a produção e lucratividade com um simples processo de automação. A Tabela 1 mostra uma estimativa básica de valor de investimento, descrevendo os principais gastos. Os valores apresentados na tabela seguiram uma estimativa de custos dos materiais realizada através dos preços praticados atualmente no mercado.

Tabela 1 - Estimativa de investimento.

Tipo	Descrição Detalhada	Valor(R\$)
Mão de obra	200 horas de trabalho de um técnico em eletromecânica de 100 R\$/hora	20.000,00
Matéria prima metálica	Estrutura (chapa de aço, tubo quadrado, barra de aço, parafusos, rolamentos, mancais etc.)	42.000,00
Sistema de tração	Motorreductores linha Spiroplan, SEW	R\$ 8.000,00
Componentes elétricos	Inversores, CLP, contactores, contatos, fusíveis, fontes, cabeamento etc.	3.000,00
Outros	Eventuais custos adicionais.	7.000,00
Investimento total		112.000,00

Fonte: Autor (2023).

2.1.1 Estrutura da máquina

A estrutura da empacotadora é dividida em 4 partes principais, compostas por: CLP, inversores de frequência, seladora e as esteiras. No quadro de comando ficam os componentes elétricos responsáveis por comandar a máquina, como inversores de frequência, CLP, contadores, relés etc. Para manter o sistema de empacotamento funcionando corretamente e na velocidade certa, é necessário garantir que cada

subsistema e componente esteja sempre em excelente estado de funcionamento. Isso também significa que você precisa ter os componentes certos para o seu produto e o sistema de embalagem necessário. Na Figura 2 aparece um exemplo de uma empacotadora antiga presente na empresa, nela é identificado parte da estrutura principal de qual é composta a empacotadora.

Figura 3 - Divisão estrutural da empacotadora.



Fonte: Autor (2023).

2.1.2 Controlador lógico programável (CLP)

Controlador Lógico Programável (CLP) é um equipamento, como o próprio nome já diz, que desempenha funções de controlar e monitorar processos, suas configurações são alteradas de acordo com as necessidades do usuário. CLPs são hoje a tecnologia de controle de processos industriais mais amplamente utilizada. Um CLP é um tipo de computador industrial que pode ser programado para executar funções de controle, esses controladores reduziram muito a fiação associada aos circuitos de controle convencional a relé, além de apresentar outros benefícios, como a facilidade de programação e instalação, controle de alta velocidade, compatibilidade de rede, verificação de defeitos e conveniência de teste e alta confiabilidade (FRANK D. PETRUZELLA, 2014). O CLP foi desenvolvido para atender as necessidades da indústria automobilística americana (General Motors). Suas primeiras aplicações foram na divisão de hidráulica da GM em 1968 (FABRICIA NERES, 2017).

Em ambientes industriais o CLP é um equipamento muito utilizado, porém não existe apenas um CLP, são diversas marcas e modelos de CLPs. Não existe uma

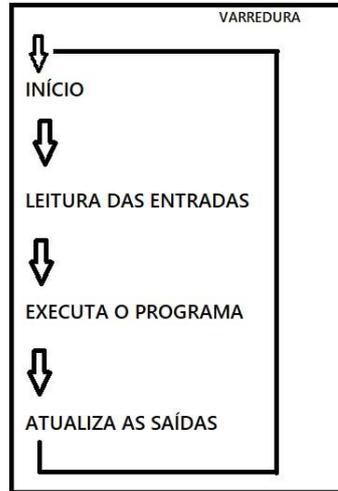
padronização nos números de entradas e saídas (digitais ou analógicas) ou tamanho de memória (FABRICIA NERES, 2017). De forma geral podemos classificar os CLPs do seguinte modo, compacto ou modular, descritos como:

- Compacto: de tamanho menor, possuem fonte de alimentação, CPU e módulos de entrada e saída em único equipamento. São menos complexos que os modulares e tem menos funções, geralmente apresentam menor preço de mercado;
- Modular: cada módulo executa uma função, ou seja, cada elemento é inserido de forma modular em racks, aumentando consideravelmente sua capacidade de operação e sua flexibilidade, sendo utilizados quando se exige um nível elevado de complexidade.

Como princípio de funcionamento dos CLPs, esses controladores agem de forma sequencial, agindo por etapas de varreduras (a ordem de grandeza do tempo de varredura total está entre 1 e 100 ms). São 4 as etapas (Figura 3), início, leitura das entradas, execução do programa e atualização das saídas, descritas da seguinte forma:

- Início: Verifica o funcionamento do CPU, estado das chaves, memórias, programa do usuário, existência de erros e falhas, por fim, desativa todas as saídas;
- Leitura das entradas: Identifica cada uma das entradas, testando se há acionamento;
- Execução do programa: Executa o programa de controle do usuário; Atualização das saídas: Através das instruções do usuário sobre qual ação tomar em caso de acionamento das entradas, o CLP atualiza a memória imagem das saídas. As saídas são acionadas ou desativadas conforme a determinação do CPU, então um novo ciclo é iniciado.

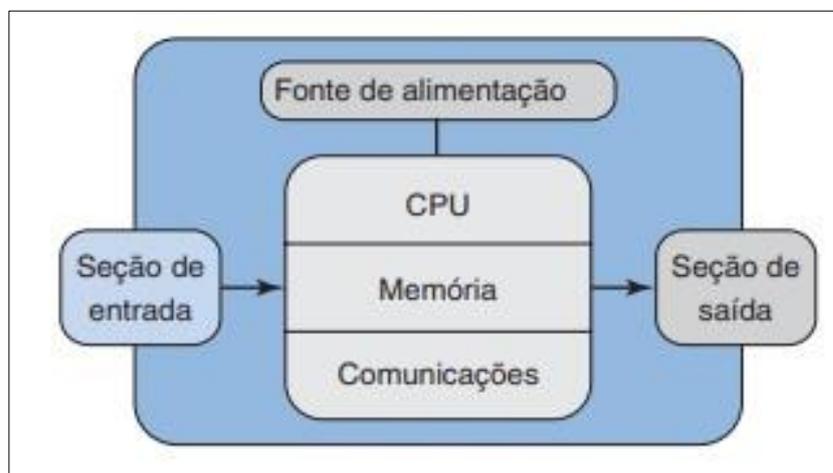
Figura 4 - Ciclo dos CLPs



Fonte: Rockwell Automation, Inc (2019).

Quanto às partes que compõem um CLP, são verificadas cinco estruturas: a fonte de alimentação (com função de fornecer energia para o CLP, sendo que a tensão de alimentação pode ser 110V CA, 220V CA ou 24V CC); a Unidade Central de Processamento (CPU, responsável pela manipulação das informações); as Memórias EPROM – Memória do Programa Monitor, responsável pelo sistema operacional; *start* do CLP; sequência de operações e drivers; memória do usuário – armazena o programa desenvolvido, configuração de dados, imagens de dados e o buffer de comunicação), as Entradas (digitais ou analógicas) e as saídas (digitais ou analógicas). Essas partes podem ser verificadas na Figura 4.

Figura 5 - Partes principais da CLP.



Fonte: Rockwell Automation, Inc (2019).

2.1.3 Sistema da seladora

A seladora utiliza um sistema de embalagem que é similar ao conhecido por *flow-pack*, que veda as duas laterais de forma precisa e segura como mostra a Figura 5. A seladora é usada em diversos segmentos, tanto por indústrias quanto por comerciantes. Dessa forma ela pode ser utilizada para fechar embalagens plásticas de alimentos, balas, doces, salgados, ferramentas como parafusos e pregos.

Sendo um subsistema da empacotadora, a seladora funciona por uma união de partes: resistências elétricas, facas, pistão e sensores. As resistências elétricas são responsáveis por aquecer as facas que selam o material e o cortam. O pistão pneumático é responsável pela movimentação do sistema da seladora, ele faz o movimento de subida das facas e das resistências, que ficam acopladas em uma só partes. Por sua vez, os sensores têm o papel de monitorar o funcionamento, como temperatura das resistências e o movimento do pistão.

Figura 6 - Exemplo de seladora



Fonte: MKM Máquinas (2019).

2.1.4 Esteiras transportadoras, inversores de frequência e embalagens

As **esteiras transportadoras** são objetos fundamentais nas indústrias para garantir movimentação com agilidade e dinamismo dos produtos. Com o desenvolvimento dessa tecnologia ocorreu um grande avanço, uma vez que não era mais necessário o esforço para carregamento de produtos, reduzindo mão de obra, custos e tempo. As esteiras são acopladas a seladora sendo formada essencialmente por rolamentos, a esteira e um motor para movimentação (Figura 6).

Figura 7 - Exemplo de esteira.



Fonte: Suprimax (2020).

O **inversor de frequência** é um dispositivo eletrônico capaz de variar a velocidade de giro de um motor, controlando assim a potência consumida pela carga através da variação da frequência entregue pela rede. No projeto ele será o responsável por controlar a velocidade das esteiras transportadoras.

O inversor de frequência tem como principal função alterar a frequência da rede que alimenta o motor, fazendo com que o motor siga frequências diferentes das fornecidas pela rede, que é sempre constante. Desta forma pode-se facilmente alterar a velocidade de rotação do motor com mais eficiência (HENRIQUE MATTEDE, 2015).

Figura 8 - Inversor CFW 300.



Fonte: WEG (2021).

A embalagem das peças é feita usando Polietileno de Baixa Densidade (PEBD). O Polietileno é um polímero mais simples e mais barato do mercado devido à sua alta produção mundial. Com densidade de 0,910-0,925 g/cm³, o PEBD Pertence ao grupo dos polímeros termoplásticos, ou seja, aqueles que se deformam com o calor e que podem ser fundidos diversas vezes. Sua temperatura de fusão é entre 110°C e 115°C (Callister, 1999).

2.1.5 Ergonomia, regulação e sistema de segurança

O desenvolvimento dos maquinários e seus **aspectos ergonômicos** demanda que o projeto, construção e manutenção das máquinas e dos equipamentos, sigam critérios, como:

- Atendimento da variabilidade das características antropométricas dos operadores;
- Respeito às exigências posturais, cognitivas, movimentos e esforços físicos demandados pelos operadores;
- Os componentes como monitores de vídeo, sinais e comandos, devem possibilitar a interação clara e precisa com o operador de forma a reduzir possibilidades de erros de interpretação ou retorno de informação;
- Favorecimento do desempenho e a confiabilidade das operações, com redução da probabilidade de falhas na operação;
- Redução da exigência de força, pressão, prensão, flexão, extensão ou torção dos segmentos corporais;

- A iluminação deve ser adequada e ficar disponível em situações de emergência, quando exigido o ingresso em seu interior;
- A instalação dos comandos mais utilizados em posições mais acessíveis ao operador, localização e distância de forma a permitir manejo fácil e seguro;
- Visibilidade, identificação e sinalização que permita serem distinguíveis entre si;
- A instalação dos elementos de acionamento manual ou a pedal de forma a facilitar a execução da manobra levando em consideração as características biomecânicas e antropométricas dos operadores; e
- Garantia de manobras seguras e rápidas e proteção de forma a evitar movimentos involuntários.

Quanto à **regulamentação**, no Brasil, a segurança no trabalho é regulamentada pela Norma Regulamentadora (NR), que são atos legislativos obrigatórios. Em particular, a principal lei de Segurança de Máquinas Industriais no Trabalho é a NR 12 “Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos” que define obrigações específicas para projetistas, fabricantes, importadores e empregadores (BRASIL, 2021).

A NR 12 não prevê um conjunto definitivo de regras para utilização de nenhum tipo de máquina ou equipamento, uma vez que cada projeto tem suas especificidades que devem passar por prévia apreciação de riscos. Mas, no que tange a utilização de máquinas pesadas, os principais acidentes de trabalho se relacionam com a não utilização ou má utilização de EPIs, falta de sinalização e uso indevido de máquinas, não respeitando seus limites e capacidade de carga (TÓMAS LIMA, 2019).

Prevendo não apenas obrigatoriamente do empregador, mas também do trabalhador, a norma regulamentadora estabelece requisitos mínimos para a prevenção possíveis acidentes ou até mesmo doenças causados pelo trabalho e utilização de máquinas e equipamentos. As mais importantes recomendações para o trabalho com máquinas e equipamentos, são:

- Arranjo físico e instalações – se determina a criação de espaços para circulação dos trabalhadores, nos locais onde as máquinas e equipamentos forem instalados. Essas rotas precisam estar sinalizadas. Da mesma forma, é preciso construir escadas e rampas orientadas por dimensões que favoreçam a locomoção dos equipamentos e dos trabalhadores.

- Instalações e dispositivos elétricos – é necessário projetar sistemas elétricos que evitem os riscos de choque elétrico. Quadros, painéis, circuitos... Serão instalados de acordo com as normas técnicas oficiais, para não expor os trabalhadores, e para se distanciar de outros elementos nocivos aos circuitos elétricos (combustíveis, calor, umidade, etc.)
- Dispositivos de partida, acionamento e parada – a NR 12 especifica que esses dispositivos devem ser instalados longe da parte perigosa da máquina; que mesmo não sendo operador da máquina, outro trabalhador consiga desligá-lo; tenham travas para evitar o acionamento ou desligamento acidental.
- Sistema de segurança – é obrigatório criar zonas de segurança nas proximidades das máquinas e equipamentos. Devem ser colocadas proteções móveis ou fixas (dependendo do tipo de operação). esse sistema de segurança deve ser projetado por profissional qualificado, e seguir todas as recomendações técnicas.
- Dispositivos de parada de emergência – todas as máquinas devem ter um dispositivo de parada de emergência, pois assim podem ser interrompidas, e evitar acidentes em situações de aparente risco.
- Componentes pressurizados – em maquinários que contenham componentes pressurizados (mangueiras, tubulações, etc.), é necessário tomar medidas adicionais, tais como: instalar dispositivos que alertem sobre pressão máxima, ou que apontem queda brusca de pressão, vazamentos, etc.
- Transportadores de materiais – espaços que tenham movimentação de materiais necessitam de áreas de segurança que determinem pontos de esmagamento, aprisionamento e agarramento.
- Aspectos ergonômicos – as empresas devem adquirir máquinas e equipamentos de fabricantes que respeitem as normas técnicas de ergonomia (nacionais e internacionais).
- Sinalização – a NR 12 indica que máquina e equipamentos (mesmo que não estejam em operação) precisam ser sinalizados para chamar atenção dos trabalhadores e de terceiros. Esses sinais, obrigatoriamente, devem estar visíveis, e claros para que todos compreendam.

- Procedimentos de trabalho e segurança – a NR 12 orienta que todas as atividades de trabalho como máquina e equipamentos necessitam ser padronizadas, a partir de avaliações de riscos (específica para cada uma delas).
- Capacitação – todos os profissionais que se envolvam desde a operação até a manutenção das máquinas, precisam de habilitação para tal. Há depender da função, eles devem ser formados em instituições devidamente reguladas pelos órgãos fiscalizadores.

Em relação aos sistemas de segurança, as zonas de perigo das máquinas e equipamentos devem possuir sistemas caracterizados por proteções fixas, proteções móveis e dispositivos de segurança interligados, que garantam proteção à saúde e à integridade física dos trabalhadores. A adoção de sistemas de segurança, em especial nas zonas de operação que apresentem perigo, deve considerar as características técnicas da máquina e do processo de trabalho e as medidas e alternativas técnicas existentes, de modo a atingir o nível necessário de segurança previsto nesta norma.

2.2 Empacotadora

A empacotadora foi composta por duas esteiras transportadoras, responsáveis pelo transporte das peças metálicas, e uma seladora com o papel de fechar a embalar as peças. Suas estruturas serão feitas de componentes metálicos unidos por solda ou parafusos. Através da necessidade de produção é capaz de calcular a velocidade de giro das esteiras e da seladora. Para o transporte de peças o método usado é a movimentação por esteiras. Já para a selagem da embalagem, o uso de uma seladora com duas facas acaba por ser um método barato e prático, por não se fazer necessário a compra de embalagem já prontas para o processo.

2.3 Processo de embalagem

Primeiramente, duas bobinas de filme ficam alocadas em eixos, um na parte superior e outro na parte inferior, assim, cada avanço da esteira designa o comprimento da tira.

Com a temperatura de selagem sendo de aproximadamente 115 °C, a seladora formada pelas facas de corte e resistências de aquecimento faz o processo de selagem da embalagem a cada movimento (subida e descida) dos pistões.

Depois das unidades de elevação se abrirem, a embalagem que foi cortada pelas facas é retirada da máquina através de uma esteira transportadora. Aí, as embalagens são retiradas manualmente para embalagem em *pallets*.

3 METODOLOGIA

3.1 Etapas do estudo

O desenvolvimento do presente trabalho é baseado na metodologia de projetos do Norton (2013), onde são definidas 4 etapas a serem abordadas na metodologia (Figura 8). Nesta fase do desenvolvimento são definidas as etapas do estudo, onde na parte de projeto preliminar são definidas as condições iniciais para estudo, o projeto detalhado fica com a parte de cálculos primários e no projeto detalhado ficam as definições de especificações finais do estudo.

Figura 9 – Etapas de Desenvolvimento do Estudo.



Fonte: Adaptado de Norton (2013).

3.2 Pesquisa de suporte

Para o desenvolvimento desse projeto, foram realizadas pesquisas nas áreas de automação (com enfoque na área de máquinas automáticas), elementos de máquinas e materiais, por fim, foram feitas visitas a empresas parceiras que já utilizam máquinas parecidas. Assim, as informações auxiliaram na definição dos problemas e conseqüentemente nas possíveis soluções do mesmo, definindo assim, as ações necessárias e também os parâmetros iniciais do projeto.

3.3 Ferramentas e recursos computacionais

As ferramentas computacionais são ferramentas fundamentais para os projetos mecânicos, otimizando assim a qualidade técnica e a construção e modelagem dos componentes. O software *SolidWorks* 2019 foi usado para execução do projeto, auxiliando nos desenhos dos croquis, modelagem da máquina, detalhamento geral do implemento e projeção, onde foram desenhados todos componentes mecânicos das máquinas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Etapa na qual o foco é estudar componentes do produto de acordo com às necessidades da empresa, levando em conta tamanho de peças, produtividade e custo-benefício. Para a projeção e modelamento da máquina usou-se ferramenta CAD 3D, onde foi desenhado todos componentes mecânicos das máquinas. O projeto segue detalhadamente a metodologia descrita por Norton (2013), seguindo passo a passo todas etapas necessárias para o desenvolvimento da máquina.

4.1 Estágio de definição

A máquina em questão será composta por 2 esteiras transportadoras e uma seladora, contando com uma gaiola de proteção para atendimento das normas de segurança. Para fins de cálculo foi desprezado o peso das peças devido ser pequeno em comparação as forças aplicadas.

Foram especificadas algumas condições de contorno iniciais, nessas foram consideradas as necessidades da empresa em sua capacidade máxima de produção.

Tabela 2 - Especificações iniciais

Produtividade	2000peças//hora
Comprimento esteira	3m
Peso específico da esteira(m ²)	2,5 kg
Modelo esteira	V220B 05M00 AS
Marca esteira	Centraco
Tamanho peças	45cmx24cm
Espaçamento entre peças	10cm
Velocidade da esteira	11,33m/min
Peso eixo	7,73kg
Massa esteira	2,5km/m ²
Peso por peça	0,5kg

Fonte: Autor (2023).

4.2 Projeto preliminar

Neste trabalho não se buscou inventar uma nova máquina, mas sim definir forma, dimensões e materiais de um elemento específico da máquina, de modo que ela não falhe em virtude do carregamento e das condições ambientais esperadas em operação.

4.2.1 Esteira transportadora

Diversas são as empresas fornecedoras de esteiras transportadoras, cada qual voltada para diferentes tipos de usos. Para a aplicação, foi escolhida uma esteira Centracor Correia, modelo V220B 05M00AS PVC.

4.2.2 Forças de Acionamento da Esteira

Chama-se de força de acionamento a força necessário para a translação do sistema da esteira. Para cálculo da força de acionamento utilizou-se o Manual “Seleção de Acionamentos” de 2007, da SEW Eurodrive.

Para determinar as forças de resistência ao movimento e definimos 4 tipos de forças:

- Força de resistência principal F_H
- Força de resistência secundária F_N
- Força de resistência ao aclave F_{st}
- Força de resistência especial F_s

F_H pode ser definida como a força de resistência pela carga a ser movimentada, onde:

$$F_H = L * f * g(m_R/L + (2 * m_g + m_L) \cos \theta) \quad (1)$$

$$F_H = 3 * 0,25 * 9,81 \left(\frac{2 * 7,73}{3} + (2 * 1,25 + 1) \cos(0) \right) = 63,67N$$

Tabela 3 - Premissas do projeto.

Comprimento da esteira (L)	3m
Coefficiente de atrito (f)	0,3
Aceleração da gravidade (g)	9,81m/s ²
Carga máxima transportado kg/m (mL)	1
Massa da correia em kg/m (mg)	1,25
Massa dos rolos m_R	7,73kg/por rolo
Ângulo de elevação (θ)	0

Fonte: Autor (2023).

F_N é determinada pela correlação ao atrito, onde:

$$F_n = F_H * (C - 1) \quad (2)$$

onde C pode ser definido através do comprimento da correia transportadora conforme detalhado no Quadro 2.

Tabela 4 - Acionamentos

L [m]	< 20	20	40	60	80	100	150	200	300
C	3	2,5	2,28	2,1	1,92	1,78	1,58	1,45	1,31
L [m]	400	500	600	700	800	900	1000	2000	> 2000
C	1,25	1,2	1,17	1,14	1,12	1,1	1,09	1,06	1,05

Fonte: SEW, seleção de acionamentos (2007).

Assim:

$$F_n = 63,67 * (3 - 1) = 127,34$$

Assim, somando as duas forças que se opõem ao movimento dos acionamentos, temos F_{total} , que representa a força total necessária para o deslocamento do eixo.

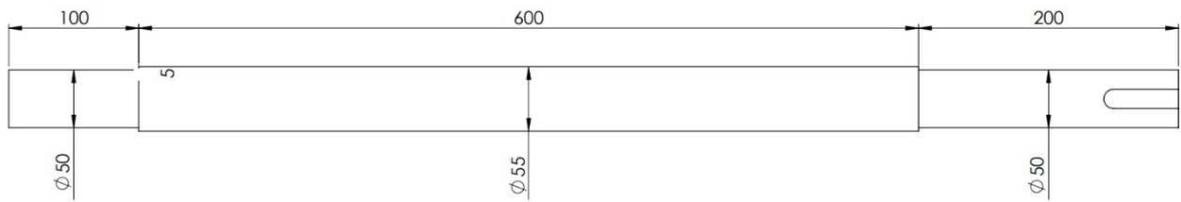
(3)

$$F_{total} = F_H + F_n = 191,01 N$$

Em nosso caso não teremos força de resistência ao aclave, pois a esteira se mantém perpendicular a o chão, nem força de resistência especial, devido a não ser encontrada mais nenhuma força de oposição aos movimentos fora as já estipuladas.

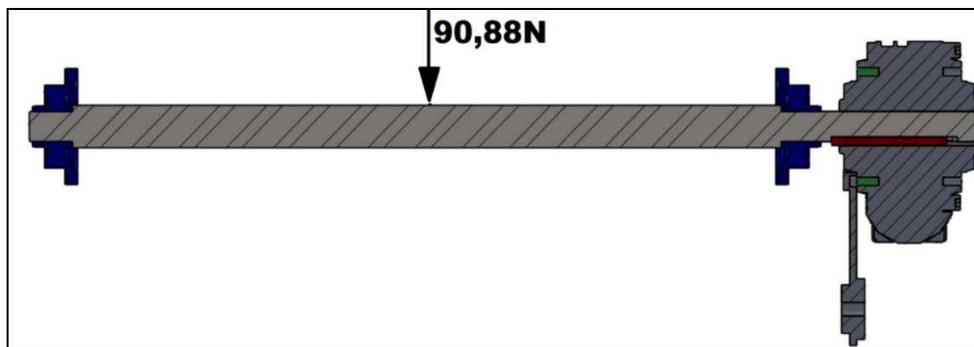
4.2.3 Eixo de Transmissão da Esteira

Figura 10 - Eixo de transmissão



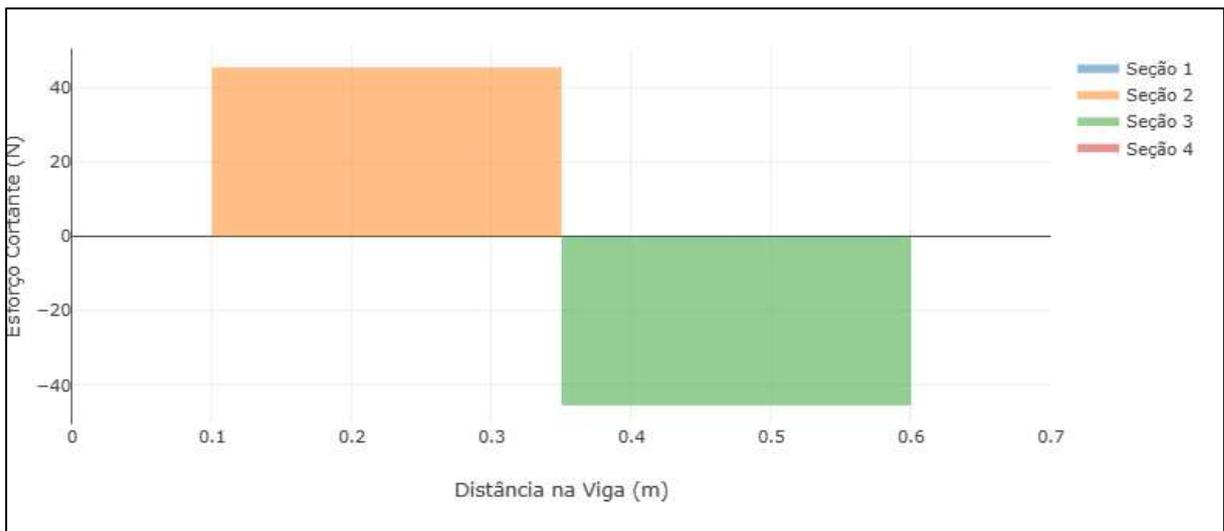
Fonte: Autor (2023).

Figura 11 - Diagrama de corpo livre do eixo.



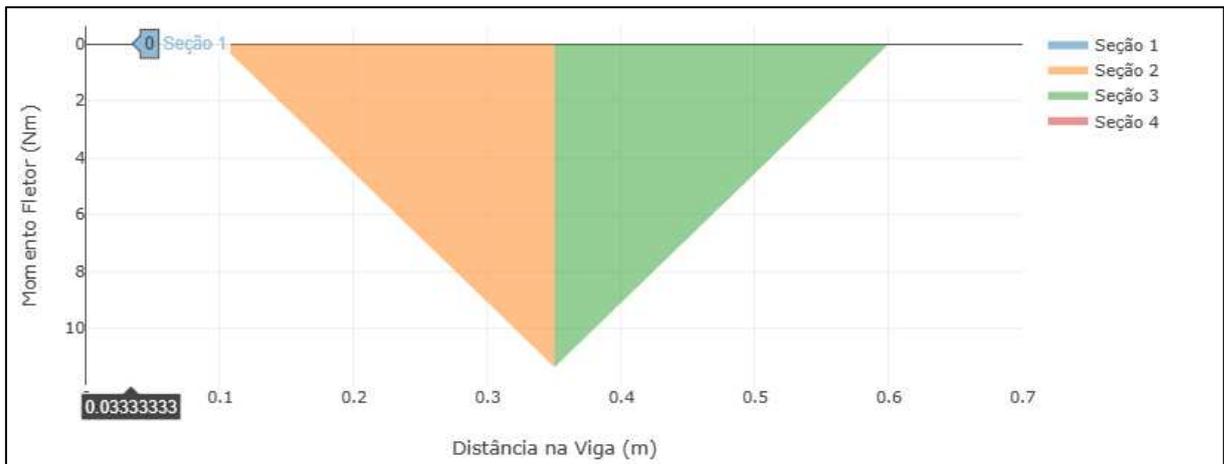
Fonte: Autor (2023).

Figura 12 - Esforço cortante.



Fonte: Autor (2023).

Figura 13 - Momento fletor



Fonte: Autor (2023).

Segundo Norton, 2013, eixos de transmissão são utilizados praticamente em todas as partes de máquinas para transmitir movimento de rotação e torque de uma posição para outra.

Para confecção do eixo, foi escolhido o aço SAE 1045, cujas propriedades estão detalhadas na Tabela 3.

Tabela 5 – Premissas iniciais do projeto.

Resistência de escoamento a tração	505MPa
Resistencia máxima a tração Sut	585MPa
Densidade	7,87g/cm ³
Dureza Brinell (HB)	170
Módulo Elástico	210GPa

Fonte: Autor (2023).

Esse material apresenta boa usinabilidade, além de um ótimo custo/benefício, facilitando os processos de produção do eixo, como torno e fresa, assim, sendo uma ótima escolha para a fabricação de eixos.

Seguindo as definições de Norton, 2013 para os fatores de correção da resistência a fadiga, temos que:

(4)

$$S_e = C_{carreg} * C_{tam} * C_{sup} * C_{temp} * C_{conf} * S_e'$$

Limite de fadiga como sendo a metade da resistência máxima a tração.

(5)

$$S_e' = 0,5 S_{ut} = 292,5 \text{ Mpa}$$

O fator de carregamento é igual a 1 ($C_{carreg} = 1$), pois nosso eixo está submetido apenas a flexão.

O fator de correção por tamanho do eixo é calculado através das equações a seguir. Adotou-se uma dimensão de 50 mm para o cálculo desse fator.

Tabela 6 - Fórmula do fator de correção

Para $d \leq 0,3 \text{ in (8mm)}$:	$C_{tamanho} = 1$
Para $0, < d \leq 10 \text{ in}$:	$C_{tamanho} = 0,869d^{-0,097}$
Para $8\text{mm} < d \leq 250\text{mm}$	$C_{tamanho} = 1,189d^{-0,097}$

Fonte: Norton (2013).

(6)

$$C_{tamanho} = 1,189d^{-0,097}, C_{tamanho} = 1,189(50)^{-0,097} = 0,8135$$

O fator de superfície é obtido através da equação 7, levando em consideração que o eixo será usinado, a resistência máxima a tração de 585 MPa e os dados da Figura 11.

Tabela 7 - Coeficientes para equação do fator de superfície

Acabamento superficial	Para S_{ut} em Mpa, use		Para S_{ut} em kpsi, use	
	A	b	A	b
Retificado	1,58	-0,085	1,34	-0,085
Usinado ou estirado à frio	4,51	-0,265	2,7	-0,265
Laminado a quente	57,7	-0,718	14,4	-0,718
Forjado	272	-0,995	39,9	-0,995

Fonte: Norton (2013).

(7)

$$C_{superf} = A(S_{ut})^b$$

$$C = 0,832$$

Norton define que para temperaturas menores que 450°C, temos que fator de temperatura igual a 1 ($C_{temp} = 1$). Adotando uma confiabilidade de 50%, o fator de confiabilidade será igual a 1 $C_{conf} = 1$.

Tabela 8 - Fator de confiabilidade para S.

Confiabilidade (%)	C_{conf}
50	1,000
90	0,897
95	0,868
99	0,814
99,9	0,753
99,99	0,702
99,999	0,659
99,9999	0,620

Fonte: Norton (2013).

Com a junção dos fatores de correção acima obtidos, calcula-se a resistência de fadiga não corrigida (S_f).

Se, vida infinita:

$$S_f = 1 * 0,8135 * 0,832 * 1 * 1 * 292,5 = 197,97Mpa$$

4.2.4 Tensões de Flexão do Eixo

Para cálculo das tensões do eixo, usa-se duas equações, uma para a tensão alternante (σ_a) e outra para tensão média (σ_m).

(8)

$$\sigma_m = K_{fm} \frac{M_m * c}{I}$$

$$\sigma_a = K_f \frac{M_a * c}{I}$$

onde: K_{tf} é o fator de concentração de tensão em fadiga; K_{fm} é o fator de concentração de tensão em fadiga médio; M_m é o momento fletor médio; M_a é o momento fletor alternante; C é a distância do plano neutro até a fibra externa, tanto na parte superior como na parte inferior e I é o momento de inercia da seção transversal.

Segundo Norton (2013), a sensibilidade as concentrações de tensões divergem entre diferentes materiais. Geralmente, quanto mais dúctil, menor a sensibilidade e quanto maior for a sua dureza, mais suscetível é o material a sofrer com descontinuidades. Norton (2013) comenta que irregularidades ou descontinuidades, como entalhes ou furações, geram um aumento de tensão localizada no componente, e desta maneira, o raio de arredondamento influencia no fluxo da força, crescendo ou decrescendo o valor da sensibilidade ao entalhe.

Para o caso estudado está sendo considerado que as forças que geram flexão no eixo são constantes, assim, apresenta apenas tensão alternada com momento fletor médio igual a zero, logo, $\sigma_m = 0$.

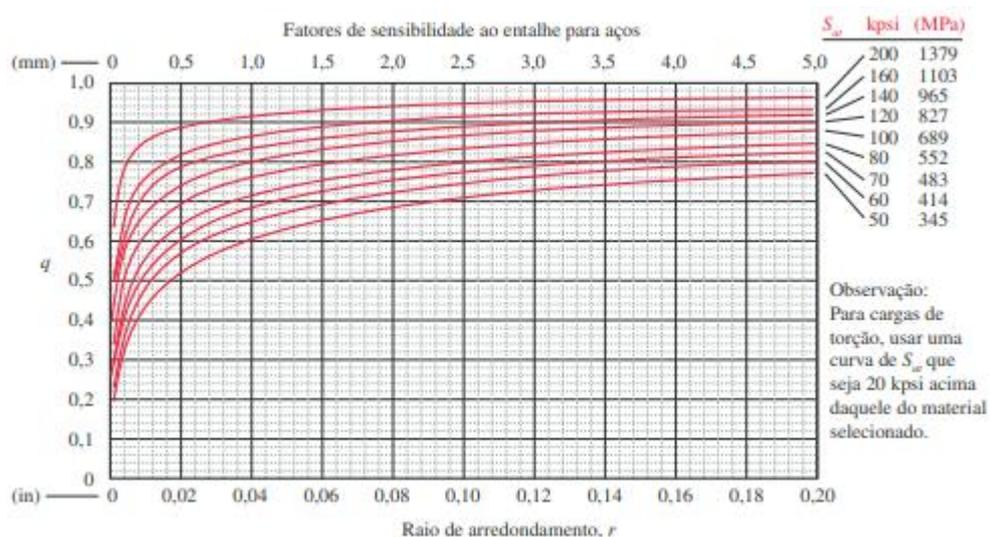
Calcula-se K_f a partir da equação 9, com q_f sendo o fator de sensibilidade ao entalhe e K_{tf} o fator de concentração teórico.

(9)

$$K_f = 1 + q_f * (K_{tf} - 1)$$

Obtêm-se o q_f , considerando para isso, um raio de arredondamento de 2 mm e a máxima resistência a tração do material.

Figura 14 - Fatores de sensibilidade ao entalhe para aços.



Fonte: Norton (2013)

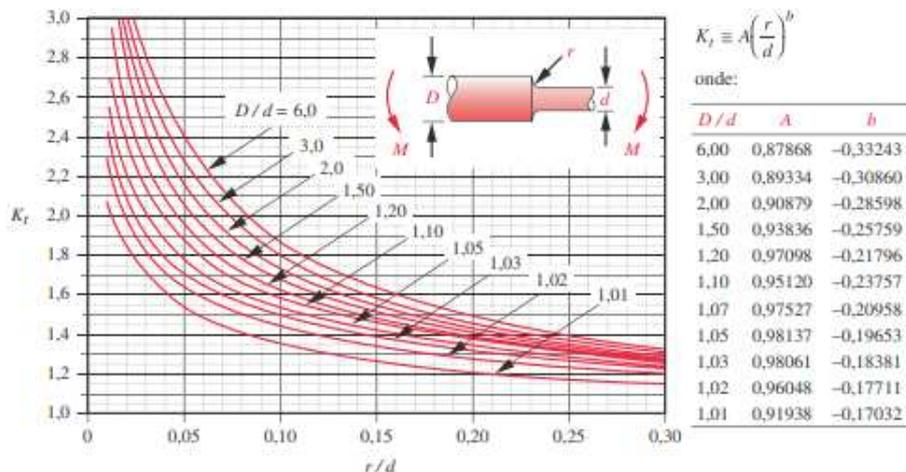
Com os dados da figura abaixo, obtém-se o fator de sensibilidade ao entalhe (q_f) para flexão, que será igual a 0,74 e o fator de sensibilidade ao entalhe para torção (q_t) igual a 0,76.

Para o cálculo do K_f ainda se faz necessário encontrar o valor K_{tf} , que é obtido através da Equação 11.

Com a razão entre o diâmetro maior pelo menor igual a $\frac{D}{d} = 1,1$, raio de arredondamento igual a 2 mm e os dados da figur1 17 obtém-se o valor de K_{tf} :

$$K_{tf} = A * \left(\frac{r}{d}\right)^b = 2,04 \tag{11}$$

Figura 15 - Fatores de sensibilidade ao entalhe para aços.



Fonte: Norton (2013)

Utilizando os dados acima obtidos, calcula-se então, o fator de concentração de tensão por fadiga K_f .

$$K_f = 1 + 0,74(2,04 - 1) = 1,77$$

Por fim, para o caculo da tensão de flexão alternante, onde c é a distância do plano neutro até a fibra externa, I é o momento de inercia da seção transversal e para questões de cálculo definiu-se o diâmetro como sendo de 50 mm, temos que:

(12)

$$\sigma_a = K_f \frac{M_a * c}{I} = 1,77 \frac{11,6 * (25 * 10^{-3})}{\left(\frac{\pi * (50 * 10^{-3})^4}{64}\right)} = 0,17MPa$$

4.2.5 Tensões Torcionais do Eixo

Pode-se definir tensões torcionais como sendo as tensões causadas pela aplicação de torque em um eixo. As tensões torcionais cisalhantes médias (τ_m) e alternantes (τ_a) do eixo são calculadas pelas equações a seguir:

(13)

$$\tau_m = K_{fs} \frac{T_a * r}{J}$$

$$\tau_a = K_{fm} \frac{T_m * r}{J}$$

onde: K_{fs} é o fator de concentração da tensão torcional média e K_{fm} fator de concentração da tensão alternante. Já r o raio do eixo e J o momento polar de inercia. Considerando o torque como sendo constante a a tensão torcional será nula, $\tau_a = 0$, assim, calculá-se apenas a tensão torcional média.

(14)

$$T_m = \frac{191,01 * 50}{2000} = 4,775Nm$$

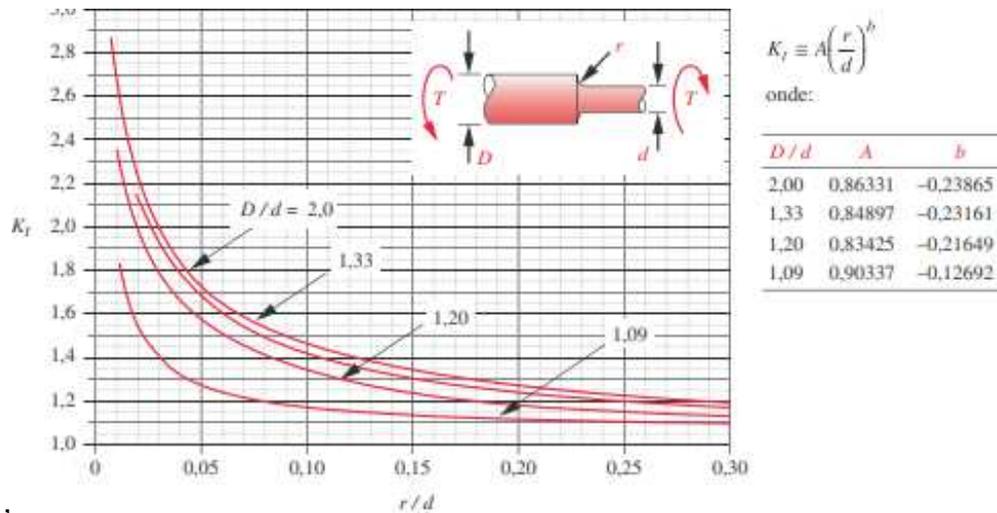
Para o calculo da tensão torcional média, se faz necessário, primeiramente, o cálculo do K_{fs} , através da equação 15, sendo K_{tt} o fator geométrico para concentração de tensão em torção.

(15)

$$K_{fs} = 1 + q_t * (K_{tt} - 1)$$

Com $q_t = 0,76$, obtido anteriormente na secção 4.3.5.2, obtemos o valor de K_{tt} pela figura 18:

Figura 16 - Fator de concentração de tensão para torção.



Fonte: Norton (2013)

Com $\frac{D}{d} = 1,1$, se faz necessário realizar a interpolação para os valores de A e b , para $\frac{D}{d} = 1,2$ e $\frac{D}{d} = 1,09$. Assim, $A = 0,8971$ e $b = -0,2169$.

(17)

$$K_{tt} = A * \left(\frac{r}{d}\right)^b = 0,8971 \left(\frac{2}{50}\right)^{-0,2169} = 1,8032$$

E, a partir dos valores obtidos calcula o fator de concentração de tensão K_{fs} ,

(18)

$$K_{fs} = 1 + q_t(K_{tt} - 1) = 1 + 0,76(1,8032 - 1) = 1,6104$$

Por fim, é possível encontrar o valor da tensão torcional média, com o torque sendo

(19)

$$T_m = \frac{191,01 * 50}{2000} = 4,775 Nm$$

E a tensão torcional média

$$\tau_m = 1,6104 \frac{4,775 * 25 * 10^{-3}}{\frac{\pi * (25 * 10^{-3})^4}{64}} = 0,1003 MPa$$

4.2.6 Coeficiente de Segurança

Por se tratar do valor mínimo exigido pela fabricante da esteira utilizada para esse tipo de uso, foi definido um diâmetro de eixo de 50 mm, como citado na ficha técnica da esteira escolhida (Apêndice A).

Para verificar se o diâmetro pré-determinado será capaz de satisfazer as necessidades de projeto, se faz necessário o cálculo do coeficiente de segurança. Para tal, temos que:

(20)

$$\frac{1}{N_f} = \frac{32}{\pi * d^3} * \left(\frac{\sqrt{K_f * M_a}}{S_f} + \frac{\sqrt{\frac{3}{4} (K_{fs} * T_m)^2}}{S_{ut}} \right)$$

desse modo

$$\frac{1}{N_f} = \frac{32}{\pi * (50 * 10^{-3})^3} * \left(\frac{\sqrt{1,77 * 11,6}}{585 * 10^3} + \frac{\sqrt{\frac{3}{4} (1,6104 * 4,775)^2}}{197,97 * 10^3} \right)$$

$$N_f = 120$$

Após a realização dos cálculos, obteve-se um coeficiente de segurança de cerca de 120, sendo esse extremamente alto, é possível afirmar que o eixo está com um diâmetro capaz de satisfazer as necessidades do projeto

4.3 Projeto detalhado

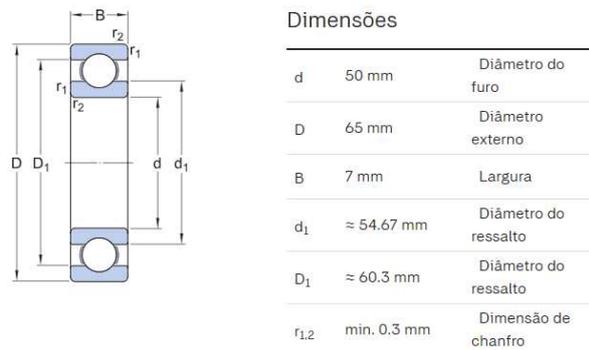
4.3.1 Seleção dos rolamentos

Rolamentos tem como função reduzir o atrito ou fricção entre duas superfícies oscilantes (girando), que se encontram em contato, assim, diminuindo a perda de energia.

Podendo receber cargas axiais puras, somente cargas radiais ou a combinação das duas, diversos tipos de rolamentos podem ser encontrados no mercado, como de esferas, de rolos, paralelo, cônico, para cargas radiais ou axiais, onde estes componentes são padronizados e tabelados de acordo com seu tipo e característica.

Para a seleção do rolamento do adequado o projeto, utilizou-se do catálogo do fabricante SKF. A partir do mesmo, foi selecionado o rolamento SKF modelo 61810.

Figura 17 - Dimensões do rolamento 61810.



Fonte: Catálogo SKF (2019)

Figura 18 - Dados de cálculo.

Classificação de carga dinâmica básica	C	6.76 kN
Classificação de carga estática básica	C ₀	6.8 kN
Limite de carga de fadiga	P _u	0.285 kN
Velocidade de referência		20 000 r/min
Velocidade-limite		13 000 r/min
Fator de carga mínima	k _r	0.015
Fator de cálculo	f ₀	17.2

Fonte: Catálogo SKF (2019)

Para calcular a vida em fadiga do mancal, foi utilizada a seguinte equação, dada por Norton (2013):

$$L_{10} = K_r \left(\frac{C}{P} \right)^3 \quad (21)$$

Com uma carga $P = 45,71N$, $C = 6,76KN$, Fator de confiabilidade (K_r) = a 90%, temos:

$$L_{10} = 1 \left(\frac{6760}{45,71} \right)^3 = 3234494 \text{ ciclos} \quad (22)$$

Isso significa que o rolamento deve sofrer sua primeira falha por fadiga após 3,23 milhões de ciclos.

4.3.2 Escolha do Mancal

O mancal é um elemento que dá apoio para um eixo enquanto que rotaciona, fornecendo suporte estrutural enquanto o rolamento gira. Além do apoio, o mancal serve também para proteção dos rolamentos contra. Os mancais podem escorregar, rolar ou ambos simultaneamente.

Existem vários tipos de mancais, entretanto, sua escolha está diretamente ligada a escolha do rolamento. Os mancais são padronizados e tabelados através do tipo de rolamento selecionado, a forma construtiva, o método de vedação e tipo de material.

Para o projeto em questão, foi escolhido o mancal flangeado modelo UCF210, conforme Figura 21.

Figura 19 - Mancal UCF210.



Fonte: Google (2023)

4.3.3 Dimensionamento do Motorreductor

Os motorredutores são equipamentos formados por uma engrenagem redutora e um motor elétrico integrados. O movimento de rotação do motor move as engrenagens fazendo com que a velocidade de giro seja reduzida, mas fornecendo um elevado torque.

Para a movimentação da esteira, escolheu-se um motorreductor SEW, da linha spiroplan, por apresentar um formato extremamente compacto e ao mesmo tempo ser leve em consideração com os demais. A linha spiroplan, apresenta um rendimento em cerca de 30% ($n = 0,3$).

Primeiro, calcula-se a potência necessária para a movimentação do sistema (P_s), dada em watts. Após o cálculo da potência, é calculado o torque nominal (M_H) e a velocidade de giro (N_a), sendo esses os principais dados para a escolha do motoredutor.

(23)

$$P_s = \frac{F_{total} * v}{n} = \frac{191,01N * \frac{0,189m}{s}}{0,3} = 90,25W$$

$$M_H = \frac{P_s * 9550}{N} = \frac{(90,25/1000) * 9550}{72,23} = 11,93N$$

$$N_a = \frac{V * 60000}{\pi * D} = \frac{0,189m/s * 60000}{\pi * 50mm} = 72,13rpm$$

Com os dados obtidos através dos cálculos, foi selecionado o motorreductor de marca SEW e modelo W10DRN63M4, capaz de satisfazer as necessidades do projeto.

Figura 20 - Dados técnicos do motorreductor.

Velocidade nominal do motor [1/min]	1695
Velocidade de saída [1/min]	87
Relação de Transmissão média	19.50
Binário de saída [Nm]	15

Fonte: Sew, Catálogo (2023).

Figura 21 - Posição de montagem do motorreductor.



Fonte: Sew, Catálogo (2023).

5 CONCLUSÃO

Ao seguir a metodologia descrita por Norton (2013), o processo pôde ser cuidadosamente estruturado, desde a fase de definição até o projeto detalhado. Esta abordagem proporcionou clareza e organização, facilitando a tomada de decisões ao longo do caminho.

As etapas iniciais, permitiram que os requisitos específicos da empresa fossem cuidadosamente delimitados. A máquina projetada foi concebida para atender às necessidades de produtividade, tamanho das peças, custo-benefício e, não menos importante, às normas de segurança em vigor. Essas especificações forneceram a base sólida para todo o projeto.

À medida que o projeto avançou, tomaram-se decisões iniciais cruciais. Foi fundamental documentar e justificar essas decisões, garantindo que cada passo do projeto fosse orientado por critérios bem definidos. A escolha dos materiais e dos componentes mecânicos, como as esteiras transportadoras, foi resultado de cuidadosos cálculos e considerações.

Foram estruturadas as principais partes da máquina, sendo definidas algumas dimensões, formas e materiais, para garantir que a máquina fosse capaz de atender as necessidades. Cálculos de tensões, resistência à fadiga e seleção de componentes, como os eixos de transmissão, desempenharam um papel vital nessa etapa.

A seleção de mancais e rolamentos também desempenhou um papel fundamental no projeto. Os mancais escolhidos oferecem suporte confiável aos eixos em rotação, enquanto os rolamentos foram selecionados com base em critérios de carga e rotação. Essa escolha foi essencial para garantir que a máquina funcione suavemente em condições reais de operação.

Este estudo representa um passo importante na direção de uma máquina eficiente e confiável que atenderá às necessidades da empresa. Em suma, o projeto alcançou seu objetivo de estudar uma máquina que atenda às necessidades da empresa de maneira precisa e segura, com base em uma metodologia bem estruturada e cálculos técnicos rigorosos.

Recomenda-se que para trabalhos futuros seja feita uma análise mais profunda do dimensionamento estrutural por completo da máquina, e por fim, a sua construção.

REFERÊNCIAS

ASHBY, M. F. **Materials Selection in Mechanical Design**. 2013, v. 53.

AUTOMATION, Rockwell. **Controlador Lógico Programável**. Curitiba, 2019.

BERNADON, Lucas. **PROJETO DE UMA PLATAFORMA MULTI-FUNÇÃO COM ACOPLAMENTO UNIVERSAL EM SISTEMAS HIDRÁULICOS DE IÇAMENTO PARA TRATORES AGRÍCOLAS**. 2019. 128 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento Acadêmico de Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2019.

CUNHA, Marcio. **Os 10 CLPs mais usados na indústria**. 2018. Disponível em: <https://www.marciocunha.eti.br/os-10-clps-mais-usados-na-industria/>. Acesso em: 10 nov. 2021.

CRUZ1, Vítor Eduardo Sabadine da et al. **CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL PARA ENSAIOS DE DESEMPENHO DE MICROCONTROLADORES**. 2021. FACULDADE SENAI DE TECNOLOGIA MECATRÔNICA. Disponível em: <https://revistabrmecatronica.sp.senai.br/ojs/index.php/revistabrmecatronica/article/view/119#:~:text=Com%20o%20objetivo%20de%20testar%20o%20desempenho%20de,uma%20estrutura%20de%20software%20para%20compara%C3%A7%C3%A3o%20dessas%20tecnologias..> Acesso em: 6 nov. 2021.

DANTAS (São Paulo). Engedantas. **NR 12: Como aplicar a norma para máquinas pesadas**. 2021. Disponível em: <https://www.engedantas.com.br/post/nr-12-como-aplicar-a-norma-para-m%C3%A1quinas-pesadas>. Acesso em: 10 nov. 2021.

EMPACOTADORA **automática industrial**. 2019. Disponível em: <https://www.scmmaquinas.com.br/empacotadora-automatica-industrial>. Acesso em: 5 nov. 2021.

EMPACOTADORA automática: **CARACTERÍSTICAS E VANTAGENS OFERECIDAS PELA EMPACOTADORA AUTOMÁTICA**. LC EMPacotadoras. Disponível em: <https://www.lcmaquinasseladoras.com.br/empacotadora-automatica>. Acesso em: 25 out. 2021.

ENIT – Escola Nacional de Inspeção do Trabalho. Segurança e saúde no trabalho – Normalização. **NR - 12 Segurança no Trabalho de Máquinas e Equipamentos**. Disponível em <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/escola>: Acesso em: 28 out. de 2023.

KIOSKEA. **Diagrama de Gantt**. Kioskea.net, 2011.

LOBO, Yane Ribeiro de Oliveira et al. **Projeto de Máquinas**. Londrina — Pr: Editora e Distribuidora Educacional S.A, 2019. 224 p.

Mad Max: Estrada da Fúria. Direção: George Miller. Produção de Kennedy Miller Mitchell, Village Roadshow Pictures. Estados Unidos: Warner Bros. Pictures, 2015. 1 DVD (120 min.).

MAKSIWA (São Paulo). **CATÁLOGO DE PRODUTOS**. 2019. Disponível em: <https://maksywa.com/wp-content/uploads/2020/01/CATALOGO-MAKSIWA-2019.pdf>. Acesso em: 5 nov. 2021.

MAQUINAS **para embalagens**. 2019. Disponível em: <https://www.mkmsp.com.br/empresa-de-maquinas-para-embalagens.php>. Acesso em: 1 nov. 2021.

NORTON, R. L. **Projeto de Máquinas: Uma Abordagem Integrada**. 2013.

SANTOS, Helen. **Afinal o Que é a Metodologia**. 2018. Disponível em: <https://uipi.ufsc.br/2018/10/18/afinal-o-que-e-metodologia>. Acesso em: 10 nov. 2021.

SENAI (São Paulo). Senai (ed.). **Indústria 4.0: entenda seus conceitos e fundamentos**. Entenda seus conceitos e fundamentos. 2021. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/industria-4-0/>. Acesso em: 5 nov. 2021

WEG Inversores: **Catálogo de produtos. Catalogo de produtos**. 2021. Disponível em: https://www.weg.net/catalog/weg/AR/pt/Drives/Inversores-de-Frequ%C3%Aancia/c/GLOBAL_WDC_DRV_IF. Acesso em: 6 nov. 2021.

SEMIL. **Semil Equipamentos Industriais**. 2023. Disponível em: <https://semil.com.br/index.html>. Acesso em: 28 out. 2023.

SEW Euro Drive. **Seleção de Acionamentos, 2007**. São Paulo: SEW, 09/2007.

APÊNDICE A: FICHA TÉCNICA ESTEIRA

CÓDIGO: V220B 05M00 AS**GRUPO: Correia Transportadora PVC**

Código Antigo: D120VFBL



Construção do Produto	
Tipo de lona	Rígida estável
Quantidade de lonas	2
Material da lona	Poliéster

Cobertura Superior	
Material	Policloreto de vinila (PVC)
Cor	Preto
Dureza	80 ShA
Superfície	Fosco

Cobertura Inferior	
Material	Lona
Cor	Natural
Dureza	N/A
Superfície	Deslizante

Dados Técnicos	
Espessura Total	2,0mm
Peso (m ²)	2,5 kg
Temperatura mínima de trabalho	-10°C
Temperatura máxima de trabalho	+80°C
Coefficiente de fricção (aço)	0,25
Carga de trabalho (1% tensão)	8 N/mm
Diâmetro mínimo de polia (flexão)	50mm
Diâmetro mínimo de polia (deflexão)	60mm

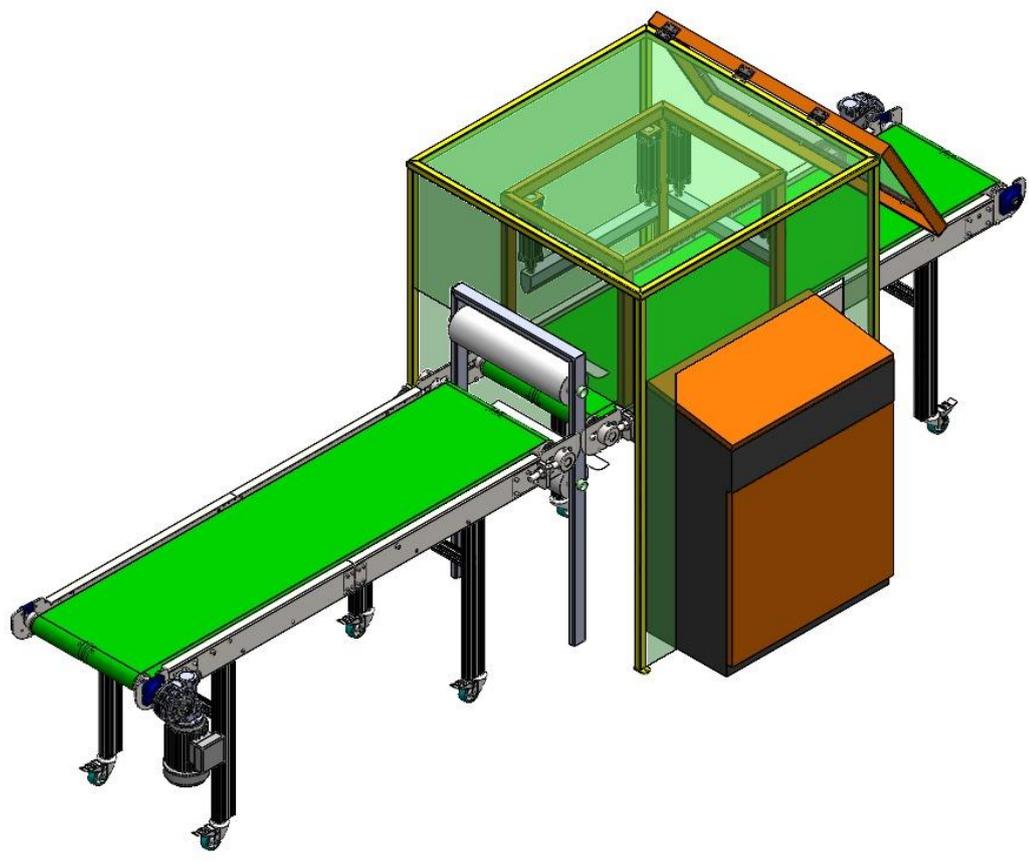
Características Adicionais	
Resistência a óleos	Não
Certificado (FDA)	Não
Antiestático	Sim
Retardante chamas	Não
Largura máxima bobina	3500mm

APÊNDICE B: FICHA TÉCNICA DO MOTORREDUTOR

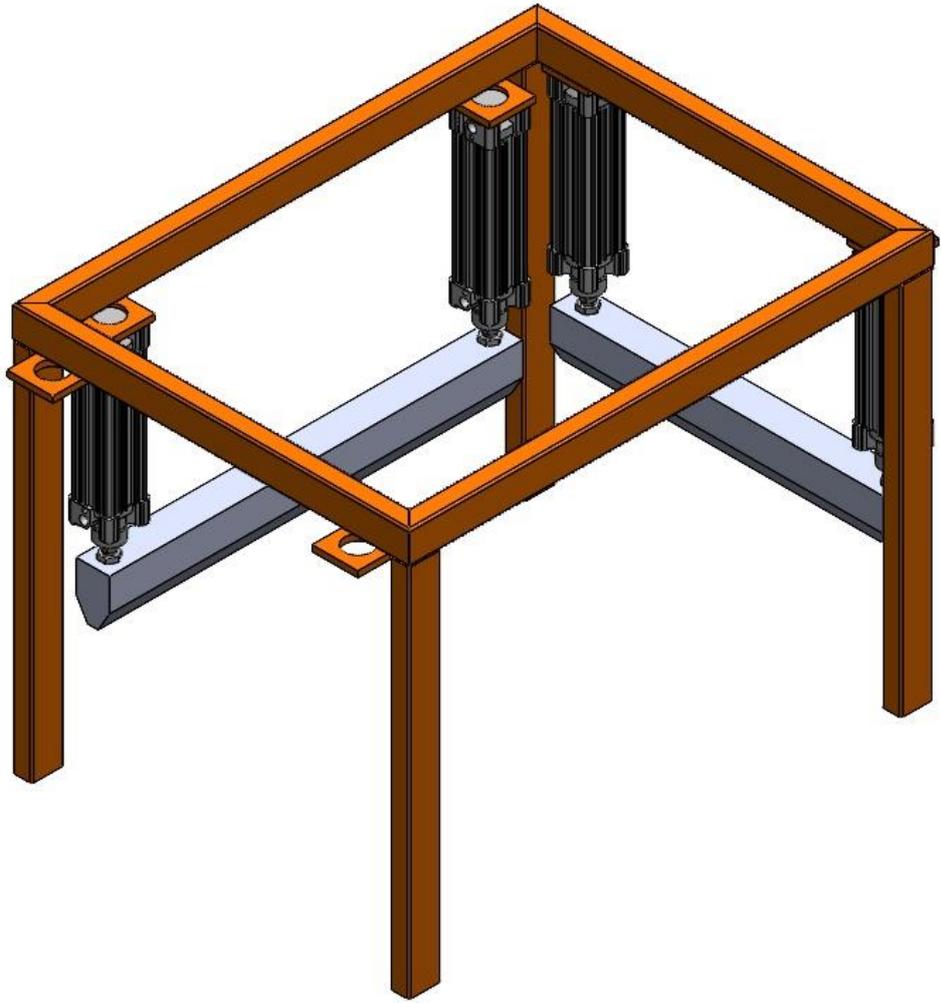
Dados técnicos

Velocidade nominal do motor [1/min]	1695
Velocidade de saída [1/min]	87
Relação de Transmissão média	19.50
Binário de saída [Nm]	15
Fator de serviço SEW-FB	2.00
Posição de montagem	M2A
Base / Revestimento superior	7031 Cinza Azulado (51370310)
Posição da caixa de terminais [°]	0
Posição da entrada de cabos/conector	X
Eixo de saída [mm]	16x40
Tipo desenho	Redutor (Sem sugestões) versão montagem com pés
Carga radial permitida em n=1750 [N]	1800
Quantidade de lubrificante Redutor 1 [Litro]	0.16
Potência do motor [kW]	0.18
Fator de duração	S1-100%
Classe de eficiência	IR3
Rendimento (50/75/100% Pn) [%]	63.5 / 68.45 / 70
6000	9000
Tensão do motor [V]	220/380

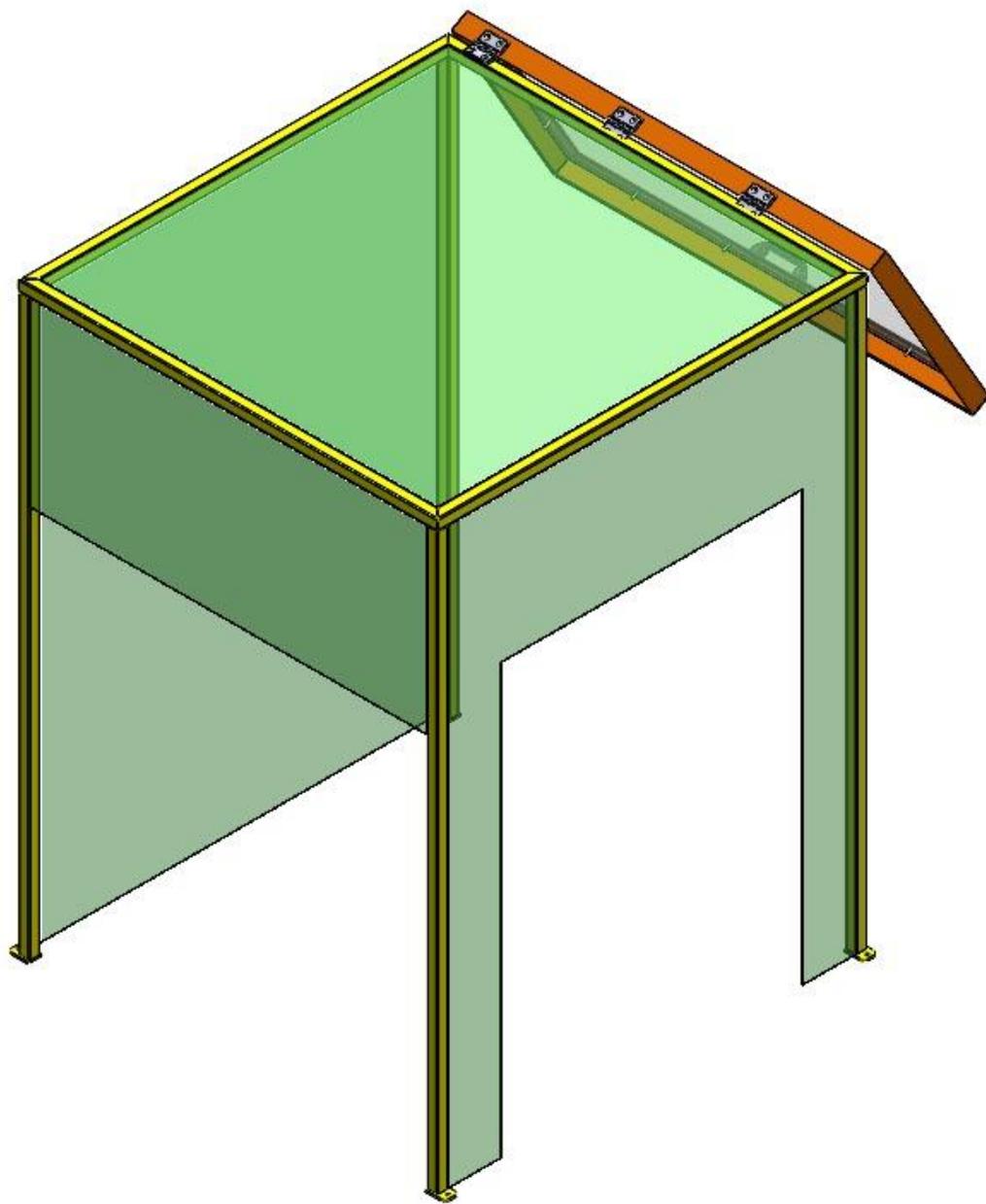
APÊNDICE C: DESENHO MÁQUINA COMPLETA



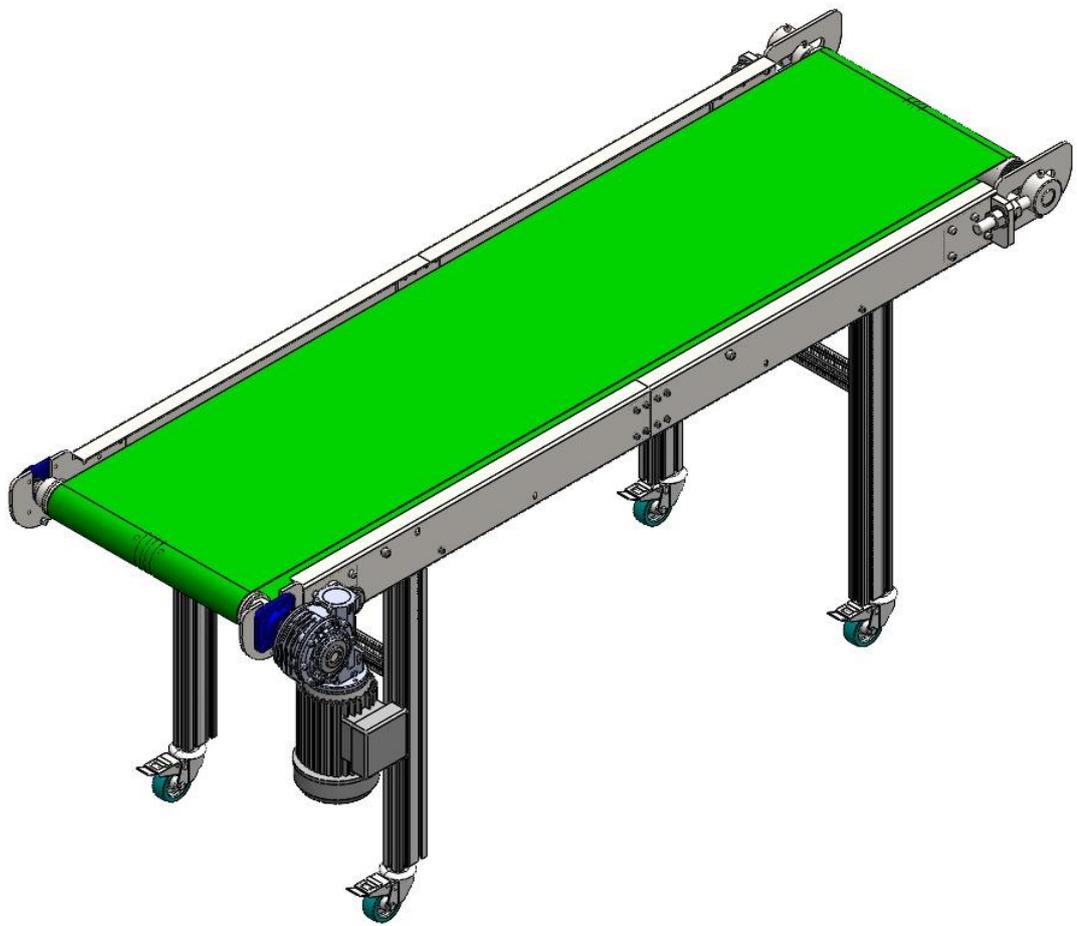
APÊNDICE D: SISTEMA DE SELAGEM DA EMBALAGEM



APÊNDICE E: GAIOLA DE PROTEÇÃO DE SEGURANÇA



APÊNDICE F: ESTEIRA DE MOVIMENTAÇÃO COMPLETA



APÊNDICE G: SISTEMA DE TRAÇÃO

