

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ANTÔNIO RODRIGUES NETO

RETROFITTING DE UM ELEVADOR AUTOMOTIVO TIPO TESOURA

LONDRINA

2022

ANTÔNIO RODRIGUES NETO

RETROFITTING DE UM ELEVADOR AUTOMOTIVO TIPO TESOURA

Retrofitting of an automotive scissor lift

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador: Prof. Dr. Claudia Santos Fiuza Lima.

LONDRINA

2022



[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.

ANTÔNIO RODRIGUES NETO

RETROFITTING DE UM ELEVADOR AUTOMOTIVO TIPO TESOURA

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

Data de aprovação: 25/Outubro/2022

Claudia Santos Fiuza Lima
Doutora em Engenharia Mecânica
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Janaina Fracaro de Souza Gonçalves
Doutora em Engenharia Mecânica Aeronáutica
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Roger Nabeyama Michels
Doutor em Agronomia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LONDRINA

2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meus familiares por todo o apoio prestado nesses anos de estudo, principalmente a minha mãe Devanir e meu irmão Gabriel, sempre presentes nos momentos de maiores dificuldades.

Agradeço a todos os professores do curso, sem vocês eu não estaria onde estou hoje e não poderia ter realizado este trabalho. Um agradecimento especial a minha orientadora, professora Claudia, por ter aceitado em cima da hora a orientação deste trabalho.

Aos meus colegas de sala, por tornar os dias de estudo mais fáceis e descontraídos.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

Neste trabalho foi feito o *retrofitting* de um elevador automotivo do tipo tesoura com o objetivo de aumentar a sua capacidade de carga. O projeto do *retrofit* foi realizado em conjunto com uma empresa de automação industrial para solucionar a necessidade de um auto center. O elevador estudado deveria levantar até 4500 kg porém, ele não atingia a pressão necessária para tal. Foi então realizado o dimensionamento de uma nova unidade hidráulica para acionamento do sistema. Para o desenvolvimento do projeto levou-se em consideração metodologias de projetos e etapas para desenvolvimento de um *retrofit*. Após a validação teórica dos sistemas dimensionados, foi realizada a fabricação completa do equipamento e instalação na planta do cliente. Com o equipamento instalado foram feitos novos testes para validar o sistema de forma empírica e o equipamento foi mantido em observação durante alguns meses após a instalação para a certificação de que seu funcionamento continua ocorrendo como o esperado.

Palavras-chave: dimensionamento hidráulico. automação. unidade hidráulica.

ABSTRACT

In this work, a retrofitting of an automotive scissor lift was carried out to increase its load capacity. The retrofit project was carried out together with an industrial automation company to solve the need for an auto center. The studied elevator was supposed to lift up to 4500 kg, however, it did not reach the necessary pressure to do so. The sizing of a new hydraulic unit to drive the system was then carried out. For the development of the project, project methodologies and stages for the development of a retrofit were considered. After the theoretical validation of the dimensioned systems, the complete fabrication of the equipment and installation in the customer's plant was carried out. With the equipment installed, new tests were made to validate the system empirically and the equipment was kept under observation for a few months after installation to certify that its operation continues to occur as expected.

Keywords: hydraulic sizing. automation. hydraulic power unit.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fases de projeto.....	18
Figura 2 - Elevador automotivo eletromecânico.....	21
Figura 3 - Elevador automotivo hidráulico.....	22
Figura 4 - Elevador automotivo pantográfico	22
Figura 5 - Divisão de um sistema hidráulico.....	23
Figura 6 - Representação de um circuito hidráulico básico.....	24
Figura 7 - Motor elétrico.....	25
Figura 8 - Funcionamento de uma bomba de engrenagem externa	27
Figura 9 - Funcionamento de bomba de engrenagem interna do tipo gerotor ..	27
Figura 10 - Funcionamento de bomba de lóbulos	28
Figura 11 - Funcionamento de bomba de palhetas	28
Figura 12 - Funcionamento de bomba de pistões radiais.....	29
Figura 13 - Funcionamento de bomba de pistões axiais de placa inclinada	30
Figura 14 - Funcionamento de bomba de pistões axiais de eixo inclinado	30
Figura 15 - Reservatório hidráulico	32
Figura 16 - Cilindros hidráulicos.....	35
Figura 17 - Forma construtiva de mangueiras hidráulicas	36
Figura 18 - Fixação e vedação de tubos de aço sem costura	37
Figura 19 - Blocos de montagem	38
Figura 20 - Válvula cartucho.....	38
Figura 21 - Fluxograma do projeto	41
Figura 22 - Ilustração elevador tesoura duplo-nível.....	43
Figura 23 - Dimensões das plataformas	44
Figura 24 - Trava mecânica	44
Figura 25 - Diagrama pneumático do elevador tesoura duplo-nível.....	45
Figura 26 - Diagrama hidráulico do elevador tesoura duplo-nível.....	46
Figura 27 - Ângulo de ataque do cilindro 1	50
Figura 28 - Divisão dos grupos para seleção dos componentes	51
Figura 29 - Módulo de circuito 1	52
Figura 30 - Placa de espaçamento N01	53
Figura 31 - Diagrama hidráulico bloco de comando	53
Figura 32 - Desenho dimensional do bloco de comando	54
Figura 33 - Conjunto de válvulas 579	55
Figura 34 - Mesa de comando	55
Figura 35 - Vistas frontais da mesa de comando	57
Figura 36 - Vistas traseiras da mesa de comando	57
Figura 37 - Mesa de comando instalada.....	58
Figura 38 - Veículo levantado com o novo sistema de comando.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros técnicos do elevador tesoura.....	47
Tabela 2 - Lista de peças para fabricação.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BSP	<i>British Standard Pipe</i>
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
NF	Normalmente Fechada
PU	Poliuretano

LISTA DE SÍMBOLOS

kg	Quilogramas
kgf	Quilograma-força
cv	Cavalos de potência
rpm	Rotações por minuto
cc/r	Centímetros cúbicos por rotação
mm	Milímetros
cm	Centímetros
cm ²	Centímetros quadrados
VCC	Tensão em corrente contínua
L	Litro
L/min	Litros por minuto
s	Segundos
°	Grau

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivos específicos.....	15
3	JUSTIFICATIVA.....	16
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
4.1	Projeto de máquinas	17
4.1.1	Metodologia de projetos	17
4.2	<i>Retrofitting</i>	20
4.3	Elevadores automotivos	20
4.3.1	Elevador automotivo eletromecânico.....	21
4.3.2	Elevador automotivo hidráulico.....	21
4.3.3	Elevador automotivo pantográfico	22
4.4	Tecnologia hidráulica industrial.....	23
4.4.1	Conceitos básicos de hidráulica	23
4.4.2	Grupo de geração.....	25
<u>4.4.2.1</u>	<u>Motor elétrico.....</u>	<u>25</u>
<u>4.4.2.2</u>	<u>Bomba hidráulica.....</u>	<u>25</u>
<u>4.4.2.2.1</u>	<u><i>Bombas de engrenagens</i></u>	<u>26</u>
<u>4.4.2.2.2</u>	<u><i>Bombas de palhetas</i>.....</u>	<u>28</u>
<u>4.4.2.2.3</u>	<u><i>Bombas de pistões</i>.....</u>	<u>28</u>
<u>4.4.2.3</u>	<u>Filtros.....</u>	<u>30</u>
<u>4.4.2.4</u>	<u>Reservatório</u>	<u>31</u>
4.4.3	Grupo de controle.....	32
<u>4.4.3.1</u>	<u>Válvulas direcionais.....</u>	<u>33</u>
<u>4.4.3.2</u>	<u>Válvulas de retenção</u>	<u>33</u>
<u>4.4.3.3</u>	<u>Válvulas reguladoras de fluxo</u>	<u>33</u>
<u>4.4.3.4</u>	<u>Válvulas reguladoras de pressão</u>	<u>34</u>
4.4.4	Grupo de atuação.....	34
<u>4.4.4.1</u>	<u>Cilindros hidráulicos</u>	<u>35</u>
4.4.5	Grupo de ligação	35
<u>4.4.5.1</u>	<u>Mangueiras.....</u>	<u>36</u>
<u>4.4.5.2</u>	<u>Tubos</u>	<u>37</u>
<u>4.4.5.3</u>	<u>Blocos de montagem.....</u>	<u>37</u>

4.5	Tecnologia pneumática industrial.....	38
5	METODOLOGIA	41
5.1	Projeto informacional.....	42
5.1.1	Necessidade do cliente	42
5.1.2	Informações do equipamento	42
<u>5.1.2.1</u>	<u>Funcionamento.....</u>	<u>43</u>
<u>5.1.2.2</u>	<u>Dados técnicos.....</u>	<u>47</u>
5.2	Projeto conceitual	47
5.2.1	Desenvolvimento das soluções	47
5.3	Projeto detalhado	48
5.3.1	Determinação dos esforços	48
5.3.2	Seleção dos componentes	51
<u>5.3.2.1</u>	<u>Hidráulica</u>	<u>51</u>
5.3.2.1.1	<i>Grupo 1 – unidade hidráulica</i>	<i>52</i>
5.3.2.1.2	<i>Grupo 2 – bloco de montagem</i>	<i>53</i>
<u>5.3.2.2</u>	<u>Pneumática</u>	<u>55</u>
<u>5.3.2.3</u>	<u>Mesa de comando.....</u>	<u>55</u>
5.4	Fabricação	56
5.5	Instalação, testes e resultados.....	57
5.5.1	Instalação e pressão de trabalho.....	57
5.5.2	Tempo de levantamento e descida do equipamento	59
6	ACOMPANHAMENTO DO EQUIPAMENTO	60
7	CONCLUSÃO	61
	REFERÊNCIAS.....	62

1 INTRODUÇÃO

Um equipamento de extrema importância na manutenção automotiva é o elevador automotivo. Sem ele, os mecânicos precisavam se espremer sob os veículos, permitindo um espaço de trabalho restrito, sem luminosidade e impossibilitando o trabalho de pessoas a partir de certa altura ou peso. Com o advento dos elevadores automotivos, tais dificuldades foram superadas e atualmente existem diversos tipos de elevadores para as diferentes aplicações e tipos de serviço a serem prestados (COSTA; PONTES, 2016).

Em particular, o elevador automotivo do tipo tesoura de embutir se destaca por ficar embutido no piso da oficina, oferecendo aproximadamente 30% a mais de espaço no local, liberando uma área para o tráfego de funcionários e até mesmo de veículos (FAZO FERRAMENTAS, c2017).

Seu funcionamento se dá com base no princípio de Pascal, o qual diz que a pressão aplicada em algum ponto de um fluido em repouso é transmitida integralmente a todos os pontos do fluido. Assim, é utilizado um sistema pantográfico para a estrutura e posicionados cilindros hidráulicos para a aplicação da força necessária para a elevação. Essa força por sua vez, é atingida por meio da pressão gerada no sistema pela vazão de óleo transmitida aos cilindros por meio de uma bomba hidráulica acionada por um motor elétrico. A descida do equipamento é feita por gravidade liberando a passagem do óleo presente nos cilindros para o reservatório.

Como forma de segurança são adicionadas ao sistema válvulas antiqueda na base dos cilindros as quais impedem a saída do óleo caso a vazão deste esteja acima da especificada (situação de queda livre), parando o elevador na posição em que ele se encontrar, válvulas de segurança limitando a pressão do sistema para que os componentes não sejam expostos a cargas acima da dimensionada e por fim, travas mecânicas para retirar a carga do sistema hidráulico quando o elevador estiver parado em determinada altura.

Neste trabalho será realizado o estudo do dimensionamento correto de um sistema hidráulico para o acionamento de um elevador de tesoura para que este seja capaz de levantar uma carga de até 4500 kg. Para isso será feito o estudo do sistema hidráulico presente no equipamento para o seu funcionamento seja mantido o mesmo, visto que a demanda verificada é apenas a necessidade de uma maior capacidade de

carga e não a alteração de algum procedimento ou forma de funcionamento do equipamento.

2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo realizar o *retrofitting* de um elevador do tipo tesoura duplo-nível de forma que este seja capaz de levantar até 4500 kg conforme especificado no manual do equipamento.

2.1 Objetivos específicos

Como forma de melhor atingir o objetivo proposto, foram apontados os seguintes objetivos específicos:

- Dimensionar um sistema hidráulico para acionamento do equipamento;
- Manter o funcionamento da máquina o mais próximo possível do original;
- Fabricar e montar o sistema hidráulico assim como totem para sua melhor apresentação;
- Realizar testes em campo para validação do sistema dimensionado.

3 JUSTIFICATIVA

Este trabalho foi realizado em conjunto com uma empresa de automação industrial com o objetivo de atender uma demanda de um Auto Center localizado na região norte do Paraná, o qual atende aos mais diversos clientes e carros, no entanto, o elevador tesoura do alinhamento do local apesar de segundo o manual ser capaz de levantar até 4500 kg, não realizava esse feito na prática. Tal fato impedia o alinhamento de veículos mais pesados, que segundo o cliente estava se tornando uma demanda cada vez maior para eles, visto que este Auto Center vem se especializando no atendimento de carros maiores e exposições.

Por meio do *retrofitting* do equipamento buscou-se realizar a troca do sistema hidráulico do equipamento com o objetivo de atender a demanda levantada e para isso, faz-se necessária a aplicação dos conhecimentos da engenharia mecânica como a decomposição de forças, visto que os cilindros hidráulicos que realizam a elevação da plataforma iniciam quase completamente deitados e com o tempo tendem a “se levantar”, mecânica dos fluidos para a determinação da pressão necessária e a seleção dos componentes com base nos valores críticos, mantendo assim a segurança do equipamento e do operador.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Projeto de máquinas

Projetar é formular um plano para atender a uma necessidade específica ou resolver um problema. Se o plano resultar na criação de algo concreto, então o produto deverá ser funcional, seguro, confiável, competitivo, e próprio para ser usado, fabricado e comercializado (BUDYNAS; NISBETT, 2011).

Segundo Norton (2013), um projeto de engenharia pode ser definido como sendo o processo de aplicação das várias técnicas e princípios científicos com o intuito de definir um dispositivo, um método ou um sistema suficientemente pormenorizado para permitir sua realização. E de forma mais específica, um projeto de máquinas se trata da criação de uma máquina que funcione bem, com segurança e confiabilidade, com o objetivo final de dimensionar e dar forma às peças (elementos de máquinas) e escolher os materiais e os processos de manufatura apropriados, de modo que a máquina resultante possa desempenhar a função desejada sem falhar.

4.1.1 Metodologia de projetos

A metodologia de projetos é essencialmente um exercício de criatividade aplicada. Muitas “metodologias de projetos” foram definidas para ajudar a organizar a enfrentar o “problema não estruturado”, isto é, casos em que a definição do problema é vaga e para os quais muitas soluções possíveis existem. Algumas dessas definições contêm somente algumas etapas, e outras, uma lista detalhada de 25 etapas (NORTON, 2013).

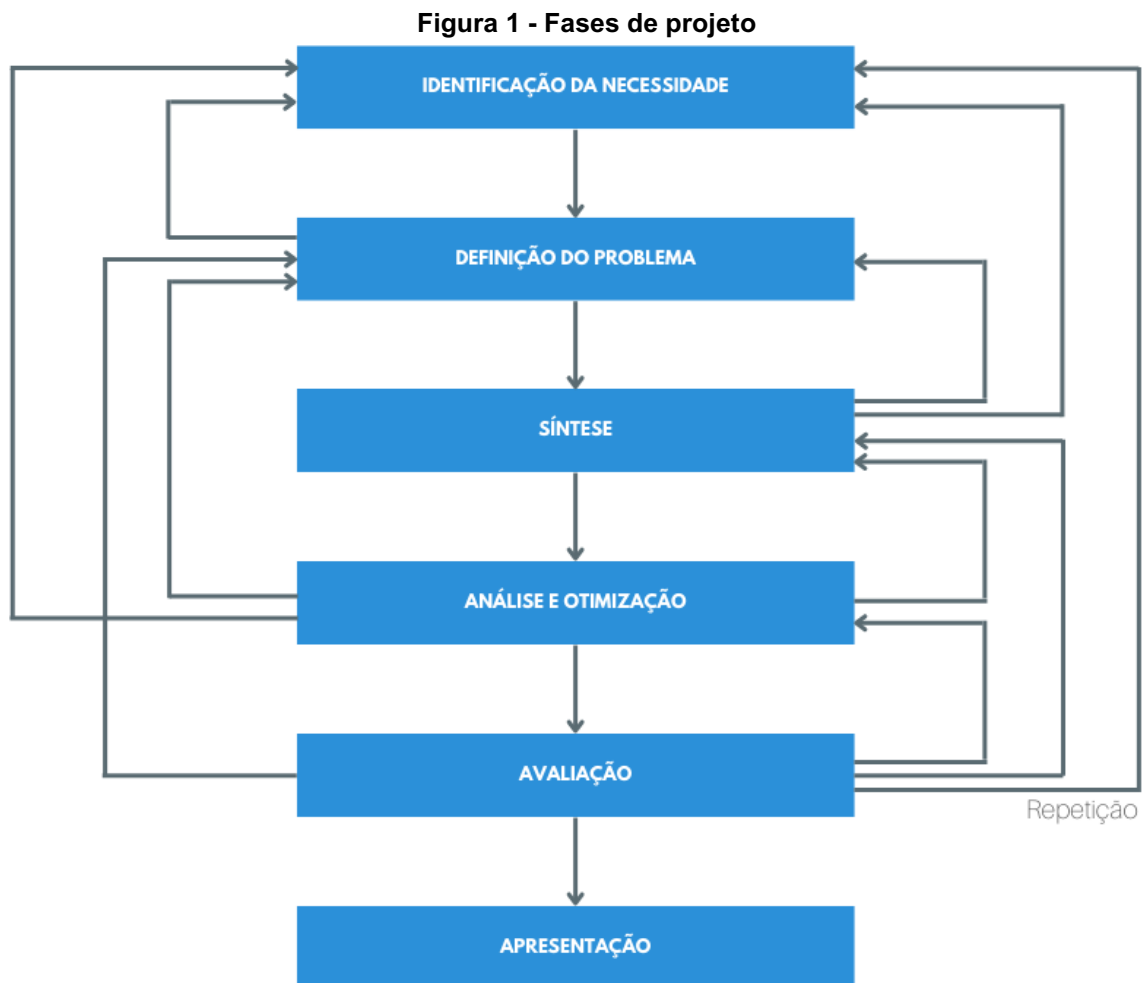
Uma versão de metodologia de projetos que relaciona 10 etapas apresentada por Norton (2013) enumera as etapas:

- 1 – Identificação da necessidade;
- 2 – Pesquisa de suporte;
- 3 - Definição dos objetivos;
- 4 – Especificações de tarefas;
- 5 – Síntese;
- 6 – Análise;
- 7 – Seleção;
- 8 – Projeto detalhado;
- 9 – Protótipo e teste;

10 – Produção.

A Figura 1 apresenta uma versão simplificada de como pode ser descrito um processo de projeto completo.

Em ambos os casos o processo é iniciado pela identificação da necessidade, onde existe uma vaga sensação de algo errado ou descontentamento, o que proporciona uma exposição mal definida do problema e assim, é decidido que algo deve ser feito a respeito.



Fonte: Adaptado de Budynas e Nisbett (2011).

O desenvolvimento das informações na pesquisa de suporte (etapa 2) é necessário para definir e compreender completamente o problema, sendo depois possível estabelecer o Objetivo (etapa 3) de forma mais razoável e realista do que na exposição original do problema. A etapa 4 pede a criação de um conjunto detalhado

de especificações de tarefas que fecham o problema e limitam seu alcance (NORTON, 2013).

As três etapas citadas acima podem ser alocadas dentro da definição do problema, que deve incluir todas as especificações para o objeto a ser projetado. As especificações definem o custo, a quantidade a ser fabricada, a vida útil que se espera do produto, intervalos, temperatura de operação e confiabilidade. Dentre as características especificadas podemos citar limitações dimensionais, peso, intervalos de velocidade e temperatura, entre outras (BUDYNAS; NISBETT, 2011).

A etapa de síntese também pode ser denominada como “invenção do conceito” ou “projeto conceitual” (BUDYNAS; NISBETT, 2011). Nela é gerado o maior número possível de soluções criativas, sendo buscado o máximo de alternativas possíveis de projeto, geralmente sem considerar, nesta etapa, seu valor ou qualidade (NORTON, 2013).

A seguir, todas as soluções propostas são analisadas, para então ser aceitas, rejeitadas ou modificadas e, após a solução mais promissora ser selecionada, pode-se realizar o projeto detalhado, onde todas as pontas são atadas, todos os croquis de engenharia feitos, fornecedores identificados, especificações de fabricação definidas etc. (NORTON, 2013). Tais etapas podem ser integradas na fase de projeto de análise e otimização, e como pode ser visto na Figura 1, esta fase está íntima e repetidamente ligada a fase de síntese. Nesse ponto, é interessante ressaltar que projeto é um processo repetitivo o qual passa por várias etapas, são avaliados os resultados e, então, se retorna a uma fase anterior do procedimento. Portanto, é possível sintetizar vários componentes de um sistema, analisá-los e otimizá-los e retornar à síntese para ver qual o efeito disso para as demais partes do sistema (BUDYNAS; NISBETT, 2011).

A avaliação é o que define se um projeto é bem-sucedido ou não, e normalmente, envolve testes de um protótipo em laboratório. Testes esses que tem como objetivo determinar se o projeto realmente às necessidades estabelecidas, como confiabilidade, viabilidade econômica, dificuldade de manutenção e possíveis ajustes e qualquer outra necessidade que possa ser pertinente (BUDYNAS; NISBETT, 2011).

Por fim, na apresentação é feita a produção e a transmissão do projeto a terceiros. É basicamente um trabalho de venda, de forma que se deve apresentar uma nova solução ou provar que sua solução é a melhor. A menos que esta etapa seja

realizada com êxito, o tempo e esforço gastos na realização do projeto podem ser considerados desperdiçados (BUDYNAS; NISBETT, 2011).

4.2 Retrofitting

Segundo o dicionário de Cambridge, em tradução livre, o termo *retrofitting* (ou *retrofit*) é definido como “o ato de fornecer uma peça a uma máquina, ou equipamento a um local, os quais a máquina ou local não possuíam quando foram construídos” (RETROFITTING, 2022). Quando comparado o investimento com a compra de uma nova máquina ou equipamento com a atualização destes por meio do processo do *retrofitting*, este, se mostra uma opção mais rápida e econômica para atender as demandas necessárias apresentando um custo média de até 60% em relação ao equipamento novo e aumentando ainda mais a sua produtividade (SOLUTION AUTOMATION, c2021).

Cetnarowski e Grams (2014) enumeram as etapas do *retrofit* como sendo: avaliação do equipamento, desenvolvimento do projeto, compra de materiais, implementação do projeto e testes. Na etapa de avaliação do equipamento é definido o objetivo do projeto e por meio de uma avaliação inicial da máquina, são levantados os dados necessários e por fim, é traçada a melhor forma de executar o projeto. Seguindo para o desenvolvimento do projeto, é feito o projeto novo contendo as modificações necessárias com base no projeto original do equipamento. É então realizada a compra dos materiais levantados e feita a intervenção no equipamento, desmontando os itens antigos e que não serão mais utilizados e instalando e realizando as modificações necessárias no equipamento segundo o projeto desenvolvido. Durante a instalação dos equipamentos são realizados pequenos testes de funcionamento e ajuste de itens para se certificar que o equipamento irá operar conforme o esperado e após a conclusão dos testes a máquina ainda é acompanhada por mais algum tempo, variando de acordo com a sua complexidade.

4.3 Elevadores automotivos

Os elevadores automotivos são equipamentos indispensáveis em oficinas mecânicas, concessionárias, auto centers e lojas de escapamento. Além de proporcionar uma imagem mais profissional ao estabelecimento, suas vantagens são

o aumento da eficiência operacional, otimização do espaço físico, maior qualidade nas entregas e melhores condições de trabalho aos operadores (ENGE CASS, 2021).

Alguns dos tipos mais comuns de elevadores automotivos empregados são o eletromecânico, hidráulico e pantográfico.

4.3.1 Elevador automotivo eletromecânico

Como o nome sugere, esse tipo de elevador, representado na Figura 2, opera a partir de um motor elétrico responsável por acionar os fusos presentes nas colunas do equipamento e assim realizar a elevação do veículo. Este é um equipamento robusto e ligeiramente maior que os outros modelos (ENGE CASS, 2021).

Figura 2 - Elevador automotivo eletromecânico



Fonte: Adaptado de Engecass (2021)

4.3.2 Elevador automotivo hidráulico

Segundo Engecass (2021) os elevadores automotivos hidráulicos são considerados uns dos equipamentos mais modernos do segmento, devido ao maquinário ser tão robusto quanto o anterior, possuindo uma estrutura mais leve e otimizada, possibilitando um melhor aproveitamento do espaço útil sem abdicar de segurança e qualidade. Seu funcionamento se dá pelo acionamento de uma unidade hidráulica, que pode ser visualizada na Figura 3, responsável por gerar a potência necessária para a movimentação dos cilindros hidráulicos e elevação da carga. Dessa forma, este tipo de elevador oferece uma maior potência e baixo custo de manutenção.

Figura 3 - Elevador automotivo hidráulico



Fonte: Adaptado de Engecass (2021)

4.3.3 Elevador automotivo pantográfico

Os elevadores automotivos pantográficos, também conhecidos como elevadores automotivos tipo tesoura, são ideais para empreendimentos que necessitem de otimizar seus espaços internos, pois são equipamentos que ocupam menos espaço e podem ser embutidos no piso do estabelecimento (ENGECCASS, 2021).

A Figura 4 apresenta um elevador pantográfico. Seu funcionamento é similar ao do elevador hidráulico, sendo os cilindros acionados por uma unidade hidráulica e possuem travas mecânicas automáticas para uma maior segurança durante a elevação dos veículos.

Figura 4 - Elevador automotivo pantográfico



Fonte: Adaptado de Engecass (2021)

4.4 Tecnologia hidráulica industrial

Entende-se por hidráulica o estudo das características e uso dos fluidos sob pressão. A hidráulica está presente em todos os setores industriais e diversas áreas de automação se tornaram possíveis devido a implementação de sistemas hidráulicos para controle de movimentos (PARKER, 2001).

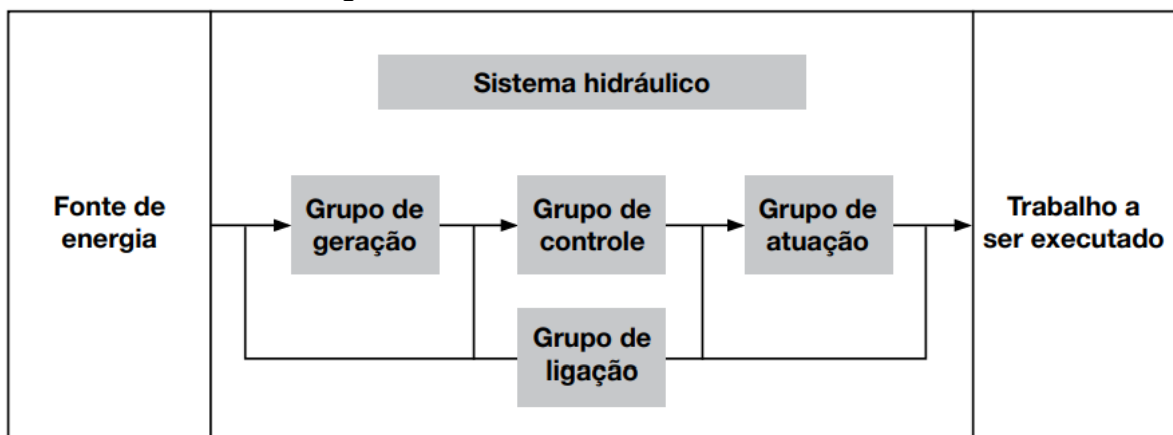
Dentre as características da hidráulica destacam-se:

- Fácil instalação dos componentes;
- Paradas e inversão de movimentos rápidas;
- Variações micrométricas na velocidade;
- Sistemas seguros contra sobrecargas;
- Alta potência.

4.4.1 Conceitos básicos de hidráulica

Como pode ser visto na Figura 5, um sistema hidráulico pode ser dividido em três principais grupos conectados entre si pelo grupo de ligação que consiste em mangueiras, tubos e conexões. Ainda, é necessária que ele seja alimentado com uma fonte de energia, geralmente um motor elétrico, e tem como finalidade a execução de um trabalho.

Figura 5 - Divisão de um sistema hidráulico



Fonte: Parker, 2001.

O grupo de geração tem a função de transformar a potência mecânica em hidráulica e é composto por bombas hidráulicas, filtros, reservatórios, acumuladores,

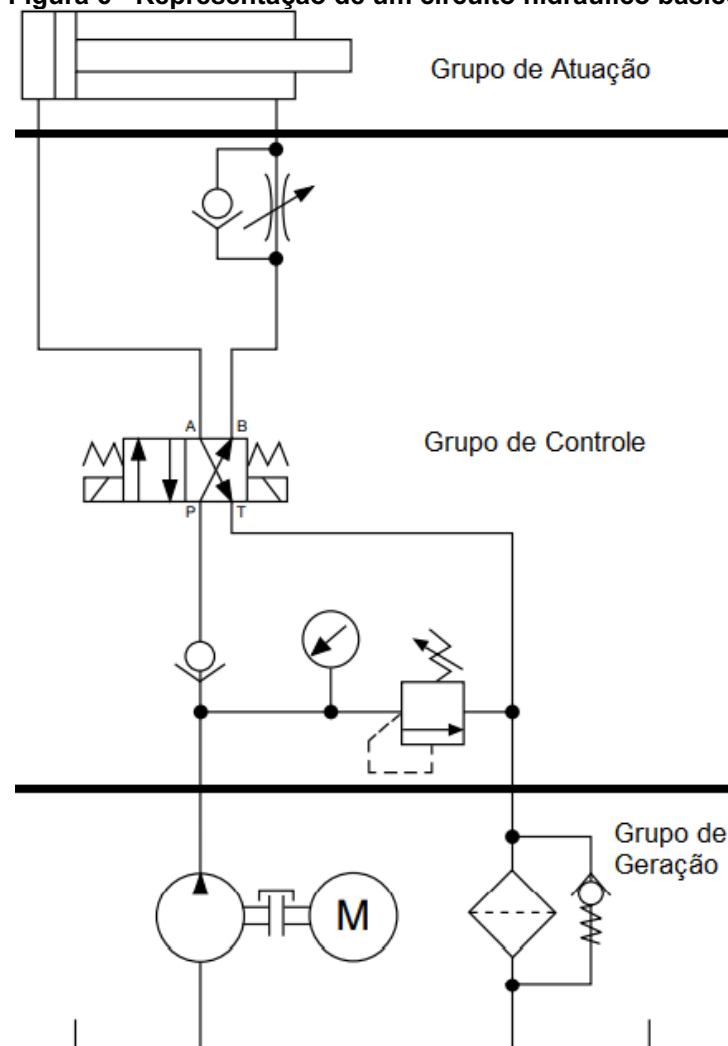
entre outros itens, todos podendo ser englobados em um conjunto conhecido como unidade hidráulica.

O grupo de controle tem como finalidade distribuir e controlar a potência hidráulica. Tal função é realizada utilizando comandos e válvulas de controle de pressão, vazão e válvulas direcionais.

Por fim, o grupo de atuação, composto por cilindros e motores, tem a função de transformar a potência hidráulica novamente em mecânica para a realização do trabalho solicitado.

A Figura 6 mostra a representação técnica de um circuito básico de hidráulica especificando os três principais grupos apresentados na Figura 5.

Figura 6 - Representação de um circuito hidráulico básico



Fonte: Adaptado de Parker (2001).

4.4.2 Grupo de geração

Os componentes presentes no grupo de geração usualmente são englobados em um conjunto conhecido como unidade hidráulica, de forma a centralizar o máximo de componentes possível em um só lugar facilitando assim a sua manutenção.

Os componentes básicos de uma unidade hidráulica são: motor elétrico, bomba hidráulica, filtros de óleo, reservatório e acessórios como visores de nível, que permitem a visualização do volume de óleo presente no reservatório e manômetros, utilizados para verificação da pressão de funcionamento do sistema nos pontos em que são instalados.

4.4.2.1 Motor elétrico

Os motores elétricos são máquinas destinadas a transformar a energia elétrica em energia mecânica. Dentre todos os tipos de motores, o mais utilizado é o motor de indução por combinar baixo custo, facilidade de transporte, limpeza e simplicidade de comando (vantagens da utilização de energia elétrica), com uma construção simples e grande versatilidade à adaptação de cargas dos mais diversos tipos além de apresentar melhores rendimentos (WEG, 2021).



Fonte: Adaptado de WEG (2021).

4.4.2.2 Bomba hidráulica

Segundo Moreira (2012), a bomba é, provavelmente, o componente mais importante de um sistema hidráulico. Ela é responsável por enviar um determinado fluxo de fluido do reservatório para o circuito hidráulico, convertendo energia mecânica em energia hidráulica. O funcionamento básico de uma bomba é o mesmo para todos os tipos de construção de bombas, consistindo na produção de um vácuo parcial no pórtico de entrada por meio da ação mecânica, fazendo com que o óleo seja

empurrado para dentro da bomba por ação da pressão atmosférica. O fluido é então forçado para fora, por meio de um mecanismo, gerando um fluxo hidráulico no pórtico de saída.

As bombas são classificadas, basicamente, em dois tipos: bombas hidrodinâmicas, empregadas apenas na transferência de fluidos de um local a outro e bomba hidrostáticas, ou bombas de deslocamento positivo, capazes de fornecer volumes constantes de fluido de forma pulsativa, sem variação da pressão do sistema, podendo assim trabalhar com pressões mais elevadas e sendo o tipo ideal de bomba para transmissão de força em sistemas hidráulicos industriais (PARKER, 2001).

As bombas hidrostáticas, sendo as mais utilizadas no projeto e dimensionamento de sistemas hidráulicos industriais devido a sua produção de fluxos de forma pulsativa sem variação de pressão do sistema, podem ser divididas em três tipos básicos: de engrenagens, de palhetas e de pistões.

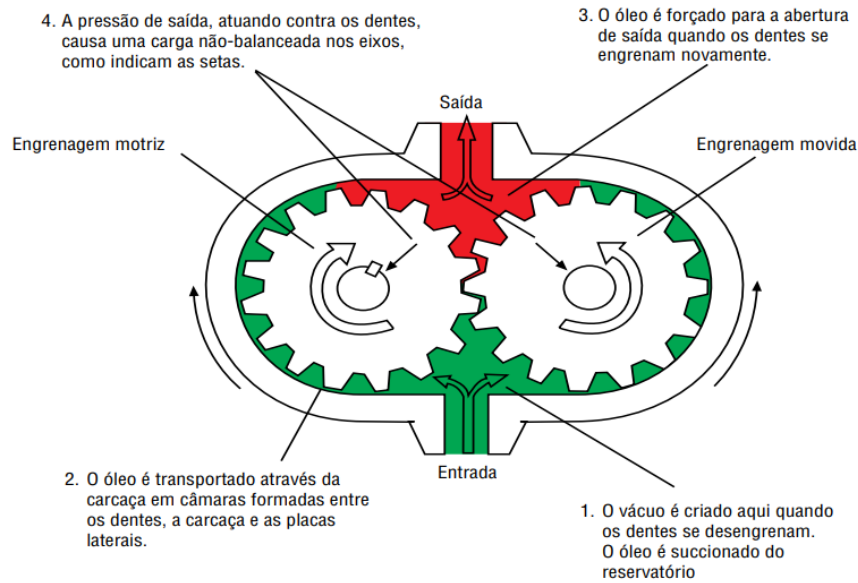
4.4.2.2.1 Bombas de engrenagens

As bombas de engrenagens são compostas basicamente por uma engrenagem motora e uma engrenagem movida, acopladas, que giram dentro da carcaça, transportando o fluido hidráulico desde a sucção até a descarga entre seus dentes e são divididas em: de engrenagens externas, de engrenagens internas e de lóbulos (SIMÕES, 2016).

Uma representação do funcionamento de uma bomba de engrenagens externas é apresentada na Figura 8, quando os dentes das engrenagens girando em sentidos opostos se desengrenam é formado um vácuo no pórtico de sucção da bomba fazendo com que a pressão atmosférica empurre o óleo para dentro da bomba, uma vez no interior da carcaça o óleo é transportado até a câmara de saída pelos vãos gerados entre a carcaça e os dentes das engrenagens. Com o engrenamento dos dentes o fluido é então forçado para a saída da bomba e impulsionado para o sistema hidráulico (SIMÕES, 2016).

Como apontado no item 4 da Figura 8, devido ao aumento da pressão no pórtico de saída da bomba, são geradas forças radiais desequilibradas que atuam sobre os eixos das engrenagens e seus respectivos rolamentos. Tais cargas limitam a capacidade pressão das bombas de engrenagens quando comparadas a bombas de outro tipo construtivo (MOREIRA, 2012).

Figura 8 - Funcionamento de uma bomba de engrenagem externa

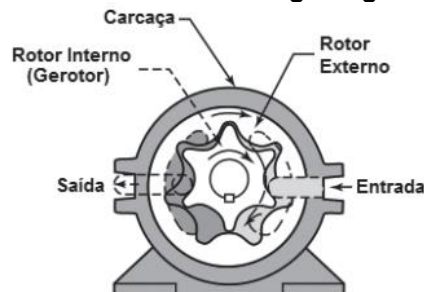


Fonte: Parker, 2001.

As bombas de engrenagem interna consistem em uma engrenagem de dentes externos que engrenam em uma engrenagem de dentes internos. O tipo mais comum de bomba de engrenagem interna utilizado em sistema industriais é a bomba do tipo gerotor (PARKER, 2001).

Segundo Simões (2016), a bomba do tipo gerotor trabalha com uma engrenagem motora (chamada de rotor interno ou gerotor) e uma engrenagem movida (rotor externo), como mostra a Figura 9. Neste tipo de bomba, a engrenagem interna tem um dente a menos que a externa e a vedação é realizada pelos próprios dentes das engrenagens em contato.

Figura 9 - Funcionamento de bomba de engrenagem interna do tipo gerotor

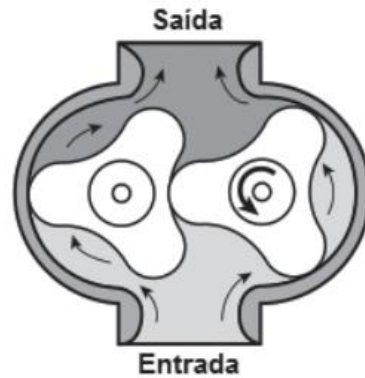


Fonte: Simões, 2016.

A bomba de lóbulos tem o mesmo princípio de construção de funcionamento da bomba de engrenagens externas. Os lóbulos são como engrenagens de dentes

arredondados, conforme visto na Figura 10, que, devido ao formato produzem um atrito menor e permitem uma maior vazão devido ao aumento das câmaras de bombeamento (MOREIRA, 2012).

Figura 10 - Funcionamento de bomba de lóbulos

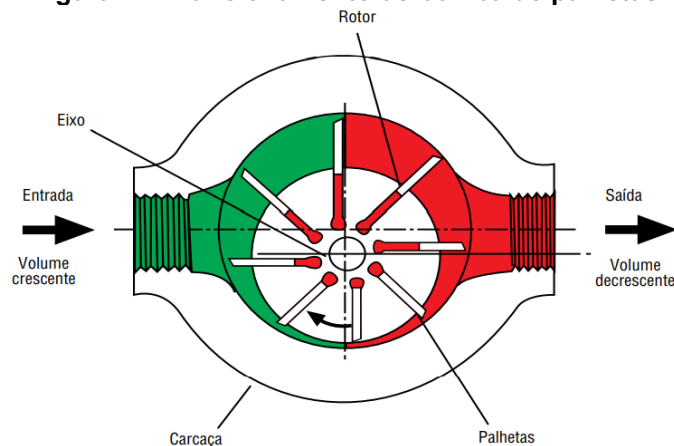


Fonte: Simões, 2016.

4.4.2.2.2 Bombas de palhetas

As bombas de palhetas possuem um rotor excêntrico à carcaça, provido de ranhuras, nas quais são montadas palhetas que, devido à força centrífuga causada pelo giro do rotor, deslizam e se apoiam na superfície interna do anel, formando assim as câmaras de bombeamento, como na Figura 11 (MOREIRA, 2012).

Figura 11 - Funcionamento de bomba de palhetas



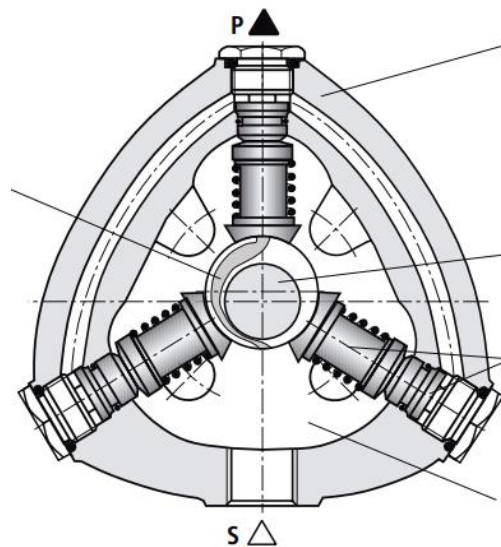
Fonte: Parker, 2001.

4.4.2.2.3 Bombas de pistões

As bombas de pistões são divididas em duas categorias principais: de pistões radiais e de pistões axiais.

Nas bombas de pistões radiais, os elementos de bombeamento são apoiados em um came excêntrico no eixo de acionamento por meio da ação de molas, como visto na Figura 12. Para descrever o funcionamento dos pistões pode-se dividir o ciclo de movimentos em quatro etapas. Na primeira etapa o came está em cima e a câmara de bombeamento encontra-se totalmente reduzida com o pistão na posição de ponto morto superior. Quando o came começa a descer, a mola impulsiona o pistão para baixo, aumentando o tamanho da câmara de bombeamento e gerando um vácuo de forma a permitir a entrada de óleo na câmara. Com o came em baixo o pistão se encontra na posição de ponto morto inferior e a câmara de bombeamento apresenta seu volume máximo, completamente preenchida de óleo. Quando o pistão sobe novamente, com a movimentação do came excêntrico, o óleo é então empurrado através do pórtico de saída para o circuito hidráulico (MOREIRA, 2012).

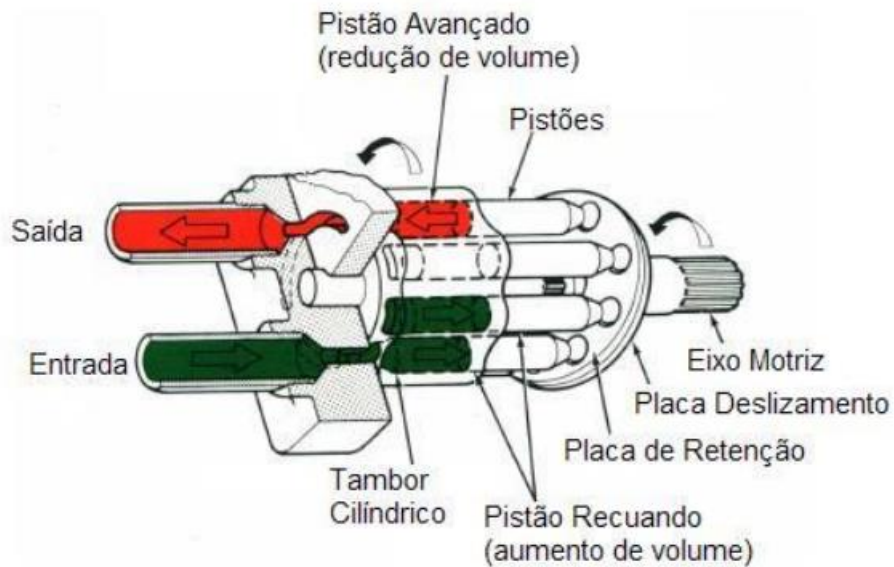
Figura 12 - Funcionamento de bomba de pistões radiais



Fonte: Adaptado de Bosch Rexroth AG - RP 263/08.02, 2011.

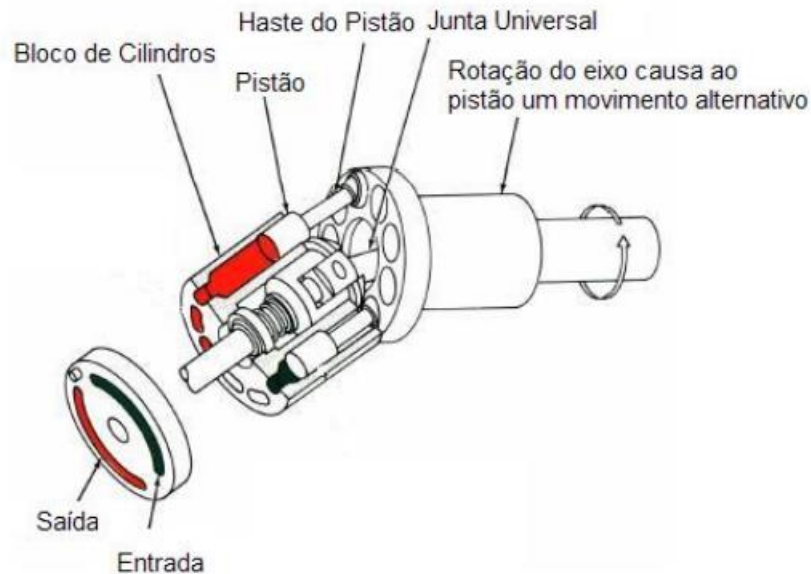
As bombas de pistões axiais, podem ser de placa inclinada, como na Figura 13, ou de eixo inclinado, conforme Figura 14. Seu funcionamento é similar ao das bombas de pistões radiais, com a diferença que a movimentação dos pistões dentro de seus alojamentos é realizada devido a inclinação da placa e do bloco de cilindros.

Figura 13 - Funcionamento de bomba de pistões axiais de placa inclinada



Fonte: Azevedo, 2009.

Figura 14 - Funcionamento de bomba de pistões axiais de eixo inclinado



Fonte: Azevedo, 2009.

4.4.2.3 Filtros

De acordo com Parker (2001) mais de 75% das falhas em sistemas hidráulicos e de lubrificação ocorrem devido ao excesso de contaminação no fluido, causando perda de produção, maior necessidade de reposição de componentes, trocas constantes de fluido, aumento nos custos de manutenção em geral.

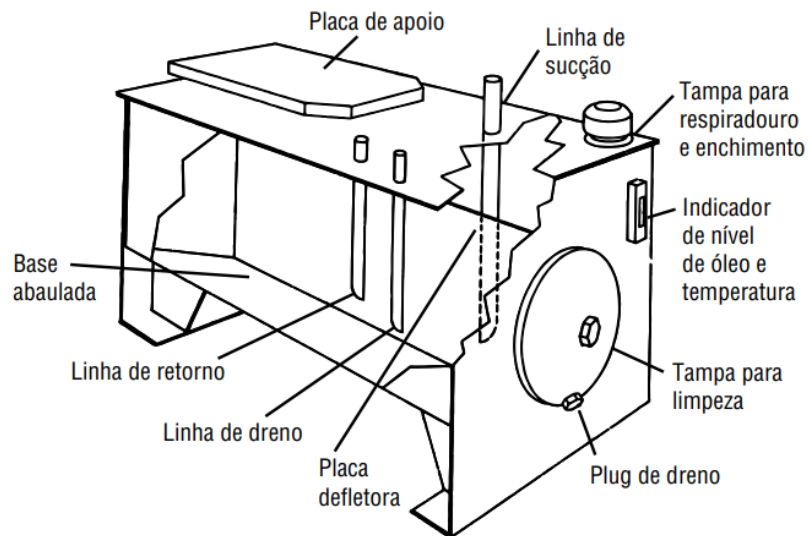
A função dos filtros hidráulicos é remover as impurezas do fluido. Tal função é atingida forçando o fluxo do fluido por meio de um elemento filtrante que retém as impurezas a partir de determinado tamanho. O grau de filtragem de filtros hidráulicos é medido em micras, que corresponde a um milionésimo de um metro, sendo que se é dito que um elemento filtrante é de 10 micras, ele impede a passagem de contaminantes acima desse valor. Muito da contaminação prejudicial a um sistema hidráulico está abaixo de 40 micras, visto que este é o limite de visibilidade para o olho humano, mesmo que um fluido pareça estar limpo à olho nu, isso não é necessariamente verdade (PARKER, 2001).

Pode-se classificar o tipo de filtragem com base na posição em que o filtro se encontra no sistema, em filtros de sucção, filtros de pressão e filtros de retorno. Os filtros de sucção são instalados antes da linha de sucção da bomba e podem apresentar malhas de filtragem entre 74 e 150 micras ou de 3 a 238 micras dependendo da sua forma de construção. Filtros de pressão são posicionados entre a linha de pressão da bomba e algum outro componente do sistema e possuem malhas de filtragem entre 3 e 40 micras. Filtros de retorno se localizam na linha de retorno do fluido do sistema, antes que o fluido entre no reservatório e são habitualmente encontrados em dimensões entre 5 e 40 micras.

4.4.2.4 Reservatório

Os reservatórios hidráulicos têm a função de armazenar o fluido de um sistema. São construídos com placas, geralmente de aço, soldadas e dispostas de forma a manter o fundo do tanque acima do nível do solo, como pode ser visto na Figura 15. O interior de reservatórios hidráulicos é pintado com uma tinta especial a base de epóxi, de forma a reduzir a ferrugem que pode ocorrer devido a condensação de umidade, além disso, a tinta deve ser compatível com o fluido que será utilizado para evitar reações químicas que venham a contaminar o óleo. Os reservatórios são projetados de maneira que facilitem a manutenção. Assim, o fundo é ligeiramente inclinado com o dreno localizado na região mais baixa, facilitando o escoamento do óleo em procedimento de troca do fluido. Ainda, os tanques devem possuir tampas ou portas laterais para facilitar o acesso ao seu interior para procedimentos de limpeza ou manutenção de equipamentos internos (MOREIRA, 2012).

Figura 15 - Reservatório hidráulico



Fonte: Parker, 2001.

4.4.3 Grupo de controle

O grupo de controle engloba os mais diversos tipos de válvulas para as mais diferentes aplicações. O Quadro 1 apresenta a simbologia básica dos tipos de válvulas mais comuns em sistemas hidráulicos.

Quadro 1 - Simbologia básica de alguns tipos de válvulas

Simbologia	Descrição
	Válvula direcional 3/2 vias NF
	Válvula de retenção
	Válvula reguladora de fluxo
	Válvula reguladora de pressão

Fonte: Autor, 2022

4.4.3.1 Válvulas direcionais

As válvulas direcionais são responsáveis por controlar o percurso do óleo em um sistema hidráulico, comandando partidas, paradas e mudanças no sentido de movimento dos atuadores (MOREIRA, 2012). São caracterizadas com base no número de posições de comando, número de vias de trabalho, posição normal e tipo de acionamento. As válvulas são representadas por quadrados, cada quadrado representando uma posição de comando distinta. O número de vias de uma válvula corresponde ao número de conexões úteis que tal válvula possua e nas representações podem ser visualizadas como vias de passagem ou de bloqueio. A posição normal de uma válvula é a posição em que ela se encontra enquanto a mesma não foi acionada, podendo ser normalmente aberta, caso permita a passagem de óleo quando está em repouso ou normalmente fechada, bloqueando a passagem de óleo naturalmente e a liberando quando a válvula é acionada. O tipo de acionamento de uma válvula de controle direcional pode ser manual, mecânica, elétrico, pneumático ou hidráulico (PARKER, 2001).

4.4.3.2 Válvulas de retenção

Classificadas como válvulas direcionais de somente uma via, as válvulas de retenção permitem a passagem de óleo em uma direção e bloqueiam o fluxo na direção oposta. Consistem basicamente no corpo da válvula, vias de entrada e saída e um assento móvel que é preso no lugar por uma mola. A mola é tem força o suficiente para manter o elemento de vedação em seu assento, permitindo a montagem da válvula em qualquer posição, sem depender da ação da gravidade (MOREIRA, 2012).

São comumente utilizadas como válvulas *by-pass*, permitindo que o fluxo contorne certos componentes, assim como aplicadas para isolar uma seção do sistema hidráulico ou um componente (PARKER, 2001).

4.4.3.3 Válvulas reguladoras de fluxo

Válvulas reguladoras de fluxo, também conhecidas como válvulas reguladoras de vazão, restringem a quantidade de óleo que é fornecida ao sistema hidráulico ou em determinados setores dele. Por meio dessas válvulas é possível a realização do controle de velocidade do atuador, considerando que, aos restringir a passagem do

fluxo de óleo, menor será o volume do fluido fornecido ao atuador, diminuindo a velocidade em que suas câmaras são preenchidas e, conseqüentemente, diminuindo sua velocidade (MOREIRA, 2012).

As válvulas reguladoras de fluxo podem ser de orifício fixo ou variável. As de orifício fixo não permitem o ajuste da vazão, sendo apenas estreitamentos nos canais de passagem de óleo, enquanto as de orifício variável atuam como torneiras, permitindo o ajuste desde a vazão zero até o máximo permissível pela abertura da válvula.

4.4.3.4 Válvulas reguladoras de pressão

As válvulas reguladoras de pressão têm como função, limitar ou reduzir a pressão do óleo dentro de um sistema hidráulico. São responsáveis diretamente pelo controle da força de operação dos atuadores, possibilitando o seu ajuste com base nas exigências e necessidades de cada aplicação, além de garantir a segurança do sistema hidráulico (MOREIRA, 2012).

Basicamente, esses tipos de válvulas são constituídos por um assento móvel posicionado pela ação de uma mola. A tensão da mola é o que regula a pressão do sistema, permitindo a passagem do óleo e liberação do excesso de pressão a partir do momento em que a pressão do óleo for maior do que o valor regulado na mola.

4.4.4 Grupo de atuação

Os atuadores hidráulicos convertem energia hidráulica em trabalho mecânico e são um dos principais itens a serem considerados no projeto de sistemas hidráulicos. De acordo com Moreira (2012), todo o projeto de um sistema hidráulico deve começar pelos atuadores. Somente após a definição do tipo de movimento desejado na máquina ou equipamento, determinação das forças e velocidades exigidas durante a operação e dimensionamento do atuador é que serão selecionados os demais componentes do circuito hidráulico.

Os atuadores são classificados em atuadores lineares, ou cilindros hidráulicos, e atuadores rotativos, também conhecidos como motores hidráulicos.

4.4.4.1 Cilindros hidráulicos

Os cilindros hidráulicos são compostos por uma carcaça tubular, conhecida como camisa, um êmbolo (pistão) móvel provido de vedações e uma haste cilíndrica ligada ao êmbolo, a qual será fixada no conjunto mecânica a ser movimentado. Os cabeçotes ou tampas onde estão presentes as conexões de entrada e saída de óleo hidráulico e por meio dos quais o cilindro pode ser fixado na estrutura da máquina são presos a ele por meio de roscas, prendedores, tirantes ou solda (PARKER, 2001). A Figura 16 mostra exemplos de cilindros soldados (à direita) e atirantados (à esquerda).

Figura 16 - Cilindros hidráulicos



Fonte: Adaptado de Parker (2001).

Segundo Parker (2001), os tipos mais comuns de cilindros são os de ação simples, ação dupla, haste dupla e telescópico. Nos cilindros de ação simples a pressão do fluido é aplicada apenas em uma direção para mover o pistão e o seu retorno pode ser realizado por força externa ou por mola. Nos de ação dupla a movimentação do cilindro tanto para avanço quanto para recuo é realizada por meio da pressão do fluido. Os cilindros de haste dupla possuem uma haste ligada a cada lado do êmbolo permitindo acoplar cargas nas duas extremidades do cilindro. Os cilindros telescópicos apresentam hastes montadas uma dentro da outra, de forma a proporcionar um curso de atuação maior que cilindros convencionais e, portanto, se tratam de cilindros mais compactos quando comparados a cilindros convencionais que apresentam o mesmo curso de trabalho.

4.4.5 Grupo de ligação

O grupo de ligação de um sistema hidráulico é composto pelo que é conhecido como condutores hidráulicos, que englobam os diversos tipos de conexões e tubulações empregados para transportar a energia hidráulica através do circuito desde

a bomba até os atuadores e de volta ao reservatório, fazendo a ligação entre os grupos de geração, controle e atuação. Outra finalidade dos condutores hidráulicos, além do transporte do fluido, é a absorção de vibrações e dissipação do calor gerado no sistema sobre pressão (MOREIRA, 2012).

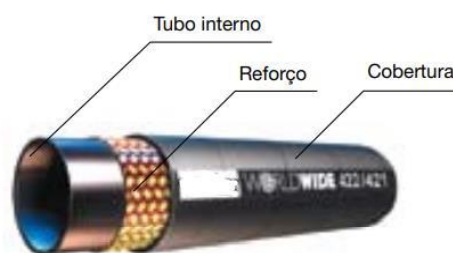
Os condutores podem ser divididos em rígidos e flexíveis aplicados de forma a atender as mais diversas aplicações. Os principais tipos de condutores utilizados na hidráulica industrial são as mangueiras, tubos e blocos de montagem.

4.4.5.1 Mangueiras

Mangueiras hidráulicas são condutores flexíveis e seu uso é recomendado quando há a necessidade de compensação de movimento e absorção de vibrações geradas pela operação do sistema.

As mangueiras possuem basicamente três partes construtivas, conforme pode ser visualizado na Figura 17, sendo elas o tubo interno, construído de material flexível e de baixa porosidade e tendo compatibilidade química com o fluido a ser conduzido evitando reações químicas que possam deteriorar a mangueira ou contaminar o fluido, reforço ou carcaça, construído por meio tecidos ou fios de aço trançados e cobertura, disposta sobre o trançado com a finalidade de protegê-lo contra agentes externos (PARKER, 2001).

Figura 17 - Forma construtiva de mangueiras hidráulicas



Fonte: Adaptado de Parker (2001).

São instalados nas extremidades das mangueiras, terminais, podendo ser prensados ou do tipo reaproveitável, permitindo que sua montagem seja realizada com os mesmos tipos de conexões empregadas em tubos de aço sem costura.

Segundo Moreira (2012), as seguintes precauções são necessárias para a instalação de mangueiras em sistemas hidráulicos:

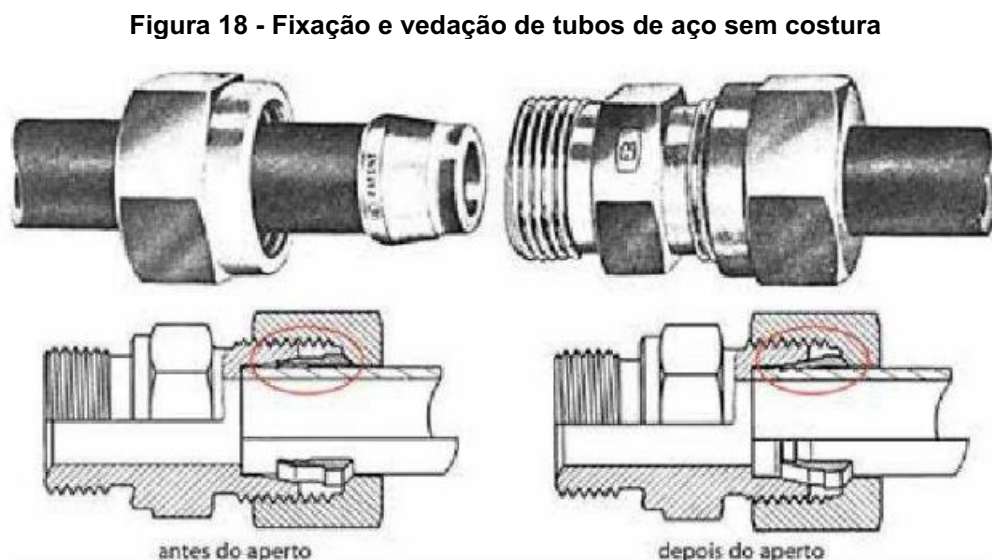
- Reduzir o número de conexões;

- Evitar torções, flexões ou dobras nas mangueiras;
- Usar um comprimento adequado para cada situação;
- Utilizar abraçadeiras ou guias de forma a evitar atrito com a máquina ou o solo;
- Evitar contato com superfícies quentes ou cantos vivos.

4.4.5.2 Tubos

Tubos de aço sem costura são condutores hidráulicos rígidos amplamente utilizados em montagens de sistemas hidráulicos industriais. A maior vantagem da utilização de tubos é a possibilidade de eles poderem ser curvados a frio em qualquer direção, reduzindo o número de conexões necessárias e, conseqüentemente, diminuindo a quantidade de pontos sujeitos a vazamentos (MOREIRA, 2012).

A principal forma de conexão de tubos utilizado atualmente é o anel de compressão, que se trata de um anel de aço cujo diâmetro interno adapta-se ao diâmetro externo do tubo, cravando-se na superfície do tubo quando a conexão é apertada, realizando assim a vedação e fixação da tubulação, como mostra a Figura 18, a seguir:



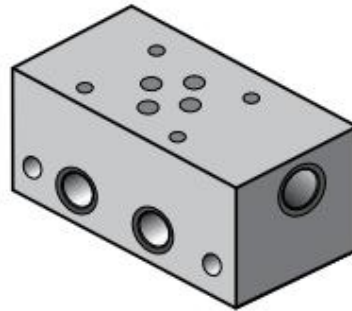
Fonte: Moreira, 2012.

4.4.5.3 Blocos de montagem

Blocos de montagem, também conhecidos como blocos *manifold*, são blocos de aço com furações internas, como pode ser visto na Figura 19, que, interligadas

sequencialmente de acordo com o projeto do sistema hidráulico, substituem toda ou grande parte da tubulação externa, substituindo assim a utilização de tubos e mangueiras para a interligação do circuito e reduzindo ao mínimo a necessidade de conexões e pontos sujeitos a vazamento (MOREIRA, 2012).

Figura 19 - Bloco de montagem



Fonte: Bosch Rexroth AG - RP 51009D, 2013.

Uma vertente da hidráulica é a hidráulica compacta, onde as válvulas utilizadas são majoritariamente do tipo construtivo cartucho, como na Figura 20, o qual é ideal para a montagem em blocos *manifold*, visto que a utilização destes blocos reduz consideravelmente o tamanho do circuito hidráulico sendo assim utilizados em sistemas mais compactos onde não há muito espaço útil para a instalação dos componentes como veículos industriais, máquinas agrícolas e aeronaves.

Figura 20 - Válvula cartucho



Fonte: BOSCH REXROTH, 2016.

4.5 Tecnologia pneumática industrial

De acordo com Parker (2001), o termo “pneumática” é derivado do grego *Pneumos* ou *Pneuma*, correspondendo a respiração ou sopro, e define-se como a parte da Física que se ocupa da dinâmica e dos fenômenos físicos relacionados com

os gases ou vácuos. É ainda o estudo da conservação da energia pneumática em energia mecânica, por meio dos respectivos elementos de trabalho.

Muitos dos elementos pneumáticos estão relacionados de alguma forma com os elementos hidráulicos, principalmente no que diz respeito a simbologia de válvulas e diagramas de circuito. No entanto, devido às características próprias do ar, que é seu fluido de operação, quando comparada a hidráulica, a pneumática se mostra um elemento mais simples, de maior rendimento e de menor custo. Abaixo seguem algumas vantagens da utilização da pneumática segundo Fialho (2011):

- O ar comprimido existe em quantidades ilimitadas;
- Não há a necessidade de linhas de retorno;
- O ar é comprimido por um compressor e armazenado em um reservatório, sendo necessária a atuação do compressor apenas quando a pressão do reservatório atingir determinado valor mínimo;
- Não é afetado pela variação de temperatura;
- É mais segura, não apresentando perigos de explosão ou incêndio e utilizando pressões relativamente baixas, em torno de 6 e 12 bar de pressão;
- Fluido de utilização limpo, não apresentando riscos de poluição;
- Elementos apresentam formas construtivas mais simples;
- Altas velocidades de atuação;
- Resistência a sobrecarga, podendo ser solicitados, em carga, até parar, sem sofrer nenhum dano e voltando a trabalhar normalmente após a resistência ser eliminada.

Por outro lado, Fialho (2011), também cita algumas desvantagens da utilização da pneumática, são elas:

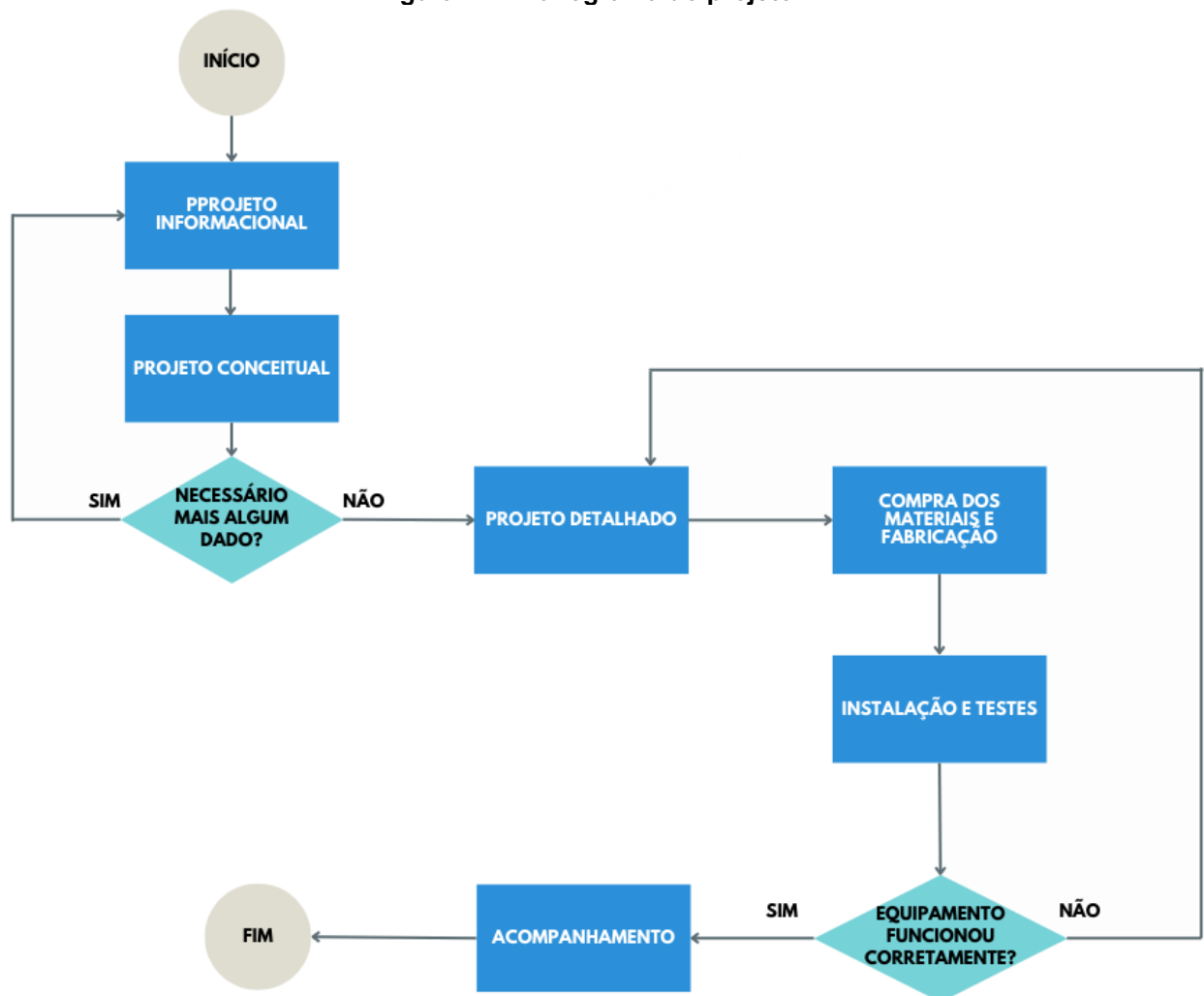
- Para apresentar um bom rendimento, os sistemas pneumáticos necessitam de uma boa preparação da qualidade do ar comprimido, isentando-o de impurezas e umidade através da utilização de filtros e purgadores;
- Devido à compressibilidade do ar não é possível a realização do controle preciso e constante das velocidades dos atuadores;

- Considerando as pressões normais de trabalho mais baixas, as forças atingidas pelos atuadores também são menores quando comparadas a hidráulica;
- A exaustão do ar para a atmosfera provoca ruídos relativamente altos, apesar de este problema poder ser quase que totalmente eliminado por meio da utilização de silenciadores;

5 METODOLOGIA

Com base na metodologia de projetos apresentada por Norton (2013) e Budynas e Nisbett (2011) e acrescentando a ela as etapas de desenvolvimento de um *retrofit* enumeradas por Cetnarowski e Grams (2014) foi determinada a abordagem a se utilizar no desenvolvimento desse projeto, conforme segue na Figura 21:

Figura 21 - Fluxograma do projeto



Fonte: Autor, 2022.

Na etapa de projeto informacional será feita a pesquisa e levantamento de dados sobre o equipamento, além da definição dos objetivos do projeto e necessidades do cliente. No projeto conceitual são definidas as possíveis soluções para que os objetivos traçados sejam atingidos e especificadas as tarefas a serem realizadas, caso seja verificado nessa etapa que faltam informações necessárias ao desenvolvimento do projeto, é feito um novo levantamento de dados para minimizar a

ocorrência de erros futuros. Por fim, é na etapa de projeto detalhado que são realizados os cálculos e dimensionamentos além da seleção dos itens necessários para a implementação do *retrofit* na máquina. Tendo o projeto dimensionado e os equipamentos selecionados é feita então a compra e fabricação das peças, seguida da instalação e testes na máquina. Caso seja verificado nos testes iniciais que o equipamento não se comporta conforme o esperado é necessária uma revisão dos cálculos e estudo para verificar o que deve ser feito para a solução deste empecilho. Após a máquina estar com seu funcionamento normal ainda é feito um acompanhamento para assegurar a assertividade do projeto.

O processo de *retrofitting* do elevador tipo tesoura apresentado nesse trabalho foi realizado por uma equipe multidisciplinar composta por engenheiros, técnicos em mecânica, elétrica e automação, e estudantes de engenharia elétrica e mecânica. Neste trabalho será abordado o estudo realizado pelos responsáveis pela mecânica do equipamento, abrangendo os sistemas pneumático e hidráulico do elevador.

5.1 Projeto informacional

5.1.1 Necessidade do cliente

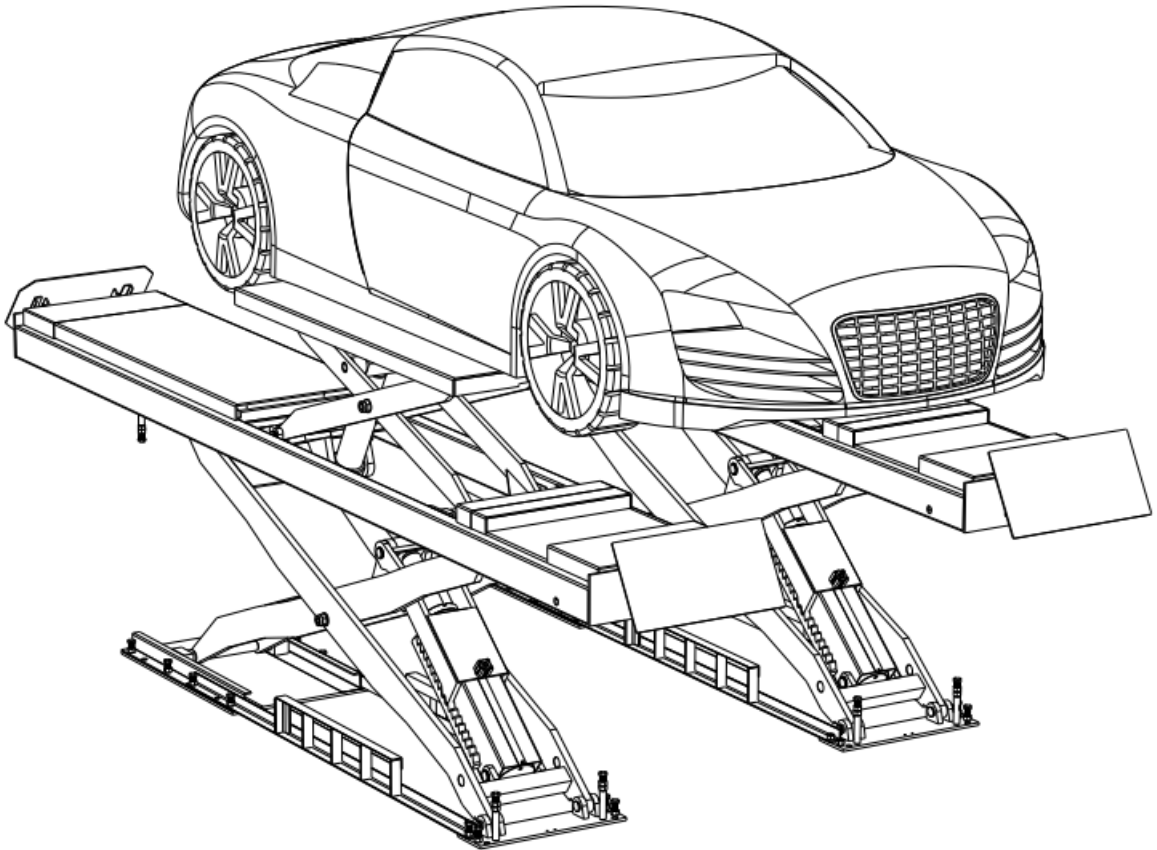
As necessidades apresentadas pelo cliente e, portanto, os requisitos do projeto são:

- Elevador ser capaz de levantar até 4500 kg;
- Controle de acionamento serem mantidos iguais;
- Manter totem, onde são centralizados os controles.

5.1.2 Informações do equipamento

Uma ilustração do equipamento pode ser visualizada na Figura 22, abaixo:

Figura 22 - Ilustração elevador tesoura duplo-nível

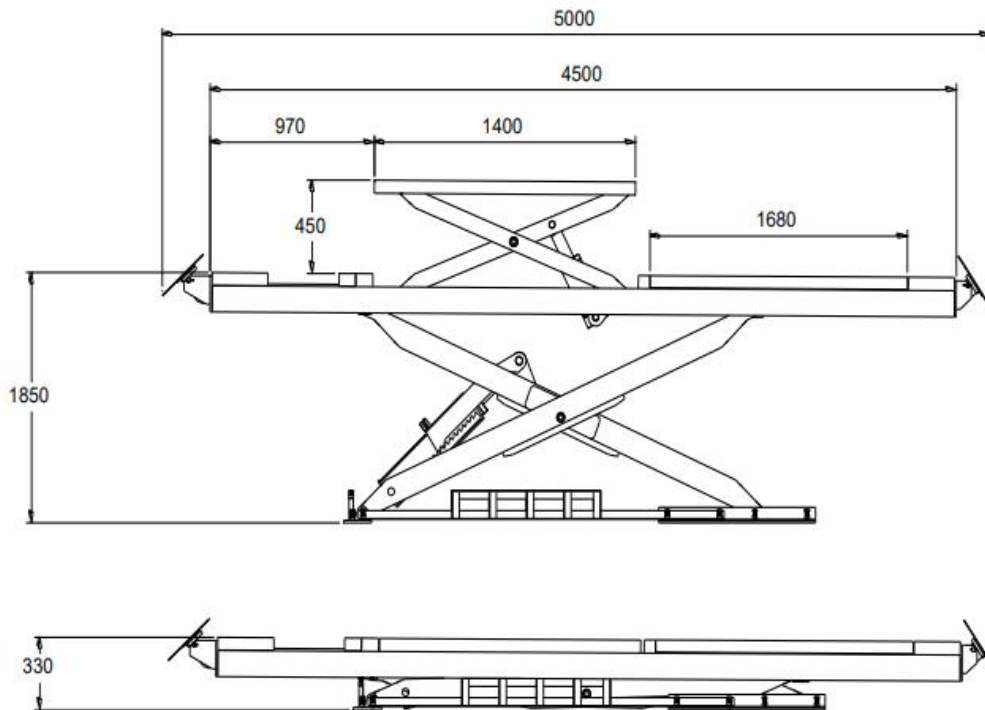


Fonte: MANUAL DO USUÁRIO Y45.

5.1.2.1 Funcionamento

O equipamento se trata de um elevador para alinhamento do tipo tesoura de duplo-nível, possuindo uma plataforma principal e uma plataforma auxiliar, chamada de "Sub" no manual do equipamento. A plataforma principal é encarregada de elevar o veículo 1850 mm do chão até que suas rodas estejam alinhadas com os sensores para o acoplamento das ferramentas e realização da medição do alinhamento das rodas. Caso seja verificado que tal alinhamento necessita de ajustes, para que não seja necessário deslocamento do carro até outro elevador, a plataforma Sub é utilizada para elevar o veículo mais 450 mm e retirar as suas rodas do contato com a plataforma principal, assim, os ajustes de alinhamento necessários podem ser realizados no local e verificados logo em seguida. A Figura 23 ilustra o elevador com ambas as plataformas elevadas até seu ponto máximo.

Figura 23 - Dimensões das plataformas



Fonte: MANUAL DO USUÁRIO Y45.

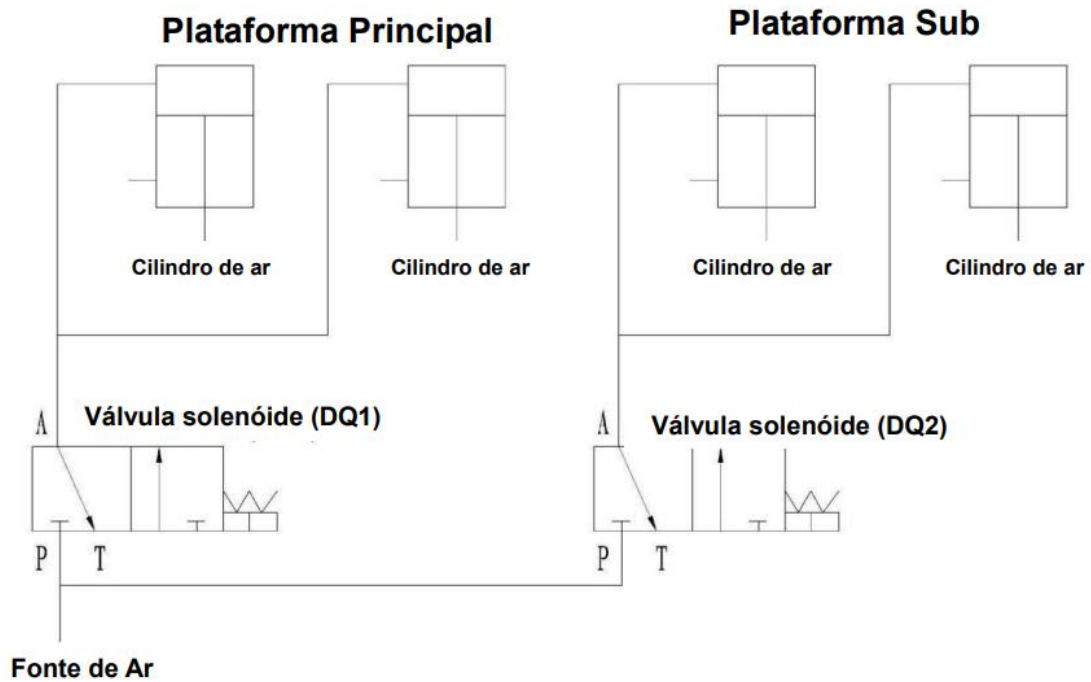
Como forma de segurança, ambas as plataformas possuem travas mecânicas, vide Figura 24, impedindo que elas venham a cair caso haja algum problema hidráulico no equipamento. Quando é necessário descer o elevador, as travas mecânicas são liberadas por meio de cilindros pneumáticos acionados por válvulas, conforme Figura 25.

Figura 24 - Trava mecânica



Fonte: MANUAL DO USUÁRIO Y45.

Figura 25 - Diagrama pneumático do elevador tesoura duplo-nível

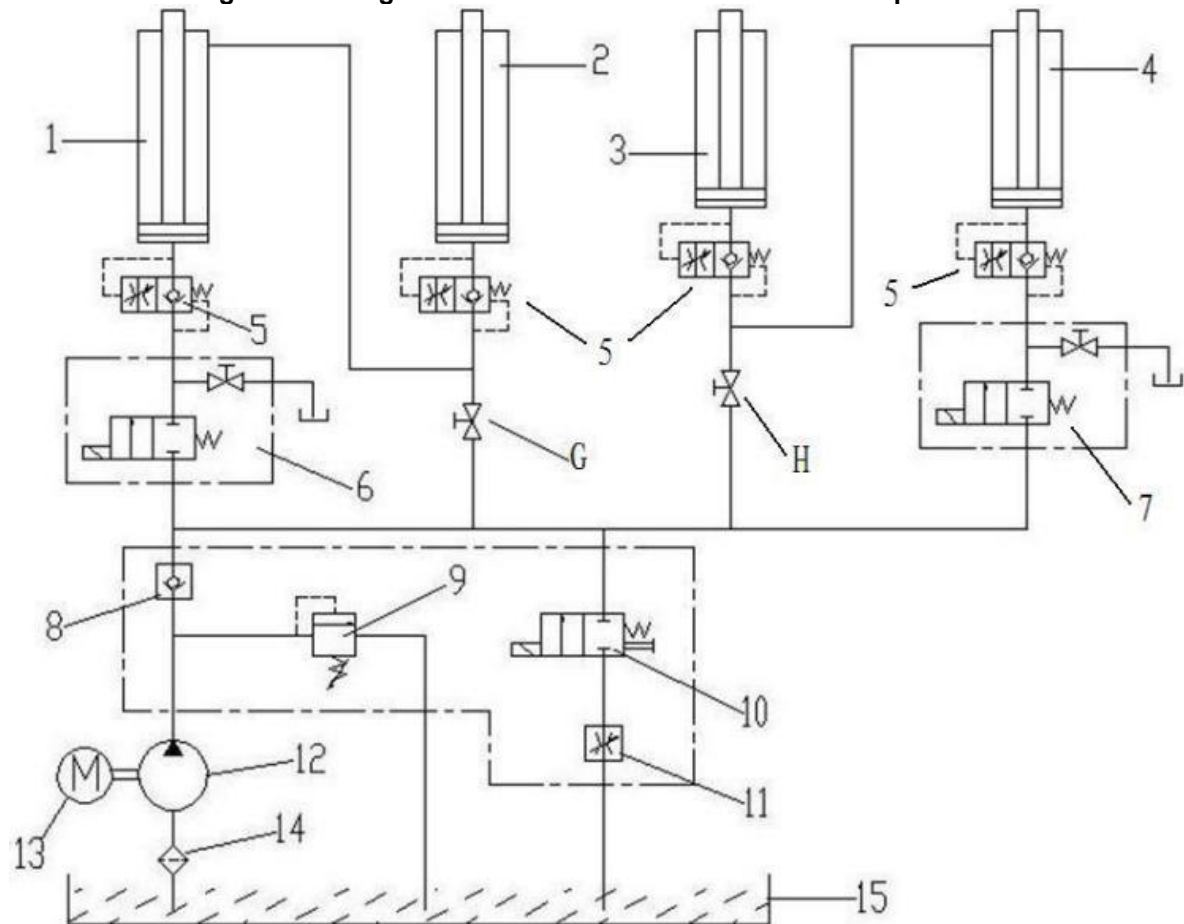


Fonte: MANUAL DO USUÁRIO Y45.

Para entender melhor o funcionamento do equipamento é necessário analisar seu diagrama hidráulico, apresentado na Figura 26.

Os cilindros 1 e 2 correspondem aos cilindros da plataforma Principal da máquina, enquanto os cilindros 3 e 4 correspondem aos atuadores da plataforma Sub. As válvulas 5, presentes embaixo de todos os cilindros são conhecidas como válvulas antiqueda, instaladas como forma de segurança, atuam por meio de piloto hidráulico, de forma que, caso o fluxo de óleo na descida dos cilindros esteja acima do valor regulado, indicando uma queda livre dos cilindros, a válvula é pilotada para sua segunda posição, bloqueando o fluxo de óleo da saída e impedindo a queda dos cilindros. Vale notar que no diagrama presente no manual do fabricante estas válvulas aparentam não impedir a queda dos cilindros, mas, permitir uma queda mais controlada, por meio de uma restrição no fluxo do óleo, assim, ao invés de impedir a queda totalmente, este sistema proporciona uma diminuição na velocidade da queda com base na regulagem das válvulas 5.

Figura 26 - Diagrama hidráulico do elevador tesoura duplo-nível



Fonte: MANUAL DO USUÁRIO Y45.

Os itens 12 e 13 formam o conjunto motobomba, sendo responsável por movimentar o óleo através do circuito e o item 14 se trata do filtro de sucção para proteger a bomba de partículas presentes no óleo do reservatório, correspondendo ao item 15.

Os itens de 8 a 11, fazem parte de um circuito muito comum em unidades hidráulicas possuindo uma linha pressão e uma linha de retorno, a válvula 8 se trata de uma válvula de retenção responsável por impedir o retorno do óleo do sistema para a bomba hidráulica, enquanto a válvula 9 atua como reguladora de pressão do sistema, impedindo que a pressão gerada ultrapasse um máximo regulado. A válvula 10 é a válvula de descida dos cilindros, de forma que quando é acionada, o óleo presente no circuito hidráulico é liberado para retornar ao reservatório e a válvula 11, sendo uma válvula reguladora de fluxo, permite o controle da velocidade de descida dos cilindros.

As válvulas 6 e 7 são as válvulas de acionamento das plataformas Principal e Sub, respectivamente. Para que a plataforma Principal suba, a válvula 6 deve ser acionada e, para que essa mesma plataforma desça, as válvulas 6 e 10 devem ser acionadas simultaneamente para liberar o óleo presente nos cilindros principais para o reservatório. Em conjunto com as válvulas direcionais 6 e 7, existem também válvulas de esfera possibilitando a liberação manual do fluido para o reservatório no caso de alguma emergência ou falha elétrica.

5.1.2.2 Dados técnicos

A Tabela 1 apresenta os principais parâmetros do equipamento, relevantes para o estudo e projeto de melhoria da máquina. Vale apontar que, apesar de segundo o manual indicar que o equipamento seja capaz de levantar até 4500 kg, não é o que ocorre na prática, sendo relatado que durante a tentativa de levantar um veículo possuindo em torno de 3506 kg (ICARROS, c2022), a plataforma não sai do lugar.

Tabela 1 - Parâmetros técnicos do elevador tesoura	
Parâmetro	Valor
Capacidade de levantamento	4500 kg
Potência do motor	3 cv
Velocidade do motor	1450 rpm
Vazão da bomba	4,3 cc/r
Pressão de trabalho contínuo	210 bar
Pressão de trabalho intermitente	300 bar
Diâmetro êmbolo cilindro 1	120 mm
Diâmetro êmbolo cilindro 2	100 mm
Diâmetro êmbolo cilindro 3	100 mm
Diâmetro êmbolo cilindro 4	80 mm
Volume de óleo do equipamento	20 L
Tempo de levantamento da plataforma principal	55 s
Tempo de descida da plataforma principal	55 s

Fonte: Adaptado de MANUAL DO USUÁRIO Y45.

5.2 Projeto conceitual

5.2.1 Desenvolvimento das soluções

Apesar de o equipamento não atender a capacidade de carga apresentada em seu manual, é possível concluir que os cilindros suportariam os esforços

solicitados caso o grupo de geração e controle hidráulicos fossem capazes de fornecer a pressão necessária. Dessa forma, não se pretende alterar os cilindros do equipamento, o que tornaria o projeto mais complexo devido a necessidade de desmontar e remontar os cilindros novos na máquina, além de encarecer o projeto por se tratar de cilindros com grandes diâmetros e cursos. Ainda, por se tratar de um elevador para alinhamento em um Auto Center, o cliente não pode desprender muito tempo com o equipamento parado, assim, optou-se por dimensionar num novo sistema de geração e controle, composto por uma unidade hidráulica englobando os itens de 6 a 15 do diagrama hidráulico na Figura 26.

Com essa abordagem, serão selecionados itens similares aos presentes na máquina atualmente, dimensionados para atingir as pressões necessárias e configurados para trabalhar da mesma forma que o equipamento trabalha atualmente. Todos os equipamentos estarão centralizados em uma mesa de comando, de forma que, no momento da montagem em campo, bastará desacoplar as mangueiras hidráulicas e pneumáticas da mesa de comando do cliente e instalá-las na nova mesa fabricada.

5.3 Projeto detalhado

5.3.1 Determinação dos esforços

Para determinar a pressão necessária que deve ser fornecida pelo sistema hidráulico, primeiro é necessário determinar a força de pico exercida pelos cilindros durante a elevação das plataformas e a área de atuação da força, conforme a Equação 1.

$$P = \frac{F_c}{A} \quad (1)$$

Onde:

F_c – Força do cilindro [kgf]

P – Pressão [bar]

A – Área de atuação da força [cm²]

Devido configuração em série em que os cilindros estão montados no equipamento, ou seja, o primeiro cilindro é encarregado de movimentar o segundo,

tanto a força quanto a área de atuação dela precisam ser calculadas com base apenas no primeiro cilindro. Caso os cilindros estivessem montados em paralelo, a área de atuação seria a soma das áreas dos êmbolos e a força total estaria distribuída entre ambos os cilindros. Sabendo que o diâmetro do cilindro 1 é igual a 120 mm e utilizando a Equação 2, é determinada a área de atuação da força sendo igual a 113,1 cm².

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (2)$$

Onde:

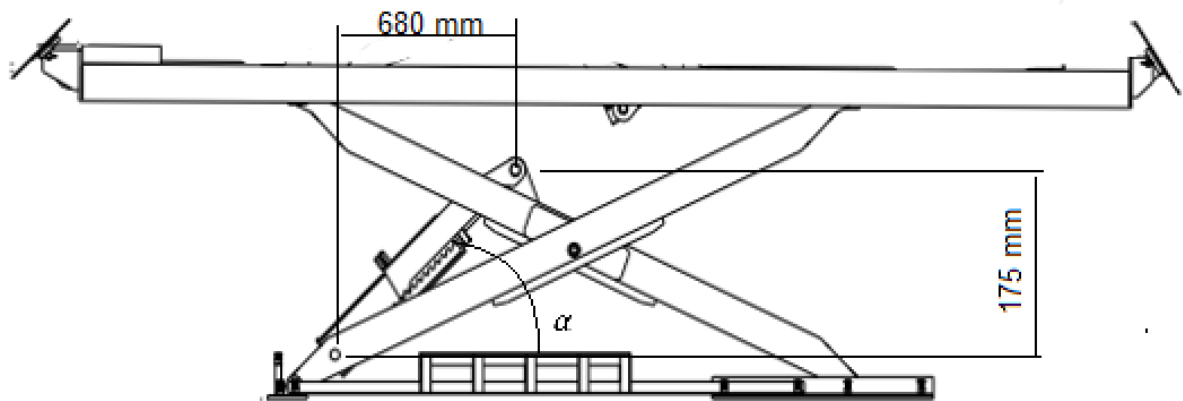
d – Diâmetro do êmbolo [cm]

A – Área [cm²]

Para a determinação da força que atua sobre o cilindro para que ele levante 4500 kg como requisitado, são necessárias algumas considerações, pois, como os cilindros não atuam de forma perpendicular ao chão é necessário levar em conta o ângulo entre a haste dos cilindros, que corresponde a linha de atuação da força, e a linha horizontal do chão. Ainda, quanto mais próximo da horizontal o cilindro estiver atuando, maior a força que ele terá de fazer para conseguir levantar a carga vertical equivalente, e, conseqüentemente, conforme a plataforma se eleva e o cilindro se movimenta para uma posição mais vertical, aumentando o ângulo entre sua haste e o chão, a força exercida por ele tende a diminuir.

Portanto, o ângulo crítico, onde é exercida a maior força pelo cilindro, corresponde ao ângulo de quando a plataforma está completamente abaixada e se inicia a elevação do equipamento. Tal ângulo, pôde ser calculado por meio da Equação 3 e das dimensões retiradas em campo com a plataforma em seu ponto mais baixo, conforme Figura 27, e corresponde à 14,43°.

Figura 27 - Ângulo de ataque do cilindro 1



Fonte: Adaptado de MANUAL DO USUÁRIO Y45.

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{175}{680} \quad (3)$$

Onde:

α – Ângulo de ataque do cilindro da plataforma principal [°]

Além disso, somado aos 4500 kg que correspondem ao automóvel a ser levantado pelo elevador, é necessário considerar a massa da plataforma que também está sendo levantada pelos cilindros. Não há nenhum dado da massa da plataforma no manual do equipamento, portanto este dado foi determinado de maneira empírica. Para isso, verificou-se a pressão exercida pelo sistema ao levantar o elevador vazio, foi então determinada a força exercida pelo cilindro utilizando a Equação 1 e, por fim, determinada a força total exercida pela massa da estrutura da plataforma, por meio da Equação 4.

$$F_T = F_p + F_a = F_c \sin \alpha \quad (4)$$

Onde:

F_T – Força total [kgf]

F_p – Força da plataforma [kgf]

F_a – Força do automóvel [kgf]

F_c – Força do cilindro [kgf]

α – Ângulo de ataque do cilindro da plataforma principal [°]

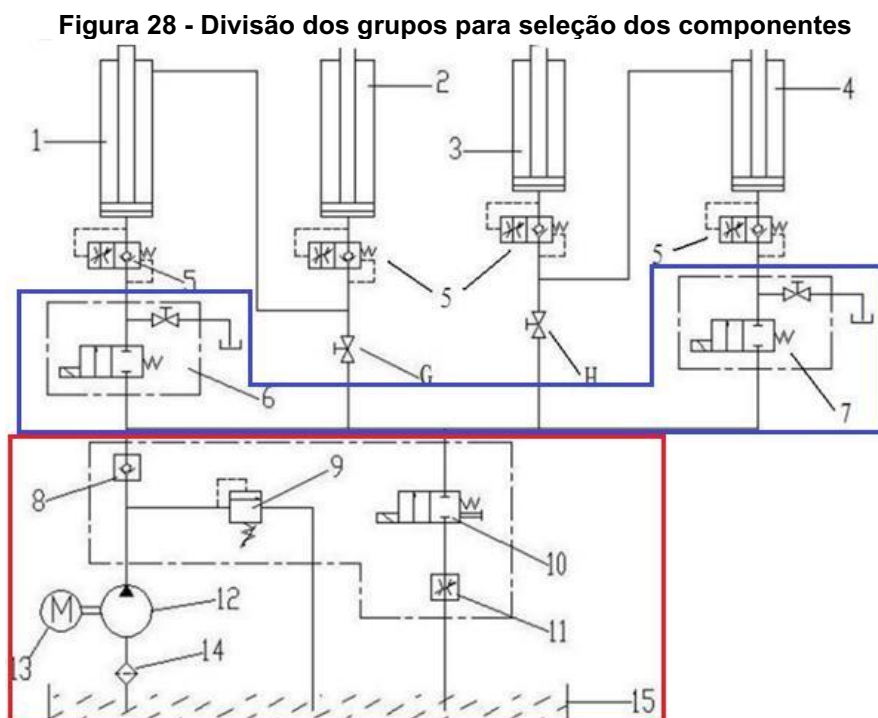
Sendo encontrada uma pressão de 50 bar ao levantar a plataforma vazia, determinou-se então que a estrutura da plataforma possui uma massa igual a 1409,21 kg. Assim, sendo a massa total que os cilindros da plataforma principal devem levantar igual a soma da massa da plataforma e a massa dos automóveis, é totalizado um máximo de 5909,21 kg.

Baseado então em uma força total equivalente de 5909,21 kgf e utilizando as Equações 1 e 4, é determinada a pressão máxima que deverá ser atingida pelo sistema hidráulico no momento crítico da elevação inicial do equipamento, sendo equivalente a 209,66 bar.

5.3.2 Seleção dos componentes

5.3.2.1 Hidráulica

Para a seleção dos componentes hidráulicos, os componentes de 6 à 15 do diagrama hidráulico da Figura 26 foram separados em dois grupos, conforme Figura 28, o primeiro grupo, destacado em vermelho, se tratando dos componentes presentes na unidade hidráulica e o segundo, em azul, sendo composto por um bloco de montagem contendo as válvulas de acionamento dos cilindros e de alívio para emergência.



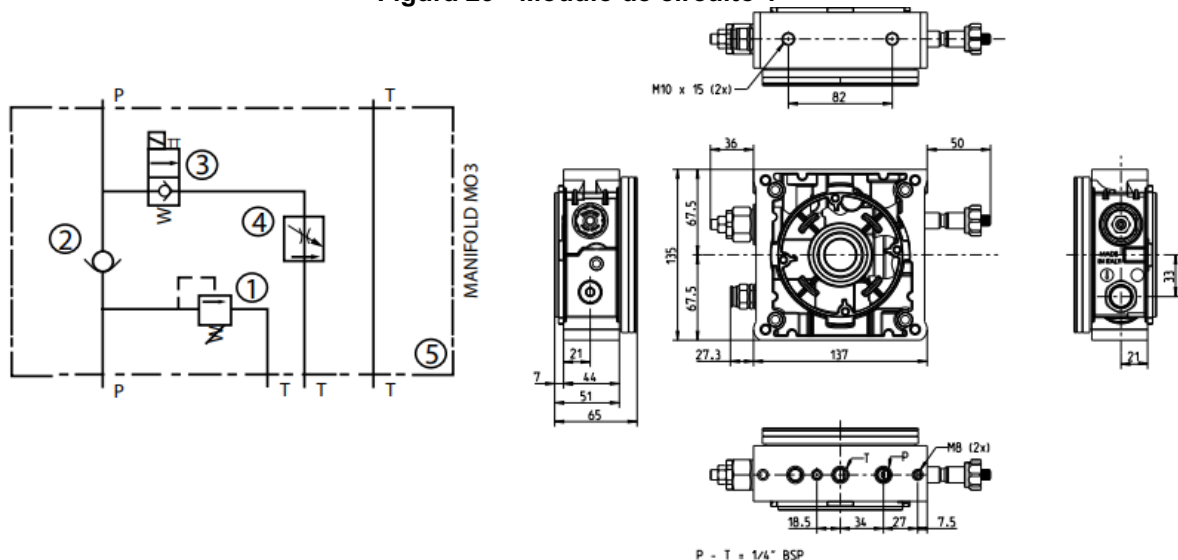
Fonte: Adaptado de MANUAL DO USUÁRIO Y45.

5.3.2.1.1 Grupo 1 – unidade hidráulica

Como forma de facilitar a fabricação do equipamento, optou-se pela seleção de uma unidade hidráulica pronta e não a fabricação de uma nova unidade hidráulica. Assim, por meio do catálogo RP 51009D (2013) de unidades hidráulicas compactas da Bosch Rexroth AG e baseado nos dados de potência, vazão e pressão obtidos no manual do usuário do elevador tesoura e dos cálculos realizados, foi selecionada a unidade hidráulica ABOS-KE-2X20SV40D-FPM0335VU124VCCMN01 (1X), possuindo as seguintes características:

- Reservatório de aço de 20L;
- Conjunto motobomba montado na posição vertical;
- Vazão de 6,65 L/min;
- Pressão máxima de 210 bar;
- Potência do motor de 4 CV;
- Bobinas de 24 VCC;
- Módulo de circuito 1, conforme Figura 29;
- Placa de espaçamento, conforme Figura 30;

Figura 29 - Módulo de circuito 1

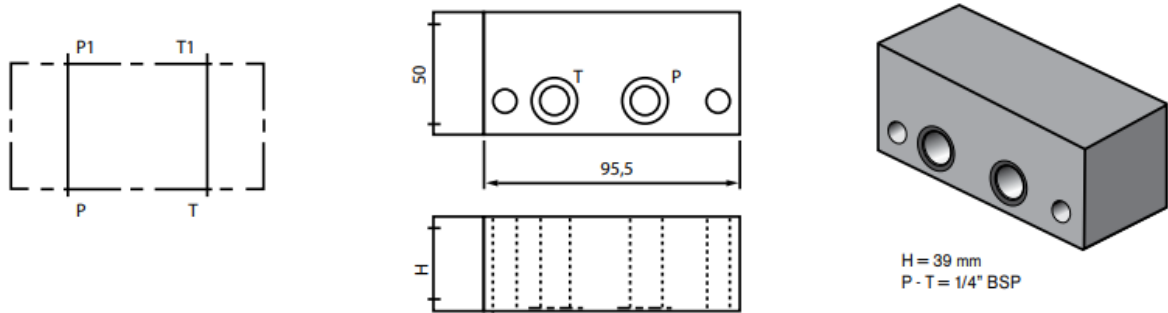


Fonte: Bosch Rexroth AG - RP 51009D, 2013.

O módulo de circuito 1 foi selecionado justamente por apresentar funcionamento equivalente ao sistema da unidade hidráulica presente no equipamento e nomeado como grupo 1. A placa de espaçamento será utilizada

apenas como forma de ligação entre o módulo da unidade hidráulica Abos selecionada e o bloco de montagem contendo as válvulas de acionamento do cilindro.

Figura 30 - Placa de espaçamento N01

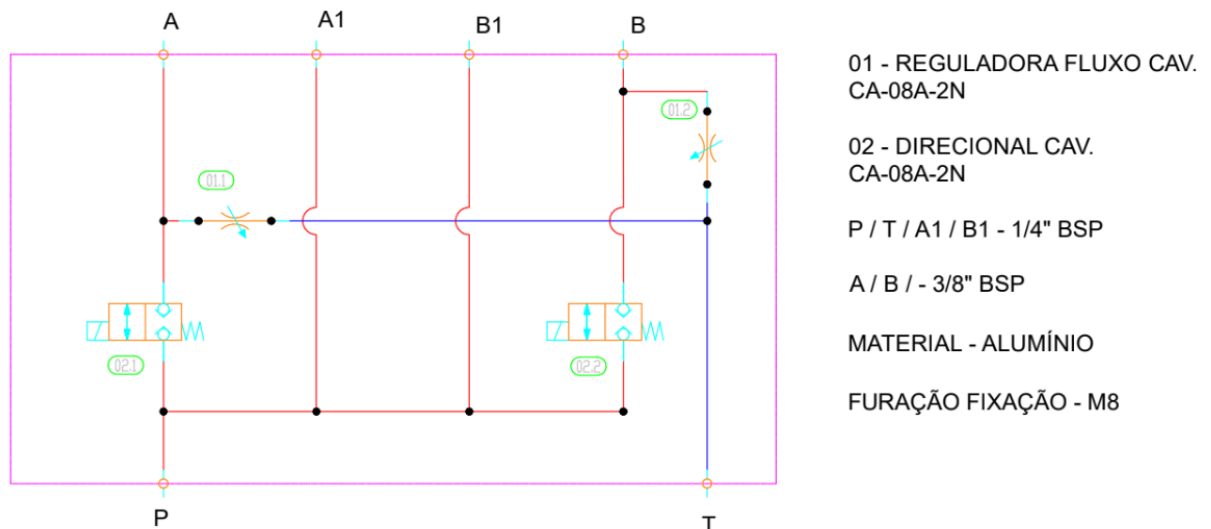


Fonte: Bosch Rexroth AG - RP 51009D, 2013.

5.3.2.1.2 Grupo 2 – bloco de montagem

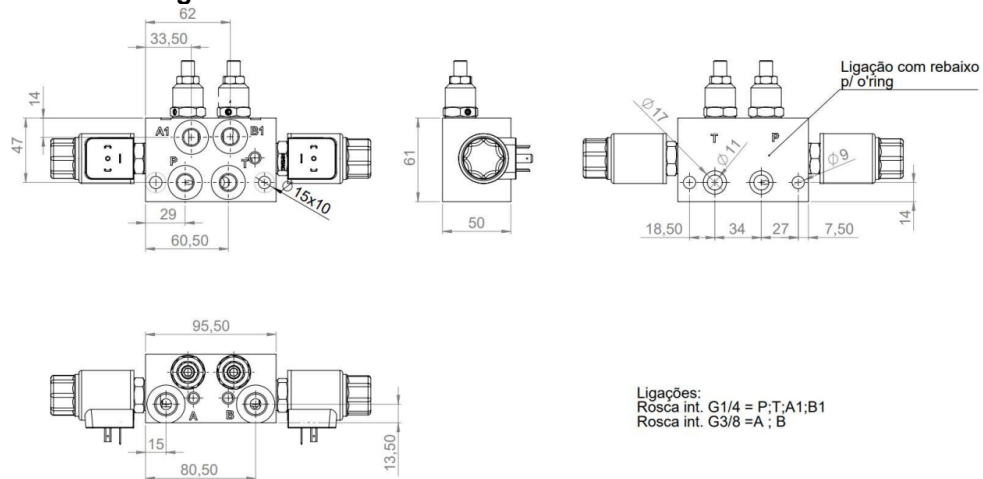
Para a fabricação do bloco de montagem foi levada em consideração a furação da placa de espaçamento N01, visto que o bloco será instalado nela, e o funcionamento do sistema conforme Figura 26, chegando no diagrama hidráulico apresentado na Figura 31 abaixo e o desenho dimensional de acordo com a Figura 32.

Figura 31 - Diagrama hidráulico bloco de comando



Fonte: Autor, 2022.

Figura 32 - Desenho dimensional do bloco de comando



Fonte: Autor, 2022.

De acordo com os diagramas hidráulicos do bloco de comando e do elevador tesoura, as ligações são feitas conforme abaixo:

- Pórticos A e B do bloco de comando serão conectados aos cilindros da plataforma Principal e Sub, respectivamente;
- Pórticos A1 e B1 do bloco de comando serão ligados as Válvulas de esfera G e H do equipamento, responsáveis pela regulagem do nivelamento das plataformas Principal e Sub, respectivamente;
- Pórtico P será utilizado como conexão para a instalação de um manômetro, facilitando a visualização e regulagem da pressão do sistema;
- Pórtico T será bujonado.

As válvulas reguladoras de fluxo, identificadas como 01 na Figura 31, responsáveis pela descida emergencial de forma manual do sistema, foram selecionadas do catálogo RE 18321-26 (2016) de hidráulica compacta da Bosch Rexroth e codificadas como OD.21.010356. Tais válvulas apresentam uma pressão de trabalho máxima de 350 bar e atendem uma vazão de até 40 L/min, atendendo assim as necessidades do projeto. A regulagem do fluxo de óleo é feita por meio de parafuso allen.

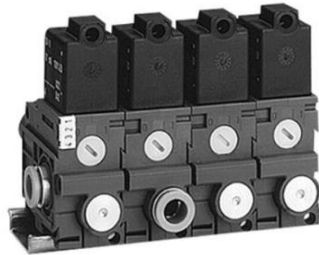
As válvulas direcionais, por sua vez, foram selecionadas como sendo as válvulas OD.153118A000000, presentes no catálogo RE 18323-25 (2021), também com pressão máxima de trabalho de 350 bar e vazão de até 40 L/min. A bobina para seu acionamento corresponde a bobina OD.02.360130OC00, encontrada no catálogo

RE 18325-90/06.22 (2022) apresentando uma tensão de acionamento de 24 VCC, assim como a válvula da unidade hidráulica.

5.3.2.2 Pneumática

Para substituição das válvulas pneumáticas utilizadas para a liberação das travas mecânicas são selecionadas válvulas da série 579 da marca Aventics para tubo de 8 mm e acionamento elétrico de 24 VCC. Essas válvulas podem ser montadas separadamente ou em conjunto, como apresentado na Figura 33, quando elas têm a mesma linha de alimentação de ar. Como forma de seguir o diagrama pneumático da Figura 25 foi montado um conjunto de duas válvulas.

Figura 33 - Conjunto de válvulas 579

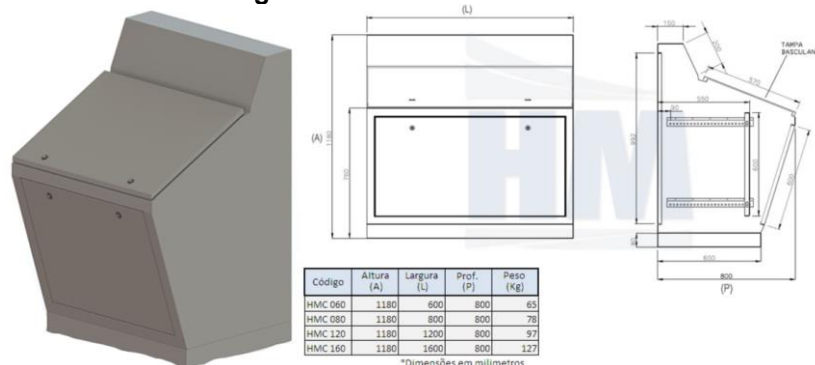


Fonte: Emerson Electric Co., c2022.

5.3.2.3 Mesa de comando

Para a centralização dos componentes, hidráulicos, pneumáticos e elétricos em um totem, como solicitado pelo cliente, foi selecionada uma mesa de comando HMC 060, conforme Figura 34, com uma alteração na posição de montagem e tamanho da placa de montagem para liberação de espaço para a instalação da unidade hidráulica dentro da mesa.

Figura 34 - Mesa de comando



Fonte: Adaptado de HM Indústria e Comércio, c2016.

5.4 Fabricação

Na Tabela 2 segue uma lista das peças hidráulicas e pneumáticas utilizadas para a fabricação do totem para acionamento do elevador à ser instalado no lugar do presente nas instalações do cliente.

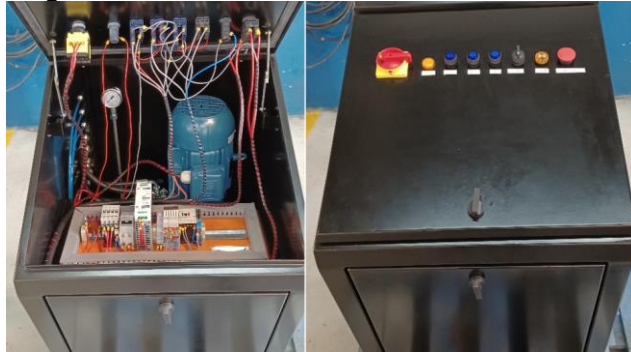
Item	Quantidade
Unidade Hidráulica ABOS	01
Mesa de Comando HMC 060	01
Bloco de Comando em Alumínio	01
Válvula reguladora de Fluxo OD.21.010356	02
Válvula Direcional OD.153118A000000	02
Bobina OD.02.360130OC00	02
União macho 12 L x 1/4 BSP	03
União Macho 12 L x 3/8 BSP	02
Bujão roscado 1/4 BSP	01
União reta para painel 12 L	04
Mangueira 3/8" 320 mm com dois terminais retos DKO 12 L	01
Mangueira 3/8" 360 mm com dois terminais retos DKO 12 L	01
Mangueira 3/8" 360 mm com um terminal DKO reto e um terminal DKO 90° 12 L	01
Mangueira 3/8" 400 mm com um terminal DKO reto e um terminal DKO 90° 12 L	01
Tubo de Aço Trefilado Sem Costura Bicromatizado 12 x 8 500 mm	01
União Fêmea para Manômetro com Porca Giratória 12 L x 1/4 BSP	05
Manômetro Vertical 63 mm de 0 à 250 bar	01
Válvula Inicial 579 3/2 24 VCC para Tubo 8	01
Válvula Final 579 3/2 24 VCC para Tubo 8	01
Silenciador para Válvula 579	02
Conexão Pneumática passa Painel Tubo 8	03
Trilho DIN 35 100 mm	01
Conector Elétrico Forma C para Válvula 579	02
Tubo PU 8 - 2000 mm	01

Fonte: Autor, 2022.

Optou-se pela utilização de conexões para painel como forma de facilitar a instalação em campo, possibilitando que as mangueiras instaladas no equipamento do cliente sejam conectadas diretamente na mesa de comando nova, sem a

necessidade de sua abertura ou realização de novas furações na tampa. A Figura 35 e a Figura 36 apresentam algumas vistas do conjunto montado. Vale ressaltar que o projeto e montagem dos sistemas elétricos foram feitos em paralelo aos estudos e fabricações mecânicas, porém, não está sendo abordado por não fazer parte do escopo deste trabalho.

Figura 35 - Vistas frontais da mesa de comando



Fonte: Autor, 2022.

Figura 36 - Vistas traseiras da mesa de comando



Fonte: Autor, 2022.

5.5 Instalação, testes e resultados

5.5.1 Instalação e pressão de trabalho

Durante a instalação do equipamento na máquina do cliente foi necessária a compra de conexões pneumáticas redutoras de tubos 8 para tubo 6 para a instalação das mangueiras pneumáticas. Haviam sido dimensionadas mangueiras com 8 mm de diâmetro com base no que estava presente no manual do equipamento, no entanto, as mangueiras presentes no equipamento eram de 6 mm. Além disso, não houve outros problemas mecânicos durante a instalação.

Com a mesa de comando instalada conforme Figura 37, uma camionete, que segundo a ficha técnica do veículo possui uma massa bruta total de 4536 kg (FIAT AUTOMÓVEIS S. A., 2015), foi posicionada no elevador para teste do equipamento.

Figura 37 - Mesa de comando instalada



Fonte: Autor, 2022.

Ao acionar a plataforma Principal, de início o elevador não se moveu, pois, a pressão do sistema estava regulada abaixo dos 210 bar calculados que seriam necessários para levantar os 4500 kg desejados. A pressão foi então regulada por meio da válvula reguladora de pressão da unidade hidráulica e ao atingir 220 bar de pressão, a plataforma começou a levantar. Após esse pico inicial de 220 bar e conforme a plataforma se eleva e os cilindros assumem posições mais verticais a pressão do sistema cai até atingir cerca de 75 bar na posição mais elevada da plataforma. A Figura 38 mostra o elevador em sua posição mais elevada após levantar a camionete durante o primeiro teste.

Figura 38 – Veículo levantado com o novo sistema de comando



Fonte: Autor, 2022.

5.5.2 Tempo de levantamento e descida do equipamento

Cronometrando os tempos de levantamento e descida da plataforma principal encontrou-se valores de aproximadamente 1 minuto para ambos os casos, próximo dos 55 segundos indicados no manual do usuário.

O tempo de levantamento é controlado unicamente pela vazão da bomba, ou seja, quanto maior a vazão mais rápido o equipamento irá subir. Devido a bomba instalada ser do tipo de vazão constante não é possível alterar o tempo de 1 minuto para a subida completa do equipamento.

O tempo de descida por sua vez, pode ser modificado com a abertura ou fechamento de fluxo na válvula de descida encontrada na posição 4 do módulo básico da unidade hidráulica, conforme Figura 29. Optou-se por manter o tempo de 1 minuto para descida por ser um valor próximo ao esperado.

6 ACOMPANHAMENTO DO EQUIPAMENTO

A instalação do equipamento no cliente foi feita em abril de 2022 e desde então, o equipamento foi monitorado pela equipe de desenvolvimento para certificação de que seu funcionamento está conforme o esperado.

Durante este período de 6 meses foi levantado pelo cliente que o tempo de levantamento e descida do equipamento parecia estar acima do que era esperado, demorando demais para realizar tais funcionalidades. A queixa seria a de que anteriormente a realização do *retrofitting* o equipamento seria mais rápido.

Os tempos atuais foram cronometrados novamente em campo e chegou-se aos mesmos valores de 1 minuto em ambos os casos. Para o caso da descida, por solicitação do cliente, a válvula de descida foi aberta ligeiramente e o tempo de descida foi diminuído para 50 segundos. Como observado na seção anterior, não há como alterar a velocidade de subida.

Apesar das queixas do cliente, devido aos valores de tempo de levantamento e descida não terem sido cronometrados anteriormente a realização do *retrofitting*, não foram obtidos dados empíricos para comprovar esta alegação. Ainda, não foi permitida a abertura da unidade hidráulica anterior para verificação da bomba utilizada, de forma que nos resta apenas os dados fornecidos no manual do usuário.

Segundo o manual, a bomba utilizada teria uma vazão de 6,24 L/min, por pouco menor que a bomba nova com 6,65 L/min. Assim, com a velocidade de subida sendo controlada pela vazão da bomba, a bomba nova proporcionaria uma subida mais rápida que a bomba anterior.

Após esta explicação e a alteração do tempo de descida para 50 segundos o cliente deu-se por satisfeito com a situação do equipamento.

Além deste caso, não houve mais nenhuma queixa e o equipamento continua funcionando conforme o esperado.

7 CONCLUSÃO

Apesar das discrepâncias encontradas entre o manual do fabricante e a situação real encontrada no equipamento e a impossibilidade de identificar de forma empírica os parâmetros reais da unidade hidráulica, a melhoria do equipamento foi atingida com êxito por meio da alteração completa da unidade hidráulica.

O parâmetro de pressão máxima obtido real foi 5% maior que aquele projetado, porém, era esperado alguma discrepância devido à obtenção do ângulo de ataque para a determinação da pressão ter sido realizado por meio de medições da posição inicial do cilindro com uma trena, instrumento conhecido por sua baixa precisão, além de a posição para as medições necessárias não ser favorável. No entanto, este valor de 5% acima não afeta o funcionamento do equipamento, visto que é apenas um valor de pico e que logo diminui para pressões menores.

Além da pressão, as velocidades de subida e descida do equipamento também se mostraram discrepantes quando comparadas com o informado no manual e o esperado pelo cliente. Apesar de uma discordância inicial foi alcançado um consenso para a velocidade de subida ligeiramente menor que a esperada e a de descida foi calibrada conforme o solicitado, não se distanciando demais daquela indicada no manual.

Assim, mesmo com os empecilhos citados acima, foi possível a melhoria do equipamento de forma satisfatória, atingindo o resultado esperado e mantendo a segurança da máquina e do operador.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, Glauco José Rodrigues de. **Projeto e construção de uma bomba de pistões axiais tipo swashplate de vazão variável**. 2009. 190 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica na área de Projetos), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá. Guaratinguetá, 2009.

JBOSCH REXROTH. **RE 18321-26**: OD.21.01-X-56, 2016. Disponível em: <https://apps.boschrexroth.com/products/compact-hydraulics/CH-Catalog/pdf/OD2101X56_RE18321-26.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2022.

BOSCH REXROTH. **RE 18323-25**: OD.15-X-18-Y-Z-W, 2021. Disponível em: <https://apps.boschrexroth.com/products/compact-hydraulics/CH-Catalog/pdf/D36_OD15X18YZ_RE18323-25.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2022.

BOSCH REXROTH. **RE 18325-90/06.22**: Coils – Connectors, 2022. Disponível em: <<https://apps.boschrexroth.com/products/compact-hydraulics/CH-Catalog/pdf/RE18325-90.pdf>>. Acesso em: 24 jul. 2022.

BOSCH REXROTH AG. **RP 11 263/08.02**: Bomba de pistões radiais Volume de Deslocamento Constante Tipo R4. Disponível em: <https://www.automaxautomacao.com.br/wp-content/uploads/2018/03/rp_11263.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2022.

BOSCH REXROTH AG. **RP 51099D/06.13**: Unidade Hidráulica Compacta Série 2X Tipo ABOS. Atibaia: Bosch Rexroth AG, 2013. 20 p.

BUDYNAS, Richard; NISBETT, Keith. Elementos de Máquinas de Shigley. 8. ed. Porto Alegre, RS: AMGH, 2011.

CETNAROWSKI, Enrique; GRAMS, Cassiano A. **Retrofit em Máquinas Industriais: estudo de caso**. 2013. 61. f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior em Tecnologia em Mecatrônica Industrial), Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

COSTA, Allan Lessa; PONTES, Caio Soares. **Projeto de Plataforma Pantográfica para Elevação de Veículos**. 2016. 139. f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior em Engenharia Mecânica), Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal Fluminense. Niterói 2016.

EMERSON ELECTRIC CO. AVENTICS™ *Válvula direcional 3/2, Série 579 5790600220*, c2022. Disponível em: <<https://www.emerson.com/pt-br/catalog/aventics-sku-5790600220-pt-br>>. Acesso em: 17 jul. 2022.

ENGE CASS. *Como escolher o elevador automotivo para sua concessionária ou loja de escapamento?*, 2021. Disponível em: <<https://blog.engecass.com.br/como-escolher-o-elevador-automotivo-para-sua-concessionaria-ou-loja-de-escapamento/>>. Acesso em: 12 jun. 2022.

FAZO FERRAMENTAS. *Um pouco de história sobre os elevadores*, c2017. Disponível em: <<https://ferramentasfazo.wixsite.com/fazofacil/single-post/2016/12/05/elevadoresautomotivos>>. Acesso em: 12 jun. 2022.

FIALHO, Arivelto B. **Automação Pneumática**: projetos, dimensionamento e análise de circuitos. 7 ed. São Paulo: Érica, 2011.

FIAT AUTOMÓVEIS S. A. **RAM 2500 Laramie Crew Cab 6.7 Turbodiesel 4x4**:

Ficha Técnica. Disponível em:

<https://www.ram.com.br/content/dam/ram/l2500/ficha-tecnica/ficha_tecnica_ram_2500.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2022.

HM INDÚSTRIA E COMÉRCIO. *Mesa de commando*, c2016. Disponível em:

<<http://www.hmindustria.com.br/produto/mesa-de-comando>>. Acesso em: 17 jul. 2022.

ICARROS. *Ficha Técnica Dodge Ram 2500 CD 6.7 4X4 Laramie 2021*, c2022.

Disponível em: <<https://www.icarros.com.br/dodge/ram-pickup/ficha-tecnica>>.

Acesso em: 16 jul. 2022.

MANUAL DO USUÁRIO: Y45 V1.0 201603. 37p.

MOREIRA, Ilo da Silva. *Sistemas hidráulicos industriais*. 2. ed. São Paulo, SENAI-SP Editora, 2012.

NORTON, Robert L. *Projeto de máquinas: Uma abordagem integrada*. 4. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2013.

PARKER HANNIFIN CORPORATION. **Tecnologia Hidráulica Industrial**: apostila M2001-2 BR. Jacareí, 2001. 232 p.

PARKER HANNIFIN CORPORATION. **Tecnologia Pneumática Industrial**: apostila M1001-1 BR. Jacareí, 2001. 188 p.

RETROFITTING. *In: Cambridge Dictionary*. Cambridge: *Cambridge University Press*, 2022. Disponível em:

<<https://dictionary.cambridge.org/pt/dicionario/ingles/retrofitting>>. Acesso em: 16 jun. 2022.

SIMÕES, Roberto Mac Intyer. **Sistemas hidráulicos e pneumáticos**. Londrina : Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2016. 264 p.

SOLUTION AUTOMATION. *O que é retrofit (ou retrofitting)?*, c2021. Disponível em:

< <https://solutionautomation.com.br/mkt/retrofit.html>>. Acesso em: 16 jun. 2022.

WEG. **Guia de especificação**: motores elétricos. Jaraguá do Sul, 2021. 68 p.