

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
Campus DIVINÓPOLIS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA

Rafael Alexander Moreira Fernandes Silveira

PROJETO DE UM SISTEMA HIDRÁULICO AUTOMÁTICO DE MOVIMENTO VERTICAL DE
VEÍCULOS



Divinópolis
2018

Rafael Alexander Moreira Fernandes Silveira

PROJETO DE UM SISTEMA HIDRÁULICO AUTOMÁTICO DE MOVIMENTO VERTICAL DE VEÍCULOS

Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Colegiado de Graduação em Engenharia Mecatrônica como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Engenheiro Mecatrônico.

Áreas de Integração: Mecânica, Automação e Eletrônica.

Orientador: Prof. Me. Juliano de Barros e Veloso e Lima

Coorientador: Prof. Dr. Christian Gonçalves Herrera



Divinópolis
2018

Rafael Alexander Moreira Fernandes Silveira

PROJETO DE UM SISTEMA HIDRÁULICO AUTOMÁTICO DE MOVIMENTO VERTICAL DE
VEÍCULOS

Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso
apresentada ao Colegiado de Graduação em Engenharia
Mecatrônica como parte dos requisitos exigidos
para a obtenção do título de Engenheiro Mecatrônico.

Áreas de Integração: Mecânica, Automação e Eletrônica.

Comissão Avaliadora:

Prof. Me. Juliano de Barros e Veloso e Lima
CEFET-MG *CAMPUS* Divinópolis

Prof. Dr. Emerson de Sousa Costa
CEFET-MG *CAMPUS* Divinópolis

Prof. Dr. Wagner Custódio de Oliveira
CEFET-MG *CAMPUS* Divinópolis

Divinópolis
2018

DEDICO ESTE TRABALHO A DEUS,
AOS MEUS PAIS NEUSA E EDMAR,
PELO APOIO E CONFIANÇA, AO
MEU IRMÃO DE CORAÇÃO MARCUS
E À SUSAN, POR UM AMOR INCON-
DICIAL.

Agradecimentos

Agradeço,

primeiramente à Deus, e aos Santos que intercederam por mim à Ele, pelo milagre que me foi concedido permitindo chegar onde eu cheguei.

Aos meus pais, Neusa e Edmar, ao meu padastro, Moacyr, a minha madrasta, Flávia, ao meu avô, Edmundo, e ao amor da minha vida, Susan, se não fosse por eles não teria conseguido caminhar tão longe.

Aos colegas que me ajudaram tanto nesse curso: Lucas Aguiar, Mário, Marcus, Leonardo, Marcony e Alan, pela paciência e aprendizado que tive com eles.

Ao pessoal da Aerotrônica, principalmente ao Mateus Meireles, que me permitiu usar recursos avançados que sozinho nunca teria acesso.

Aos professores que contribuíram com minha formação, em especial aos professores: Emerson e Juliano, pelas palavras certas nas horas certas.

Aos membros da banca examinadora os comentários, sugestões e contribuições, que ajudaram a melhorar a qualidade e a redação final do trabalho.

A todos que de alguma forma contribuíram com o meu progresso como aluno e como ser.

Eu sou a luz do mundo; aquele que me segue, não
andar em trevas, mas terá a luz da vida.

Jesus Cristo

Resumo

Este trabalho teve como objetivo de projetar um dispositivo que movimente um veículo verticalmente em situações que a retirada da roda é necessária. Atualmente o processo é feito manualmente através de um mecanismo de elevação, conhecido como macaco. Tal processo envolve riscos, como o de uma má utilização, que pode causar uma descida abrupta do carro, que além de danos estruturais, pode causar algum acidente ou ferimento a quem está utilizando o acessório. Outro problema existente é em relação à habilidade necessária para que o macaco seja corretamente utilizado, normalmente sua montagem requer um esforço físico, pois fica em posição não ergonômica. Seu acionamento é relativamente simples, porém seu posicionamento no monobloco nem sempre é intuitivo como deveria ser, o que causa uma dificuldade em seu manuseio por pessoas com pouca experiência em utilizar tal ferramental. O que também pode ser considerado um problema são as diversas maneiras que se tem de construir esse dispositivo, assim cada montadora usa certo tipo de macaco que melhor se adapte ao seu produto, o que pode dificultar seu manejo em horas de emergência caso o usuário esteja acostumado com outra característica de acionamento. Dessa forma, o propósito deste trabalho foi projetar um equipamento que possa realizar a tarefa de modo seguro, rápido, com o mínimo de esforço físico e agregue valor aos automóveis que o utilizarem. Isto foi feito de maneira metódica, partindo de uma revisão bibliográfica para relembrar conhecimentos adquiridos ao longo do curso e agregar novos. A partir de tais conhecimentos, se deu a próxima etapa, a concepção do equipamento, onde foi definido a maneira que o dispositivo iria trabalhar e onde o mesmo seria alocado nos veículos. Com isso feito, foi possível continuar o projeto, fazendo o dimensionamento das peças e foi feito ainda a validação dos resultados através da simulação computacional por MEF (Métodos Elementos Finitos). Com a parte mecânica terminada, os esforços foram concentrados na parte eletrônica, onde foi feito um estudo de como obter os dados dos sensores já existentes nos veículos de maneira que possa ser utilizado no projeto e também foram dimensionados os atuadores e unidades de processamento necessários. Por fim, o último passo foi o planejamento da automação, que integra todos os subsistemas, e tem como função: alimentação, controle e proteção dos mesmos. Ao final, espera-se um projeto de um mecanismo que facilite a realização do movimento vertical de veículos, além de prevenir riscos e que conte com um

preço adequado para o mercado.

Palavras-chave: Automação; Macaco Automático; Movimento Vertical; Elementos Finitos;

Abstract

This work aimed to design a device that moves a vehicle vertically in situations that wheel removal is necessary. Currently the process is done manually through a lifting mechanism, known as a jack. Such a process involves risks, such as a misuse, which can cause an abrupt descent of the car, which in addition to structural damage, can cause some accident or injury to those who are using the accessory. Another problem is related to the ability of the monkey to be correctly used, normally its assembly requires a physical effort, since it is in a non-ergonomic position. Its activation is relatively simple, but its position in the monobloc is not always intuitive as it should be, which causes a difficulty in its handling by people with little experience in using such tooling. What can also be considered a problem are the different ways that this device has to be constructed, so each assembler uses a certain type of jack that best suits his product, which can make it difficult to handle in emergency hours if the user is accustomed to another drive characteristic. Thus, the purpose of this work was to design an equipment that can perform the task in a safe, fast, with minimum physical effort and add value to the cars that use it. This was done in a methodical way, starting from a bibliographical review to recall knowledge acquired during the course and to add new ones. From this knowledge, the next step was the design of the equipment, which defined the way the device would work and where it would be allocated in vehicles. With this done, it was possible to continue the project, making the dimensioning of the pieces and also the validation of the results through the computational simulation by FEM (Finite Element Methods). With the mechanical part finished, the efforts were concentrated in the electronic part, where a study was made of how to obtain the sensors data already existing in the vehicles in a way that could be used in the design and also the required actuators and processing units were dimensioned. Finally, the last step was automation planning, which integrates all subsystems, and has as its function: power, control and protection of the same. At the end, it is expected a project of a mechanism that facilitates the realization of the vertical movement of vehicles, besides preventing risks and that counts with a suitable price for the market.

Key-words: Automation; Automatic Jack; Vertical Motion; Finite Elements.

Sumário

Lista de Figuras	vii
Lista de Acrônimos e Notação	viii
1 Introdução	1
1.1 Definição do Problema	2
1.2 Motivação	2
1.3 Objetivos do Trabalho	2
1.3.1 Objetivo Geral	2
1.3.2 Objetivos Específicos	2
1.4 Estado da arte	3
2 Revisão Bibliográfica	4
2.1 Revisão de Literatura	4
2.2 Metodologia	5
2.3 Fundamentação Teórica	6
2.3.1 Mecânica estrutural	6
2.3.1.1 Compressão	10
2.3.1.2 Flambagem	10
2.3.2 Hidráulica	12
2.3.2.1 Fluido	12
2.3.2.2 Dimensionamento de tubulação hidráulica	12
2.3.3 Pressão	14
2.3.4 Bombas Hidráulicas	15
2.3.4.1 Bomba automotiva	17
2.3.4.1.1 Funcionamento	22
2.3.5 Sensores	25
2.3.5.1 Sensibilidade	26
2.3.5.2 Linearidade	26
2.3.5.3 Precisão	27
2.3.5.4 Faixa de medição	27
2.3.5.5 Tipos de sensores	27
2.3.6 Microcontrolador	30
2.3.6.1 CPU	30
2.3.6.2 Memórias	31
2.3.6.3 Conversor Analógico-Digital	31

2.3.6.4	Entradas e Saídas	31
2.3.7	Motores elétricos	31
2.3.8	Transistores bipolares de junção	33
2.3.9	Softwares	35
2.3.9.1	Ansys	35
2.3.9.2	Altair	36
2.3.9.3	SolidWorks	37
2.3.9.4	Proteus	38
2.3.9.5	FluidSIM	39
3	Desenvolvimento	41
3.1	Projeto geral	41
3.2	Estrutura Mecânica	42
3.2.1	Cargas	42
3.2.1.1	Cilindros atuadores	45
3.2.1.2	Normas de segurança	47
3.2.2	Bomba	49
3.2.3	Reservatório	50
3.2.4	Área mínima útil dos cilindros	50
3.2.5	Mangueiras	50
3.2.6	Óleo hidráulico	51
3.2.7	Número de Reynolds	51
3.2.8	Válvulas	51
3.2.8.1	Válvula de alívio	51
3.2.9	Estrutura de fixação	52
3.2.9.1	Dimensões dos suportes	52
3.2.9.2	Fixação	61
3.2.9.3	Altura de elevação	61
3.3	Parte Eletrônica	63
3.3.1	Microcontrolador	63
3.3.1.1	Lógica do microcontrolador	63
3.3.2	Sensor de velocidade	64
3.3.2.1	Transistores	65
3.3.3	Motor de Corrente contínua	66
3.3.4	Conexões	67
4	Simulações e Resultados	68
4.1	Simulações Mecânicas	68
4.2	Simulações Eletrônicas	74
4.3	Simulações Hidráulicas	78
5	Considerações Finais	80
5.1	Propostas de continuidade	80
A	Código	82
B	Complemento	84
	Referências	86

Lista de Figuras

2.1	Forças - Disponível em: [1]	6
2.2	Seções e forças [1]	7
2.3	Tipos de carga resultante [1]	8
2.4	Área dividida [1]	9
2.5	Flambagem [2]	11
2.6	Deformação de um sólido [3]	12
2.7	Elevação do automóvel [3]	15
2.8	Carga líquida H [3]	16
2.9	Bomba direção hidráulica Suzuki Vitara [4]	18
2.10	Bomba de palheta [5]	18
2.11	Bomba palheta [6]	20
2.12	Bomba de calços [7]	21
2.13	Bomba de roletes [8]	21
2.14	Bomba de engrenagem [9]	22
2.15	Válvula de alívio [10]	23
2.16	Sensor analógico [11]	25
2.17	Sensor digital [11]	26
2.18	Exemplo função sensor magnético [12]	27
2.19	Ponte de Wheatstone [13]	28
2.20	Ponte de Wheatstone desbalanceada por um campo magnético [13]	29
2.21	Efeito Hall [13]	30
2.22	Funcionamento motores CC [14]	33
2.23	Transistores PNP e NPN [15]	33
2.24	Regiões de trabalho dos transistores [15]	34
2.25	Área de trabalho do Ansys - Fonte: Próprio autor.	36
2.26	Área de trabalho do Inspire - Disponível em: [16]	37
2.27	Área de trabalho do SolidWorks - Fonte: Próprio autor.	38
2.28	Área de trabalho do Proteus - Fonte: Próprio autor.	39
2.29	Área de trabalho do FluidSIM - Fonte: Próprio autor.	40
3.1	BMW série 3, E36 [17]	43
3.2	BMW série 3, E36. Dimensão entre eixos. [18]	43
3.3	BMW série 3, E36. Distância entre o cilindro e o centro da roda [18]	44
3.4	Cilindro atuador [19]	47
3.5	Cilindro atuador 3D. Fonte: Próprio autor	47
3.6	Coefficiente de majoração da Norma 8400 [20]	48

3.7	Coeficiente de dinâmico da Norma 8400 [20]	48
3.8	Bomba do sistema [21]	49
3.9	Mangueira de pressão [22]	51
3.10	Válvula hidráulica [24]	52
3.11	Válvula de alívio [25]	52
3.12	Esboço da forma para o suporte superior do cilindro. Fonte: Próprio autor.	53
3.13	Suporte superior para o cilindro. Fonte: Próprio autor.	53
3.14	Suporte inferior para o cilindro. Fonte: Próprio autor.	54
3.15	Espessura da base do suporte superior. Fonte: Próprio autor.	55
3.16	Dimensões da base do suporte superior. Fonte: Próprio autor.	56
3.17	Altura do suporte superior. Fonte: Próprio autor.	56
3.18	Espessura da parte superior do suporte. Fonte: Próprio autor.	57
3.19	Furo para encaixe rápido do suporte superior. Fonte: Próprio autor.	58
3.20	Espessura da base do suporte inferior. Fonte: Próprio autor.	59
3.21	Dimensões da base do suporte inferior. Fonte: Próprio autor.	59
3.22	Altura do suporte inferior. Fonte: Próprio autor.	60
3.23	Espessura da parte superior do suporte inferior. Fonte: Próprio autor.	60
3.24	Furo para passagem da haste. Fonte: Próprio autor.	61
3.25	Estrutura em perspectiva. Fonte: Próprio autor.	62
3.26	Estrutura vista lateral. Fonte: Próprio autor.	62
3.27	Arduino UNO [26]	63
3.28	Sensor de velocidade. Fonte: MTE-Thomson	64
3.29	Arranjo de funcionamento do sensor. Fonte: Próprio autor	65
3.30	Motor de acionamento da bomba [27]	66
4.1	Modelo do cilindro aplicado do Ansys - Fonte: Próprio autor.	68
4.2	Carga aplicada no cilindro através do Ansys - Fonte: Próprio autor.	69
4.3	Deformação no cilindro através do Ansys - Fonte: Próprio autor.	70
4.4	Tensões no cilindro através do Ansys - Fonte: Próprio autor.	71
4.5	Carga aplicada no suporte através do Ansys - Fonte: Próprio autor.	72
4.6	Tensões no suporte através do Ansys - Fonte: Próprio autor.	73
4.7	Deformações no suporte através do Ansys - Fonte: Próprio autor.	74
4.8	Simulação no Proteus - Fonte: Próprio autor.	75
4.9	Simulação no Proteus - Fonte: Próprio autor.	75
4.10	Simulação no Proteus do sensor, carro parado - Fonte: Próprio autor.	76
4.11	Simulação no Proteus, carro em movimento - Fonte: Próprio autor.	77
4.12	Circuito no FluidSIM - Fonte: Próprio autor.	78
4.13	Simulação no FluidSIM - Fonte: Próprio autor.	79
A.1	Código implementado no Arduino - Fonte: Próprio autor	82
A.2	Código implementado no Arduino, continuação - Fonte: Próprio autor	83
B.1	Diâmetros de tubos comerciais - Fonte: ERMETO	84
B.2	Diâmetros de tubos comerciais (continuação) - Fonte: ERMETO	85

Lista de Acrônimos e Notação

m	Metros - unidade de comprimento
m^2	Metros quadrados - unidade de área
cm	Centímetros - unidade de comprimento
cm^2	Centímetros quadrados - unidade de área
mm	Milímetros - unidade de comprimento
mm^2	Milímetros quadrados - unidade de área
Pa	Pascal - unidade de pressão
MPa	Megapascal - 10^6 vezes a unidade Pascal
GPa	Gigapascal - 10^9 vezes a unidade Pascal
ΔF	Força finita muito pequena
ΔF_x	Componente em x da força ΔF
ΔF_y	Componente em y da força ΔF
ΔF_z	Componente em z da força ΔF
ΔA	Área muito pequena
π	Constante matemática correspondente a 3, 14159265358979323846...
N	Newtons - unidade de força
KN	Quilonewtons - Mil vezes a unidade newton
A	Área
F	Força
P	Pressão
\dot{V}	Derivada do volume
\dot{m}	Derivada da massa
ρ	Massa específica
\dot{W}	Derivada do trabalho
H	Carga líquida
V	Volts - unidade de tensão
g	Símbolo da aceleração da gravidade
$\frac{da}{dt}$	Derivada de 'a' em relação ao tempo
$\frac{cm}{s}$	Centímetros por segundo
$\sum MA$	Somatório dos Momentos em A

Introdução

O problema do içamento e declínio de veículos acompanha os reparadores automotivos e condutores de automóveis até os dias atuais. O mesmo se trata de um processo relativamente singelo, que requer poucas ferramentas, ele é feito de forma manual utilizando do mesmo ferramental que no passado, o macaco hidráulico. No entanto, o procedimento requer habilidades de manuseio e exige esforço físico por parte do operador, por exemplo, no caso do reparador ele, muitas das vezes, é impelido a trabalhar com as mãos acima do ombro, com costas flexionadas ou torcidas, além de outras posturas, o que pode causar-lhe fadigas, dores ou até mesmo afastamento profissional [28]. Também nota-se que, em casos de emergência, nos quais a retirada das rodas se faz necessária, a complicação postural se repete e torna-se um fator limitante para pessoas mais idosas, gestantes ou com disfunções na coluna. Esse processo se feito de maneira incorreta, pode causar danos a quem o está fazendo, assim como prejuízos as estruturas do carro, porque caso o usuário não fixe adequadamente o macaco no solo, ou tente fixá-lo, por falta de experiência, em uma superfície desnivelada, pode ocasionar deslizamentos e, por consequência, gerar a queda do carro, danificando o mesmo e pior, podendo causar uma lesão a quem está realizando o serviço.

Com a evolução dos processos e dos recursos de automação, surgem novos mecanismos que visam conseguir métodos cada vez mais rápidos e produtivos de se realizar uma determinada tarefa e com isso, muitas das vezes, atrela-se melhorias na segurança. Logo, o processo de levantamento de carros, apresenta grande potencial de automação, visto que pode gerar melhorias em diversos aspectos, como, por exemplo, melhor praticidade para realizar tal tarefa, ao ser feita automaticamente elimina o posicionamento manual que gera problemas os ergonômicos. Além disso, retira necessidade do esforço físico para acionar a ferramenta de elevação, tornando assim o processo mais rápido, retirando o fator limitante da velocidade que é a habilidade manual de quem realiza a função. A questão da segurança também é alterada positivamente, pois ao se realizar o processo de uma

maneira mais vertiginosa e eficaz diminui-se o tempo que o condutor fica exposto sozinho em uma rua ou rodovia, por exemplo, em casos emergenciais.

Este trabalho integrou grandes áreas da engenharia mecatrônica, que são: Automação utilizada na parte de atuação dos mecanismos, mecânica que é englobada no projeto da estrutura e eletrônica na interface com o usuário.

1.1 Definição do Problema

Este trabalho aborda as limitações nos modelos disponíveis de macacos hidráulicos no que se refere a postura exigida do usuário, aos riscos de queda e as habilidades demandadas.

1.2 Motivação

A principal motivação para a realização desse trabalho é a identificação das limitações no processo de elevação e declínio do veículo e, dessa maneira, projetar um mecanismo que consiga eliminar tais dificuldades.

1.3 Objetivos do Trabalho

1.3.1 Objetivo Geral

Projetar um mecanismo de elevação e declinação automatizado para a troca de pneus de veículos automotivos.

1.3.2 Objetivos Específicos

São objetivos específicos deste projeto:

- A partir de estudos sobre mecânica realizados, projetar a estrutura do dispositivo;
- Projetar um sistema hidráulico de movimentação vertical;
- Projetar um circuito de acionamento para os sensores e atuadores;
- Projetar o sistema agregando os objetivos anteriores;
- Projetar a interface homem-máquina;
- Melhorar a segurança da tarefa;
- Eliminar condições que causem problemas físicos ao usuário.

1.4 Estado da arte

Atualmente, não existem teses e dissertações desenvolvidos em torno do tema apresentado por este trabalho. As pesquisas realizada sobre esse assunto retornam resultados vazios, demonstrando que tal âmbito não foi percorrido em meio acadêmico.

Entretanto existem alguns equipamentos que são desenvolvidos de forma mais simples, funcionando através de adaptações em elementos já existentes. Como, por exemplo, o equipamento criado por Darek, um polonês, que adaptou um mecanismo elétrico de ativação em um macaco hidráulico convencional [29]. Existem ainda alguns produtos, como o criado pela *DINSEN* que é um macaco de 1 tonelada acionado eletricamente. Diferente do citado anteriormente, este não se trata de uma adaptação, já é vendido pronto para uso desta maneira [30].

Contudo, tais produtos são diferentes do que é proposto por este trabalho, pois atuam de maneira externa ao veículo e não se trata de um sistema embarcado ao carro, não trazendo, assim, as novas qualidades e evoluções propostas por este projeto.

Revisão Bibliográfica

2.1 Revisão de Literatura

A base de funcionamento de veículos, desde seus tempos primordiais, é dividida em três partes: uma fonte de transformar trabalho em movimento, como primordialmente a força animal e depois, com a chegada do automóvel, os motores a combustão, um chassi ou monobloco onde se dá a base estrutural do automóvel e por fim, a utilização de algo que possa reduzir a fricção total de arrasto entre dois ou mais pontos de uma superfície. Esta última parte é feita, a partir do uso de uma das seis máquinas simples, a roda. Contudo, o projeto tanto da carroça anteriormente, quanto do automóvel mais adiante está sujeito a falhas, e uma delas se dá justamente na roda, e isso deu origem a um problema, como trocar uma das rodas de algo tão pesado? Para resolver esse problema veículos passaram a ter kits para situações emergenciais. Dentre os equipamentos presentes nestes kits, o macaco hidráulico portátil foi criado em 1851 [31], com o objetivo de permitir que seu operador erga objetos corpulentos, proporcionando assim a troca de componentes que estão na parte debaixo dos meios de transporte. Com o passar do tempo, para melhorar aspectos de condução e conforto, o automóvel apropriou-se de um artefato circular feito de látex inflado e circundado com uma lona, que envolvendo a roda, melhorava as condições do transporte. Esse foi o primeiro pneu [32]. Isso gerou uma evolução, todavia tal objeto está sujeito se esvaziar, por diversas maneiras, entre elas, estradas com irregularidades, que são muito frequentes no solo brasileiro. Isso faz o pneu perder as características que o mesmo proporciona quando está cheio, fazendo ainda mais necessário a utilização de macacos para substituição das rodas quando o mesmo se esvazia.

Durante o século XX, duas patentes foram registradas visando a automatização do movimento vertical dos veículos nas diversas situações que isso se torna necessário. Uma delas é feita por Clarence R Haight [33], em 1948, que se dá em torno de um mecanismo hidráulico que realiza esse movimento. Ele, no entanto, se concentra na parte mecânica e fluídica, apenas citando que é necessário que seja feita uma interface homem-máquina.

A outra se deu em 1968, quando Elmer K Hansen [34] também registra uma patente com os mesmos objetivos de Haight, também com pequenas diferenças na atuação, mas com os mesmos princípios de funcionamento e, novamente, sem maiores detalhes da estrutura como um todo, mantendo o foco somente na mecânica.

Com o passar dos anos, no século XXI, mais patentes foram criadas, citando dessa vez, que precisa-se de agregar outras áreas além da mecânica para fazer o sistema funcionar, como, por exemplo, o proposto na invenção de Daniel G Rodriguez, em 2006 [35]. O inventor agora cria um sistema que agrega partes elétricas com mecânicas, se tornando o mais próximo do projeto que este trabalho aborda.

2.2 Metodologia

Inicialmente, como um primeiro passo, foi realizada uma revisão bibliográfica acerca das tecnologias envolvidas, abordando o processo como um todo, pesquisando sobre a parte mecânica, que se faz importante em duas parcelas: uma para o segmento de alocação estrutural, sendo útil para o estudo de como pode ser o comportamento de um corpo esbelto e comprimido e outra na parte de hidráulica, para o acionamento do dispositivo. Esta seção começou-se na mecânica das estruturas, conhecida como resistência dos materiais e com o fim desta passou-se para a mecânica dos fluidos, para melhor elucidar a teoria hidráulica.

Já na eletrônica se faz necessário o conhecimento para aplicar técnicas de leitura e interpretação de sinais e comandos de ações a atuadores de maneira que possam intervir no meio que está sendo trabalhado, onde foi estudado e averiguado o funcionamento de sensores e microcontroladores e alguns outros dispositivos.

A partir dos conhecimentos adquiridos anteriormente, foi feito um esboço geral do projeto. Começou-se pelo dimensionamento dos cilindros, descobrindo assim a força necessária para se erguer um carro com um coeficiente de segurança aplicado, de modo que este projeto possa absorver variáveis como, carro cheio, nível do tanque de combustível, entre outras. Aqui, decidiu-se por encontrar um cilindro comercial que atendesse as especificações, ao invés de construir um novo elemento. Também coube a escolha do local onde o dispositivo hidráulico será alocado no veículo.

Com o dimensionamento feito, fez desenhos e simulações em *softwares* definidos como SolidWorks, Ansys e Proteus e paralelamente a isso foi feita a escolha dos componentes necessários para a continuidade do projeto, de acordo com as especificações definidas.

2.3 Fundamentação Teórica

2.3.1 Mecânica estrutural

Resistência dos materiais é o campo da mecânica que estuda justamente as interações entre as cargas externas e internas. É dentro deste tópico que são discorridos os cálculos das deformações de um corpo. [1]

No projeto de qualquer máquina ou equipamento se faz necessário usar o princípio da estática para descobrir quais forças que agem sobre o corpo e até mesmo em seu interior. Para este projeto se faz necessário conhecer duas ações de grande relevância em qualquer projeto mecânico, que são os conceitos de compressão e flambagem. Com o objetivo de entender bem qualquer um destes dois fundamentos da resistência dos materiais se faz necessário revisar alguns dos princípios essenciais. Eles serão apresentados nos tópicos a seguir.

- Cargas externas:

São as forças externas a que um corpo está submetido. Qualquer força pode ser compreendida como: força de superfície e força de corpo. A primeira compreende aquelas que são causadas pelo contato direto de um corpo com um outro. Já a última é entendida como as quais geram resultantes sem que haja contato físico direto, como, por exemplo, a força da gravidade da Terra atuando sobre um objeto. [1]

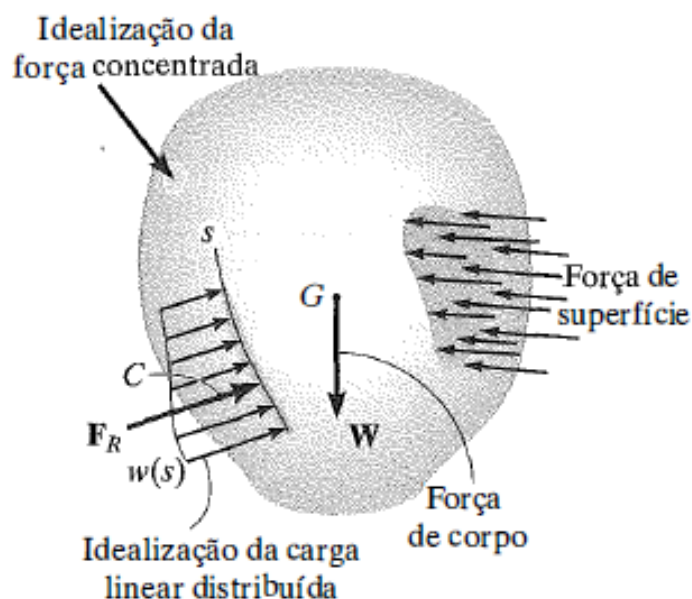


Figura 2.1: Forças - Disponível em: [1]

- Equilíbrio:

Para um corpo estar em equilíbrio todas as forças que agem sobre ele devem estar equilibradas, de maneira que impeçam a traslação ou movimento acelerado do corpo, e qualquer que seja o plano de trabalho analisado. Isso também inclui forças angulares.

- Cargas resultantes internas:

Aqui se dá uma das mais importantes aplicações da estática, que é determinar a força e os momentos resultantes que agem no interior de um corpo. A partir disso é que se determina se o corpo mantém sua integridade quando está submetido a cargas externas. Neste tópico são explicitados os quatro tipos de cargas resultantes mais conhecidas. Para estudá-las se faz necessário a repartição do corpo em seções, como mostra a Figura 2.2.

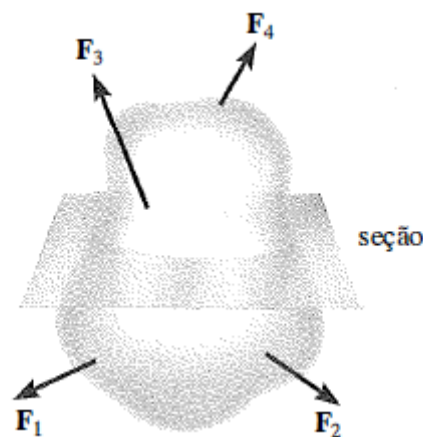


Figura 2.2: Seções e forças [1]

Os tipos de carga são demonstradas na Figura 2.3 e são explicadas a seguir:

1. Força Normal, N:

Força que age perpendicularmente a área e se desenvolve sempre que as cargas externas tendem a puxar ou empurrar o corpo.

2. Força de cisalhamento, V:

Força que age tendendo a provocar um deslizamento de um dos segmentos do corpo sobre o outro.

3. Momento de torção ou torque, T:

Efeito desenvolvido quando as cargas tendem a fazer um segmento do corpo torcer em relação ao outro.

4. Momento fletor, M :

Causado pelas cargas externas que tendem a dobrar o corpo em torno de um eixo que se encontra o plano da área.

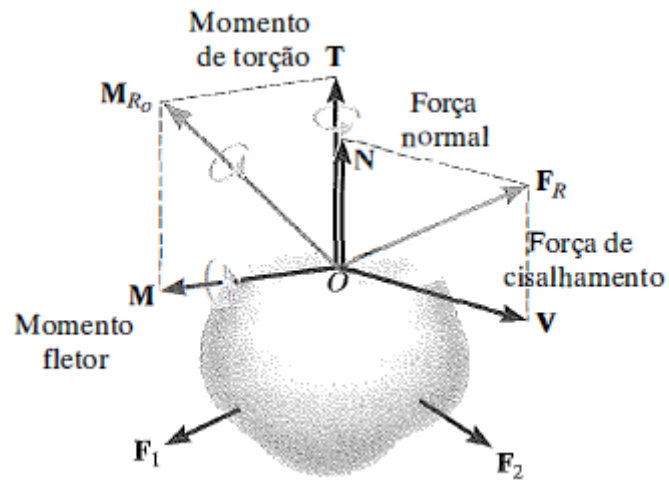


Figura 2.3: Tipos de carga resultante [1]

- Tensão

Como já dito nos tópicos anteriores, a força e o momento que agem em um ponto específico da área seccionada de um corpo representam os efeitos resultantes da distribuição de forças sobre essa área. Para maior esclarecimento sobre este tópico se faz necessário o entendimento do conceito de tensão. Considerando que a área do corpo está subdividida em pequenas áreas, como mostra a Figura 2.4.

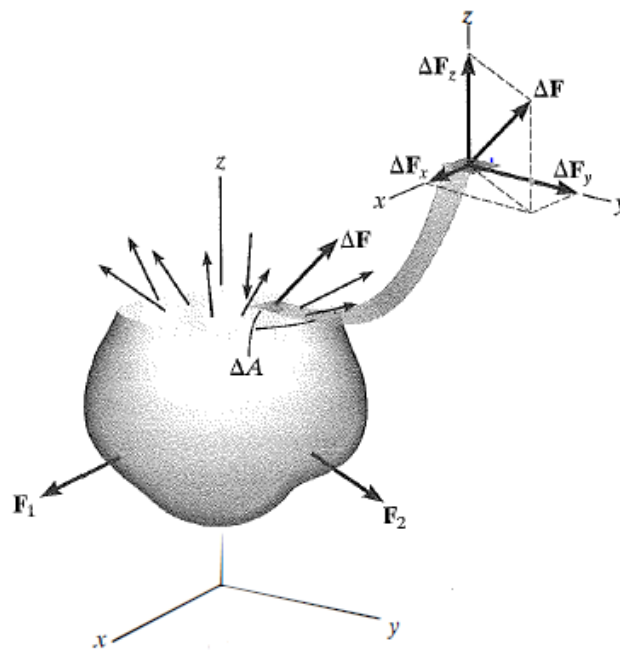


Figura 2.4: Área dividida [1]

Considere o material contínuo, ou seja, sem que haja espaços vazios em sua formação. Então pode-se fazer a subdivisão da sua área, conforme mostrado na Figura 2.4. E que o corpo é coeso, que significa que o mesmo é interligado sem nenhum tipo de falha. Uma força típica finita ΔF , porém muito pequena age sobre uma área ΔA e se associam. Essa força é subdividida em três componentes ΔF_x , ΔF_y e ΔF_z tangentes e normais a área. A medida que a área vai ficando cada vez menor e, assim, tendendo a zero a força segue pelo mesmo caminho e também aproxima-se de zero. Entretanto, em geral, o quociente entre a força e a área se inclinará a um limite finito. Este cociente é denominado tensão, ou seja, é o que descreve a intensidade de força interna sobre um plano específico que passa por um ponto.

Com tais conceitos definidos, pode-se partir então para os fundamentos anteriormente destacados como de grande importância para o projeto.

2.3.1.1 Compressão

A compressão é uma intensidade da força, ou força por unidade de área, que age perpendicularmente à ΔA , conforme mostrado na Figura 2.4. Nessa figura, também é possível observar que a componente ΔF_z é normal a área, então, tem-se que:

$$\sigma_z = \lim_{A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_z}{\Delta A} \quad (2.1)$$

Ela é um caso especial da tensão normal, σ , que age quando ela tenta comprimir o elemento ΔA . Sua força contrária, conhecida como força de tração, é dada dentro do mesmo meio, porém tende a tracionar o elemento de área.

2.3.1.2 Flambagem

As estruturas mecânicas estão sujeitas à diversas forças, ações, como dito anteriormente. Cada disposição deve ser construída afim de que suporte os esforços a que serão submetidas afim de que não sofram deformações e não cheguem ao extremo, que é o estado de limite último, chamado de ruptura. Entretanto existem problemas e nem tudo resiste como deveria, e um destes problemas pode se destacar o caso da flambagem, que é um colapso estrutural. Esta não depende da tensão aplicada, mas sim da variação de um estado estável para um instável. [1]

O que acontece é uma deflexão lateral devido a instabilidade na estrutura, elas ocorrem em mecanismos comprimidos e esbeltos, como pode ser visto na Figura 2.5.

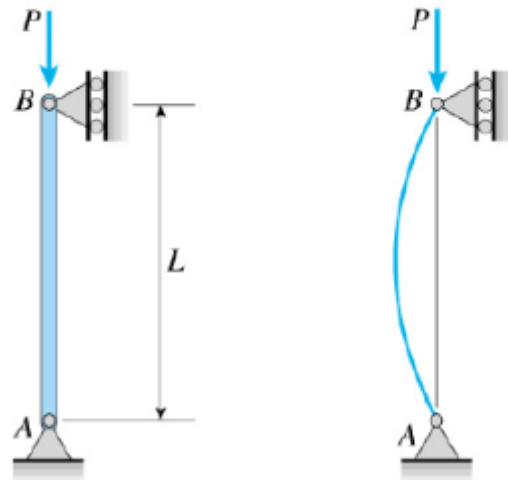


Figura 2.5: Flambagem [2]

Para se determinar qual a carga crítica que é necessária para que se ocorra a flambagem se faz uso da chamada Fórmula de Euler, em homenagem ao matemático Leonard Euler (1707-1783). Ela mostra que a carga crítica (P_r) é dada pela relação demonstrada na Equação 2.2.

$$P_r = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (2.2)$$

Onde,

- P_r = Carga crítica;
- E = Módulo de elasticidade;
- I = Momento de inércia;
- L = Comprimento efetivo.

Esta equação é necessária para verificar se a carga que o pistão terá de erguer não entrará em colapso, ou seja, verificar se a mesma não irá flambar. Entretanto para o caso deste trabalho as forças não se encontram iguais na definição que foi utilizada para formulação da equação. No caso do veículo, uma das extremidades está engastada no monobloco e para casos deste tipo é necessária a alteração do comprimento efetivo de L para $0,7 L$. Assim, a Equação 2.2 se torna:

$$P_r = \frac{\pi^2 EI}{0,49L^2} \quad (2.3)$$

2.3.2 Hidráulica

A mecânica é a ciência mais antiga e trata de corpos tanto estacionários como em movimento, sob a influência de forças. Para entender como um objeto relativamente pequeno pode erguer grandes cargas, precisa-se adentrar nos conceitos da subcategoria desta área, chamada mecânica dos fluidos. É neste tópico onde se trata do comportamento dos corpos, tanto em repouso quanto em movimento e da interação entre eles e também no que consiste a ação de tais elementos com os sólidos. A mecânica dos fluidos também é dividida em várias categorias. O estudo do movimentos dos fluidos que podem ser chamados de incompressíveis (tal como a água e gases de baixa velocidade) é geralmente denominada hidrodinâmica, que ainda é subdividida, e adentra-se no que é conhecido como hidráulica, palavra que vem do grego (*hydor*, água e *aulos*, tubos) e tem como significado "condução de água". É aqui onde se encontra o conceito que é de vital necessidade para o projeto: a pressão. [3].

2.3.2.1 Fluido

Os estados da matéria mais comuns são três: sólido, líquido e gasoso. Uma substância em estado líquido ou gasoso é denominado de fluido. O que diferencia o sólido de um fluido é a capacidade de resistir a tensão de cisalhamento que tende a mudar a sua forma. Enquanto o sólido resiste a tensão se deformando como mostra a Imagem 2.6, o fluido, por sua vez, deforma-se continuamente sob a influência dessa força, não importando se for muito pequena.



Figura 2.6: Deformação de um sólido [3]

2.3.2.2 Dimensionamento de tubulação hidráulica

Como a força motriz do trabalho é dado pela hidráulica, se faz necessário o dimensionamento das tubulações que levam o fluido, neste caso o óleo hidráulico, da bomba para os cilindros atuadores. Para a realização destes cálculos considera-se, principalmente, a

vazão do sistema, a pressão que será aplicada e a velocidade do fluido [36]. Para o projeto de sistemas óleo-hidráulicos é importante seguir algumas recomendações como:

- Manter o escoamento do fluido laminar para diminuir a perda de carga e o aquecimento das tubulações;
- Manter uma vazão de 20 a 200 litros por minuto;
- Não sofrer variações bruscas de temperatura.

Para realizar o cálculo do dimensionamento do diâmetro interno dos tubos, é necessário saber a vazão com que vai se trabalhar e a velocidade do fluido em questão e, assim, utiliza-se a seguinte Equação:

$$d_t = \sqrt{\frac{Q}{0,015 \times \pi \times v}} \quad (2.4)$$

Onde,

- Q é a vazão do sistema em litros por minuto;
- v é a velocidade do fluido.

A velocidade do fluido, por sua vez, depende apenas da pressão de trabalho em bar, como pode ser visto na Equação 2.5

$$v = 121,65 \times P^{\frac{1}{3,3}} \quad (2.5)$$

Onde,

- P é a pressão do sistema em bar.

A velocidade retorna em medidas de centímetros por segundo.

É de grande importância realçar que o diâmetro encontrado não é um valor comercial, para isto usa-se as tabelas mostradas nas Figuras do apêndice B, selecionando aquela medida que mais se aproxima do real.

Com estes dados, é possível descobrir se o escoamento é laminar, e para isso deve-se calcular o número de Reynolds, dado pela Equação 2.6.

$$R_e = \frac{v \times d_t}{\nu} \quad (2.6)$$

Onde,

- R_e = Número de Reynolds;
- v = Velocidade do fluido em centímetros por segundo;
- d_t = Diâmetro da tubulação em centímetros;
- ν = Viscosidade do óleo em Stokes.

Caso o resultado for um número menor que 2100, o escoamento apresentado é laminar, caso seja maior que 4000 é considerado turbulento.

2.3.3 Pressão

A pressão é definida como a razão entre a força normal exercida por um fluido por unidade de área, como visto na Equação (2.7). Pressão remete diretamente a um gás ou um líquido. Sua unidade é conhecida como Pascal, que é Newtons por metro quadrado Equação (??). A pressão é a força de compressão por unidade de área e até pode parecer um vetor, porém a pressão é igual em qualquer ponto do fluido. Ou seja, ela tem intensidade e não tem direção específica, e isso a define com uma grandeza escalar [3].

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.7)$$

A questão que envolve a pressão e que tem maior importância para esse projeto é a descrita pela lei de Pascal, em homenagem a Blaise Pascal (1623-1662). Como a pressão de um fluido permanece constante na direção horizontal, então a pressão aplicada a um fluido confinado aumenta esta mesma variável em todo o fluido na mesma medida [3].

Estudos realizados por Pascal permitiram entender que a força aplicada é proporcional a área da superfície, como visto na Equação 2.7. Foi ele quem percebeu que dois cilindros hidráulicos poderiam ser acoplados. Um com área maior que o outro, dessa forma ele notou que o maior poderia exercer uma força proporcionalmente maior do que aquela aplicada ao menor. Essa máquina de Pascal tem sido fonte de muitas invenções como o próprio macaco hidráulico. Ela segue a Equação (2.8), pois como as forças são iguais, mas com áreas diferentes é possível fazer tal ação, como demonstra a Figura 2.7.

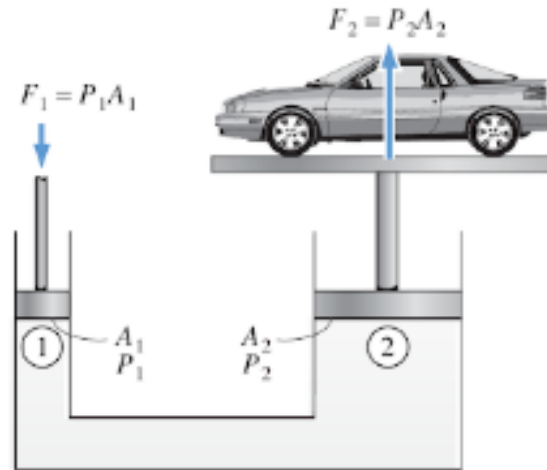


Figura 2.7: Elevação do automóvel [3]

$$P_1 = P_2 \Rightarrow \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \Rightarrow \frac{F_2}{F_1} = \frac{A_2}{A_1} \quad (2.8)$$

2.3.4 Bombas Hidráulicas

Para o projeto em questão deste trabalho, é necessário que exista uma força resultante em atuadores, que com uma determinada área possa erguer uma massa pré-determinada, como visto que é possível na sub-seção anterior. Isso será realizado aproveitando um item que é presente em carros, antes como itens de luxo, entretanto, hoje, já é praticamente um item de série nos carros. O item em questão é a direção hidráulica. A mesma funciona com uma turbomáquina, neste caso, uma bomba acoplada ao bloco do motor atuada por uma correia poli-v. Ela tem como função aspirar o óleo do reservatório e enviá-lo sobre pressão para o sistema hidráulico para auxiliar o motorista a realizar manobras com o veículo. Mesmo em projetos diferentes, as bombas seguem praticamente o mesmo princípio de funcionamento. De acordo com Yunus A. Çengel, 2015 [3], uma bomba é o dispositivo que tem como função adicionar energia ao fluido, normalmente líquidos, aumentando, assim a sua a pressão, mas sem necessariamente aumentar a sua velocidade. Essas máquinas em questão são consideradas de deslocamento positivo, onde o fluido é direcionado para um volume fechado. A transferência de energia é feita pelo movimento da fronteira do volume fechado, fazendo com que o volume se expanda ou contraia, isto é, sugando fluido para fora e esguichando fluido para fora, respectivamente. O principal parâmetro de desempenho utilizado de uma bomba é a questão denominada vazão em massa do fluido através da bomba. Este é o principal elemento de desempenho de uma bomba. Entretanto, para escoamentos incompressíveis é mais comum utilizar a vazão volumétrica, conhecida na indústria como capacidade, do que a vazão em massa. Ela nada mais é do que a vazão mássica dividida pela densidade do fluido, como demonstra a

Equação 2.9.

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (2.9)$$

O desempenho de uma bomba, também é avaliado através da sua carga líquida H , definida como a variação da carga de Bernoulli entre a saída e a entrada da bomba.

$$H = \left(\frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + z \right)_s - \left(\frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + z \right)_e \quad (2.10)$$

A unidade da carga líquida é comprimento, e com frequência é marcada como uma altura de uma coluna de água equivalente. No caso quando um líquido é bombeado, a carga de Bernoulli na entrada é equivalente à linha piezométrica na entrada, EGL_e , obtida pelo alinhamento da sonda de Pitot, no centro do escoamento como demonstra a Figura 2.8. Da mesma forma obtêm-se a EGL_s , como também demonstra a figura. Então a carga líquida H é igual a diferença entre EGL_s e EGL_e .

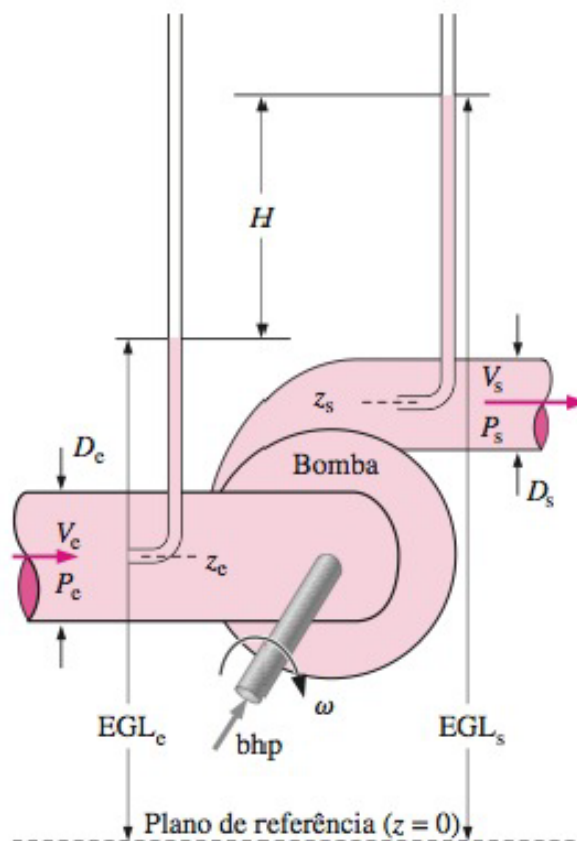


Figura 2.8: Carga líquida H [3]

$$H = EGL_s - EGL_e \quad (2.11)$$

Existe também o caso especial em que o escoamento é considerado incompressível, através de uma bomba na qual os diâmetros de entrada e saída são idênticos e não há variação de elevação. Neste caso, a Equação (2.10) é reduzida a:

$$H = \frac{P_s - P_e}{\rho g} \quad (2.12)$$

A carga líquida é proporcional à potência útil, ou seja, a potência que é realmente fornecida ao líquido. Mesmo que o que esteja sendo bombeado não seja água, a potência útil é conhecida como potência da água. Tem-se que esta grandeza é definida por:

$$\dot{W}_{potnciadagua} = \dot{m}gh = \rho g \dot{V}H \quad (2.13)$$

Onde:

- m = massa;
- g = aceleração da gravidade;
- h = altura manométrica.

É válido lembrar que todos os sistemas reais sofrem com perdas, e com a bomba não é diferente. A mesma sofre com perdas do atrito, vazamento interno, dissipação turbulenta, etc [3]. Dessa forma, a energia que se fornece ao eixo da bomba, tem que ser maior potência da bomba. Essa potência é conhecida como potência de eixo, abreviada como *bhp*. Como as bombas automotivas funcionam com um eixo giratório, então tem-se que:

$$bhp = \dot{W}_{eixo} = \omega T_{eixo} \quad (2.14)$$

Onde ω é a velocidade rotacional do eixo em rad/s e o T_{eixo} é o torque fornecido ao eixo. A partir da potência da água e da potência de eixo é possível chegar a uma relação conhecida como eficiência da bomba η_{bomba} , que é uma relação entre a taxa de potência útil e a potência fornecida.

$$\eta_{bomba} = \frac{\dot{W}_{potnciadagua}}{\dot{W}_{eixo}} = \frac{\dot{W}_{potnciadagua}}{bhp} = \frac{\rho g \dot{V}H}{\omega T_{eixo}} \quad (2.15)$$

2.3.4.1 Bomba automotiva

A bomba automotiva que foi utilizada nesse projeto não foge dos conceitos explicitados acima. A mesma tem como função criar uma depressão para dentro da bomba, que sugue o fluido e o comprima para ser utilizado em um certo sistema. Mesmo existindo diferentes tipos de bomba, quase todas seguem um padrão, que é, basicamente, uma câmara de formato elíptico e uma peça giratória no meio dela [37]. Existem ainda, nesse

equipamento, algumas vedações que separam a câmara em diferentes pontos e assim forma-se um ambiente de trabalho favorável, criando pontos de sucção e compressão do fluido utilizado. Um exemplo deste equipamento pode ser observado nas Figuras 2.9 e 2.10.



Figura 2.9: Bomba direção hidráulica Suzuki Vitara [4]

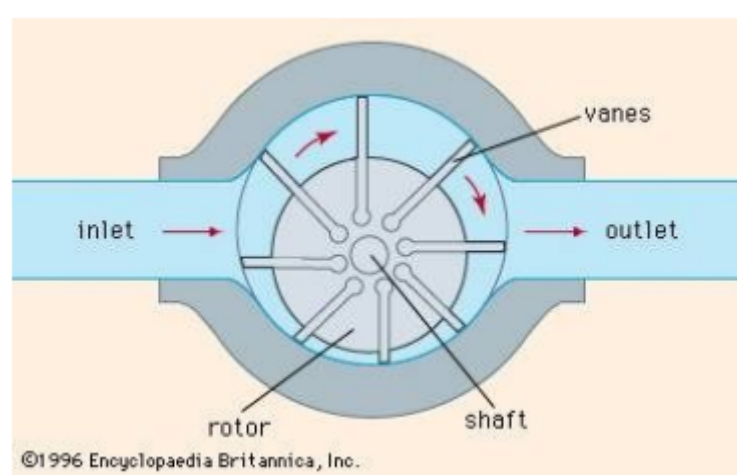


Figura 2.10: Bomba de palheta [5]

Nos carros, como mencionado anteriormente, o acionamento das bombas é feito pelo próprio motor, através de uma correia trapezoidal ou poli-v. Para escolher qual tipo de cinta será utilizado, tem-se que verificar se a bomba é movida sozinha, ou se é acionada em conjunto com outros sistemas de polias do carro, como o ar-condicionado, por exemplo. Caso ela seja isolada, utiliza-se a trapezoidal, caso seja em conjunto usa-se poli-v. O

trabalho da correia é ligar a polia da bomba à polia do virabrequim do carro, dessa maneira quando o carro estiver em funcionamento a bomba também estará em operação. Como pode-se perceber a medida que a rotação do motor do carro aumenta, a velocidade de giro da bomba cresce proporcionalmente, devido a isso, é necessário um dispositivo limitador de pressão.

No cenário automotivo as bombas precisam já estar em funcionamento em marcha lenta, que é o ponto de estabilidade do motor quando o mesmo não está com carga aplicada. É neste período de uso, quando as velocidades são baixas, que mais exigem pressão do sistema, pois são as velocidades de manobras do veículo. Nessa condição as bombas utilizam cerca de 5hp do motor para funcionarem. Sendo essa a potência no eixo do bomba.

A função da bomba é recalcar o óleo do reservatório e enviá-lo sobre pressão para o sistema hidráulico, sendo possível assim, auxiliar o motorista no esforço de esterçar a direção. Essa é a principal atividade da bomba, porém devido as particularidades do sistema, ela também controla a pressão do óleo, para que não ocorra vazamentos nem superaquecimento em algum estágio de funcionamento do veículo.

Como existem vários tipos de veículos, é normal que cada montadora escolha um tipo específico de bombas. Os tipos variam de acordo com o seu mecanismo de funcionamento. É necessário ressaltar que a posição do reservatório do óleo também muda de acordo com o tipo de construção do motor. Elas podem ser submersas, que é o tipo em que o reservatório faz parte do corpo da bomba, e não submersas, quando o recipiente do óleo é colocado a parte do corpo da bomba. Mesmo com esses diferentes tipos, a localização não influi diretamente no sistema.

Analisando as bombas em relação a sua montagem elas podem ser sim diferentes, e trabalhar com meios específicos para conseguir resultados semelhantes entre si. As bombas se dividem em quatro tipos de acordo com a sua construção, que são:

1. Palhetas;
2. Calço;
3. Roletes;
4. Engrenagens.

As bombas caracterizadas como palhetas são as mais comuns, leves e confiáveis. As mesmas possuem uma câmara elíptica com um rotor central, que faz seu movimento junto com a rotação do motor. As palhetas criam ambientes de sucção e compressão, e estes estão em contato com os canais internos da bomba. Estes acabam em pequenas conexões

que recebem as mangueiras do sistema de direção, que permitem a entrada e saída de óleo. Este tipo de equipamento é demonstrado na Figura 2.11.

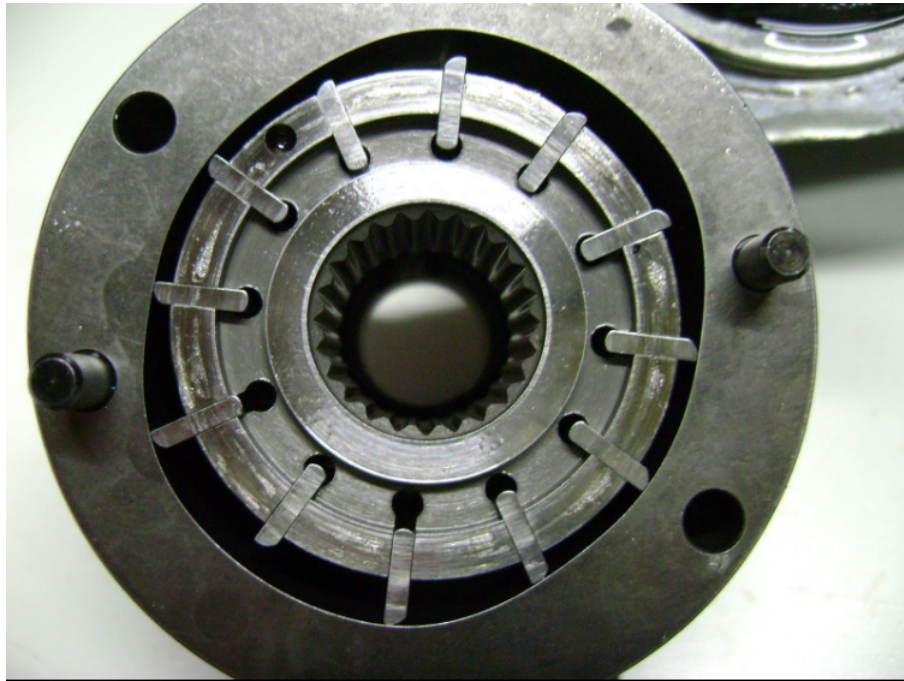


Figura 2.11: Bomba palheta [6]

As bombas de calços, por sua vez, são como uma variação das bombas de palhetas, elas contam com calços sob ação de molas no rotor, ao invés de palhetas, como demonstra a Figura 2.12. As molas tem a função de pressionar os calços contra a parede e assim criar zonas de sucção e compressão. A sua função, como a da anterior é libar o fluido hidráulico e levá-lo a caixa de direção para que exista o auxílio ao esterçamento do veículo.



Figura 2.12: Bomba de calços [7]

Bombas de roletes ou, como são mais conhecidas, *Eaton Power Steering Pump* (Bombas de direção hidráulica Eaton) foi muito utilizada por carros mais antigos, na época de 1950. Essa versão é composta de roletes que constroem o rotor.

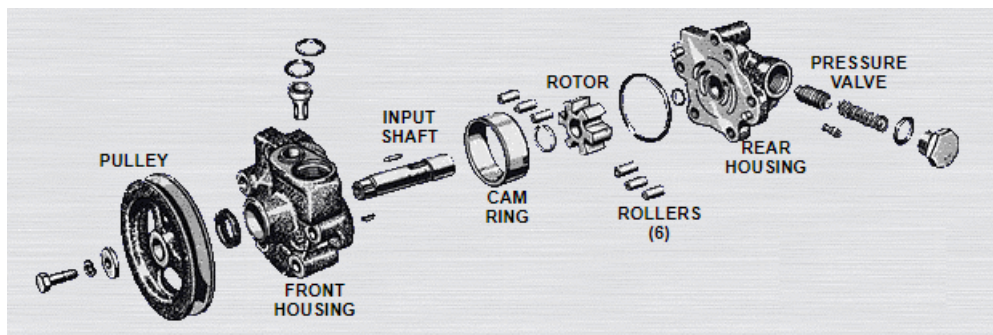


Figura 2.13: Bomba de roletes [8]

Bombas de engrenagem são geralmente compostas por uma carcaça que apresenta furos de entrada e saída, e de uma mecanismo de bombeamento composto por duas engrenagens, a principal é ligada ao acionador fundamental, que no caso é o motor do carro, e a outra é a engrenagem movida [38]. Quando os dentes das engrenagens passam pelo processo de desengrenamento são criados espaços vazios, vácuos, na parte superior da bomba. Esses espaços criam uma zona de pressão baixa que, pela ação da própria pressão atmosférica, faz o fluido entrar na bomba, neste momento o fluxo é separado em dois caminhos distintos, uma parte vai para engrenagem motora e outra é levada pelos dentes da engrenagem interna [38]. Por fim, depois de todos esses processos, a bomba está completamente preenchida pelo fluido. O espaço que existe entre a engrenagem movida e

a motora consegue conduzir, de maneira constante, um certo volume de óleo, dessa forma o fluxo fica muito mais constante, livre de pulsações. Os espaços criados na primeira parte do processo agora são fechados por completo e o engrenamento fará o fluido sair do lado oposto do que entrou.

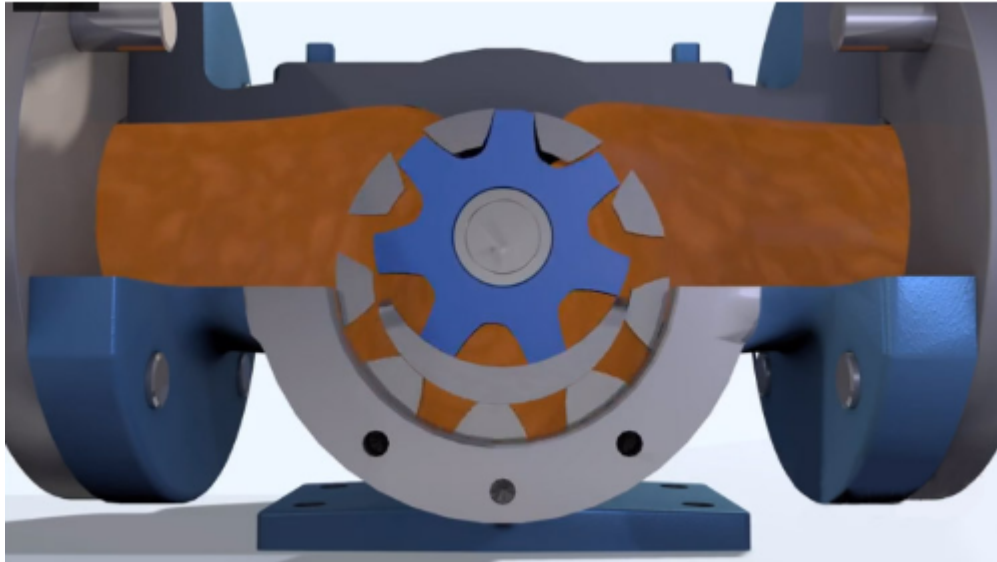


Figura 2.14: Bomba de engrenagem [9]

2.3.4.1.1 Funcionamento

- Bombas de Palhetas

As bombas de palhetas funcionam desde o começo do ciclo de movimento do motor automotivo, pois a polia acionadora da bomba está ligada à polia do eixo virabrequim do automóvel através de uma correia. Portanto, ambas giram juntas.

Com a bomba em funcionamento, orifícios nas mesas (tampas usinada com canais que cobrem a luva e o rotor com as palhetas, e tem como função criar a câmara e formar canais para que o óleo entra e saia desta última) fazem o óleo entrar nos desenhos do rotor e empurram as palhetas, de uma maneira enérgica, contra as paredes da luva e assim aumenta-se o volume da câmara formada e o óleo é sugado para dentro da câmara. O óleo sugado passa pelas palhetas e pelo rotor e sua compressão ocorre quando ele passa pelo ponto em que a área formada pela luva, rotor e palhetas diminui. Depois de comprimido o óleo escapa da bomba e chega a caixa de direção hidráulica efetuando o auxílio hidráulico. O fluxo do fluido é garantido, porque a válvula de controle de fluxo está fechada, o que permite que o óleo saia da bomba.

Quando o motor está funcionando em alta velocidade, a bomba também está rotando a toda velocidade. O que implica que quando mais rápido o motor gira, mais

rápido o rotor da bomba é acionado e assim aumenta o fluxo de óleo no sistema. Essa situação tem de ser controlada, pois se não pode gerar danos ao mangueiramento e os retentores. Para contornar tal circunstância, o óleo passa pelo orifício da válvula de controle de fluxo que funciona basicamente como um direcionamento de fluxo, fazendo que a mesma redirecione o óleo de forma que venha a reduzir a pressão.

Em casos de muito estresse do conjunto, como, por exemplo, quando o condutor esterça totalmente o volante para um dos lados, a pressão do sistema se eleva consideravelmente, porque o mesmo chegou a seu pico de movimento. Entretanto, mesmo assim, o motor continua girando e fazendo o acionamento da bomba. O fluxo da bomba é contínuo, mesmo quando o sistema chega ao seu limite de curso, o que gera um aumento de pressão. Para contornar este tipo de situação, criou-se uma válvula de alívio, como demonstra a Figura 2.15, para evitar que se crie uma sobrepressão e afete os componentes mais fracos. A esfera da válvula de alívio é empurrada quando a pressão aumenta acima de um determinado nível, fazendo que dessa forma haja um caminho alternativo para que o fluxo de óleo possa ser canalizado de volta ao reservatório e abaixe a pressão. Quando o sistema volta para condições normais, a válvula retorna para seu estado padrão, bloqueando esse rota extra antes criada, fazendo o fluxo seguir seu caminho normal.

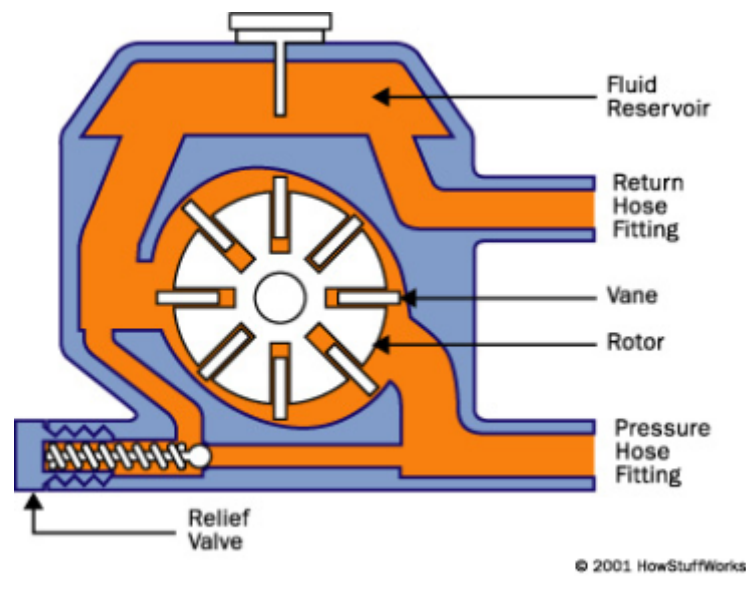


Figura 2.15: Válvula de alívio [10]

Existe ainda, uma variação das bombas de palheta, são aquelas chamadas de bombas de palheta variável. A diferença entre a convencional é que ela tem uma luva (que tem como função servir de superfície para que as palhetas deslizem e ocorra a sucção e compressão do óleo) que não é totalmente imobilizada, dessa forma, por poder se

movimentar, o espaço da câmara (lugar onde o fluido é comprimido) é alterado. Este aumento de área de ocorre quando a pressão atinge altos níveis, e por consequência deste aumento o óleo tem mais espaço e isso faz a pressão reduzir em momentos de máximo estresse.

- Bomba de rolete

Bombas de roletes tem funcionamento da seguinte maneira: como a descrita anteriormente, assim que o motor entra em funcionamento a bomba também é acionada. O giro do motor gira a polia que toca o eixo que gira um rotor interno montado dentro de um anel de came excêntrico. Essa ação giratória lança os roletes para fora do rotor e contra a superfície interna do anel de cames e devido a forma arredondada do anel, os roletes alternadamente puxam, pressurizam e liberam o fluido. Ainda são presentes nelas uma válvula de pressão que tem internamente uma válvula de alívio que controla a pressão da bomba nas horas de estresse máximo, que é na hora que a direção trava em algum dos lados.

- Bombas de engrenagem

Bombas de engrenagem é o único tipo que tem mecanismos de sucção e compressão de óleo completamente diferentes. A partir do momento que o motor é ligado este gira a polia da bomba, que por sua vez, está ligada à uma árvore a qual está acoplada a uma das engrenagens, a chamada engrenagem motora. Engrenada com esta, está a chamada engrenagem movida. Quando os dentes das engrenagens passam pelo processo de desengrenamento são criados espaços vazios, vácuos, na parte superior da bomba. Esses espaços criam uma zona de pressão baixa que, pela ação da própria pressão atmosférica, faz o fluido entrar na bomba, neste momento o fluxo é separado em dois caminhos distintos, uma parte vai para engrenagem motora e outra é levada pelos dentes da engrenagem interna [38]. Por fim, depois de todos esses processos, a bomba está completamente preenchida pelo fluido. O espaço que existe entre a engrenagem movida e a motora consegue conduzir, de maneira constante, um certo volume de óleo, dessa forma o fluxo fica muito mais constante, livre de pulsações. Os espaços criados na primeira parte do processo agora são fechados por completo e o engrenamento fará o fluido sair do lado oposto do que entrou.

- Bomba de calços

Nas bombas de calços, o rotor gira com funcionamento do motor e este carrega calços cilíndricos que estão acoplados a uma mola, que os pressiona contra a parede da luva. Ao girar o rotor, o óleo é aspirado para dentro da câmara, onde é comprimido pelos calços. Como está área tem um formato elíptico, quando o raio interno diminui,

gera uma variação de área que comprime o óleo e o empurra para o orifício de saída, obtendo assim o auxílio hidráulico.

2.3.5 Sensores

De acordo com o professor Marcelo Wendling [11] sensores são elementos sensíveis as variações de energia do ambiente, que podem ser: luminosa, térmica, cinética, entre outras. Tais componentes tem como função realizar a leitura de sinais físicos e depois enviá-los, a um controlador. Nem sempre um sensor já oferece o sinal pronto para ser utilizado, nestes casos é necessário um circuito de interface que manipule o sinal de saída antes da sua leitura no sistema de controle.

Neste trabalho será utilizado um sensor de velocidade, presente em todos os automóveis. Eles variam de acordo com a forma que são construídos, e eles podem ser: magnéticos ou de relutância variável e de efeito hall.

Os sensores podem ser divididos em dois tipos: analógicos e digitais. Os analógicos funcionam assumindo qualquer valor no seu sinal de saída, desde que esteja dentro da sua faixa de operação. As suas variáveis são medidas através de elementos que conseguem captar a variação de energia, como demonstra a Figura 2.16, dessa forma ele consegue captar uma faixa de valores gradual, como, no exemplo da figura, a temperatura.

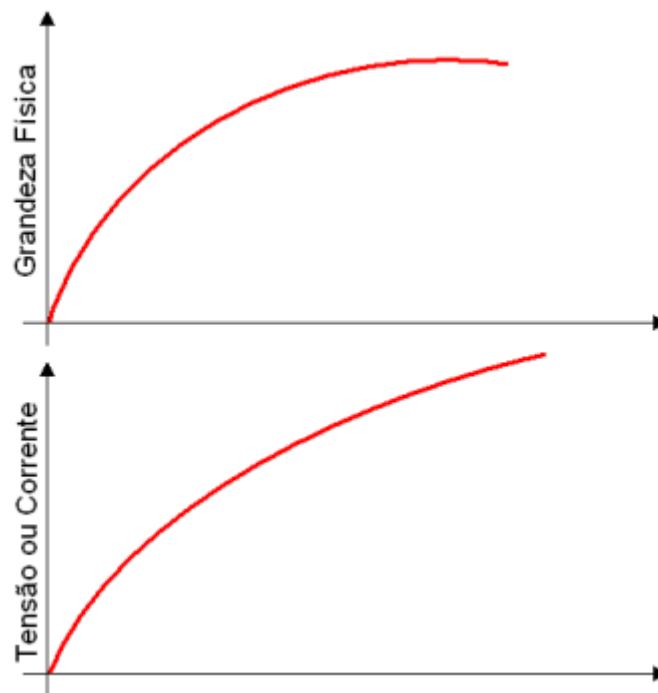


Figura 2.16: Sensor analógico [11]

Já os digitais podem assumir somente dois tipos de valores no seu sinal de saída ao longo do tempo, ou zero ou um, pois são binários. Não existem grandezas na natureza que se comportem de tal forma, mas eles são assim mostrado ao sistema de controle após passarem por um circuito eletrônico e serem convertidos, normalmente se utiliza para essa tarefa um comparador. Eles são usados, por exemplo, na detecção de objetos, ou como *encoders* na determinação de distância ou velocidade.

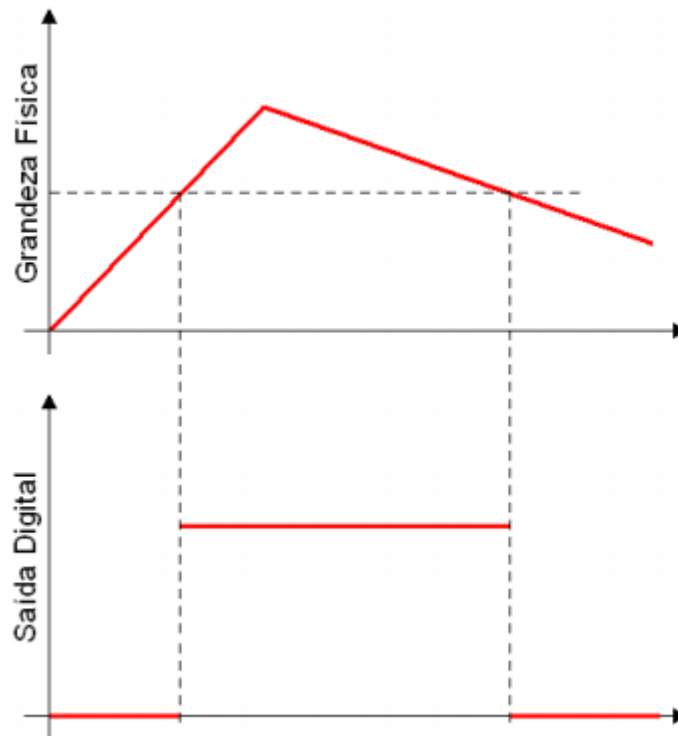


Figura 2.17: Sensor digital [11]

Os sensores contêm em seu âmbito várias características, as consideradas mais importantes são descritas a seguir:

2.3.5.1 Sensibilidade

A sensibilidade indica a menor variação da intensidade da grandeza medida que o sensor pode detectar. Ou seja, a menor variação da grandeza que cause uma alteração no sinal de saída que pode ser tensão, corrente ou ainda frequência. No caso dos digitais, é bom ressaltar que a menor alteração que a saída fornece é de 1 bit [39].

2.3.5.2 Linearidade

Sensores devem fornecer um sinal de saída que seja diretamente proporcional à grandeza que está sendo medida. A variação que existe entre a entrada e a saída deve ser

proporcional. Isso é alcançado com a linearidade do sensor.

2.3.5.3 Precisão

Qualquer sensor possui erros de medição e a quantificação do maior deles é o que caracteriza a precisão, ou seja, precisão é a diferença entre o valor medido e o valor real, normalmente expresso como uma porcentagem [39].

2.3.5.4 Faixa de medição

Faixa de medição é definida como sendo todos os valores de amplitude do que está sendo medido que o sensor pode operar com precisão.

2.3.5.5 Tipos de sensores

Os sensores captam a grandeza física que estão aferindo de várias formas. Aqui estão descritas duas delas, que são as formas mais usadas para captar a velocidade do automóvel, de acordo com a fabricante de sensores MTE Thomson [40]. As configurações são: magnético ou relutância variável e de efeito hall.

Sensores magnéticos trabalham a partir da detecção da variação do campo magnético realizada pelo movimento de um ímã acoplado a uma peça móvel. Um exemplo de sua utilização são nos carros modernos, onde o sensor mede a rotação do motor do veículo através da variação do campo provocada por um ímã alocado no eixo do mesmo e essa leitura é enviada a injeção eletrônica que faz o acionamento das velas na hora correta. Em uma máquina industrial pode-se observar o movimento de uma máquina seguindo os mesmos princípios, como mostra a Figura 2.18.

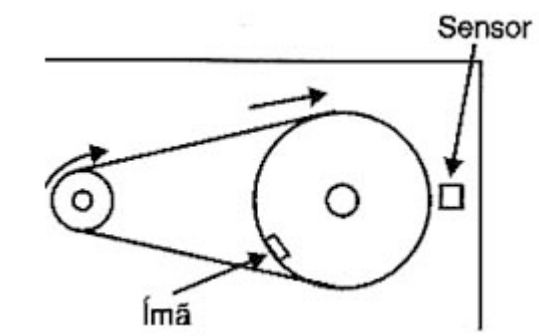


Figura 2.18: Exemplo função sensor magnético [12]

Como não é necessário nenhum contato com o ambiente, estes sensores são conhecidos por sua extrema durabilidade, porque se estiverem bem selados, são imunes a água, poeira e outros elementos contaminantes. [13]. São dois tipos de sensores magnéticos, aqueles conhecidos como magnéticos-resistivos e os que operam por efeito Hall, ambos serão descritos a seguir:

- Sensores magnéticos-resistivos

Estes sensores são formados basicamente por elementos magneto-resistivos, ou seja, itens que variam a sua resistência de acordo com o campo magnético que incidem sobre eles, um exemplo de tal material é a liga formada por Ferro e Níquel.

Os elementos sensores são montados normalmente em uma configuração chamada ponte de Wheatstone, composta por quatro resistores, formando dois divisores de tensão em paralelo. Uma tensão é aplicada nesse circuito e afere-se a diferença de tensão entre os dois divisores.

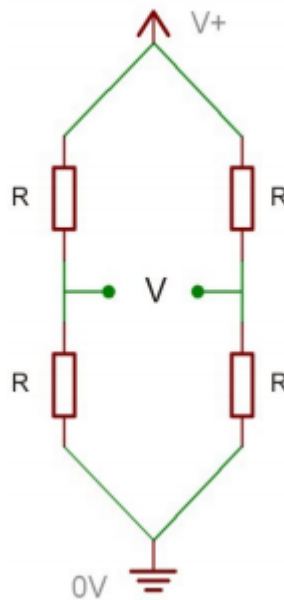


Figura 2.19: Ponte de Wheatstone [13]

Como todos os resistores tem a mesma resistência, quando nenhum campo magnético é induzido sobre eles, então a tensão encontrada na saída é zero. Porém, a partir do momento que existe um campo interferindo perpendicularmente, as resistências se diferenciam e então é possível medir uma diferença de tensão entre os dois pontos centrais dos divisores de tensão. É válido lembrar que estes tipos de sensores medem a variação com campo magnético em determinados eixos, dessa forma é necessária uma ponte para cada eixo. Estes sensores, geralmente, são mais sensíveis que os de efeito Hall e podem detectar ímãs a distâncias maiores.

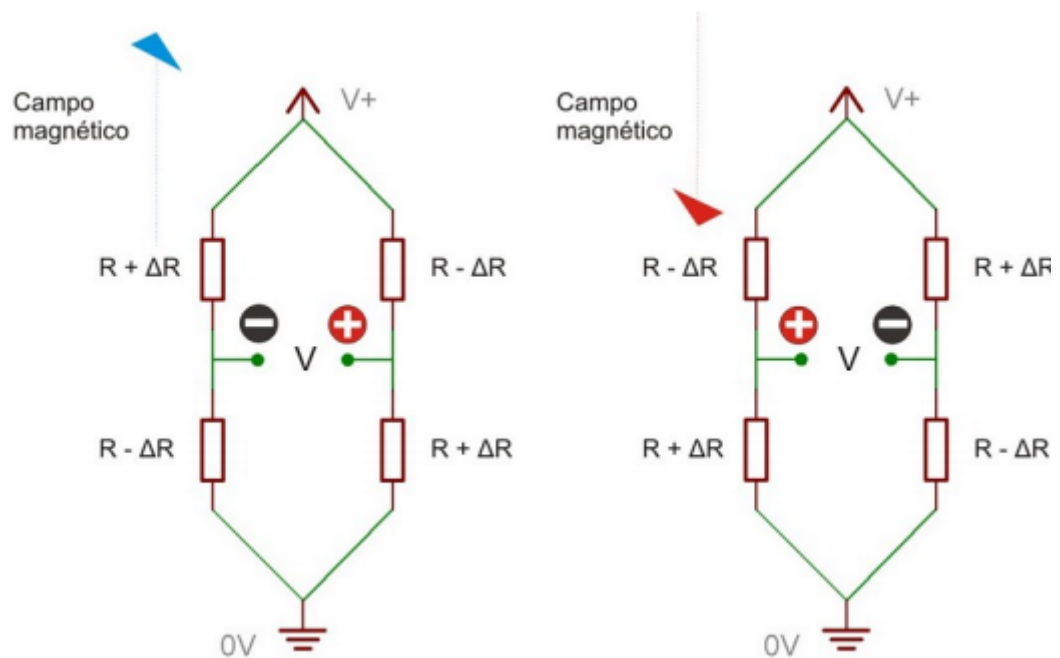


Figura 2.20: Ponte de Wheatstone desbalanceada por um campo magnético [13]

- Sensores de efeito Hall

Existem ainda sensores que operam seguindo o efeito Hall, descoberto no século XIX e se baseia no princípio da interação entre campos magnéticos e cargas elétricas, que é presente em alguns materiais semicondutores e condutores. Normalmente quando uma corrente atravessa um material condutor, ela se comporta de maneira uniforme, ou seja, as laterais do objeto não apresentam diferença de tensão. Porém, para determinados materiais, quando um campo magnético incide sobre eles ocorre uma perturbação das cargas elétricas, o que gera um acúmulo de cargas negativas de um lado do elemento e isso gera uma diferença de potencial entre as laterais do material. Se o campo magnético tiver seu sentido invertido ele altera o sentido da tensão medida. Isso fica bem ilustrado na Figura 2.21

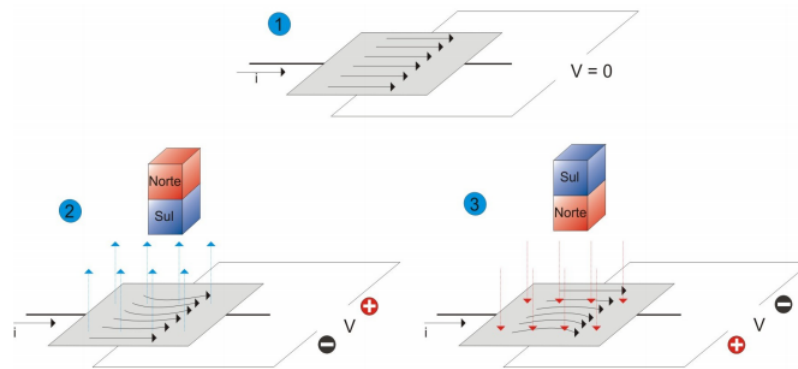


Figura 2.21: Efeito Hall [13]

Normalmente essa diferença de potencial é bem pequena, por isso que a mesma tem que passar por circuitos amplificadores já presentes no sensor. Sua variável de saída pode ser analógica, com sua saída correspondendo a intensidade do campo magnético, ou digital de maneira que está em um nível lógico alto quando não tem campo incidindo sobre o sensor e baixo quando o campo ultrapassa certo valor. Estes últimos se comportam como chaves digitais acionadas por ímãs. Sensores de efeito Hall são conhecidos por ter um maior ângulo de cobertura que os magnéticos resistivos [13].

2.3.6 Microcontrolador

Para conseguir captar o sinal advindo do sensor e utilizá-lo segundo as necessidades se faz necessário a utilização de um componente eletrônico conhecido como microcontrolador. De acordo com Floyd [41], este componente pode ser definido como: "circuito integrado digital de alta intensidade (larga escala de integração) que pode ser programado com uma série de instruções para realizar uma função específica sobre dados." Ou seja, este é o componente que é capaz de interpretar sinais e enviar informações, através das portas de entrada e saída, a um elemento atuador que seja capaz de modificar o sistema de acordo com as condições determinadas e isso é possível porque este elemento reúne funções de inteligência (feito através de uma unidade de processamento existente no mesmo, chamada de CPU), memória e controle. E estas são descritas, brevemente, a seguir.

2.3.6.1 CPU

Central Processing Unit ou Unidade Central de Processamento, em português, é formada por um processador capaz de realizar operações lógicas com sinais digitais.

2.3.6.2 Memórias

Microprocessadores possuem dois tipos de memória em sua composição, uma delas chamada memória EPROM ou Flash e memória RAM.

- EPROM ou Flash

EPROM e FLASH são memórias do tipo não-volátil, ou seja, elas não perdem o que está armazenado na mesma com a desenergização. Sua utilização é a armazenagem de dados que precisam ser retomados a algum momento. A Flash é uma evolução da EPROM, ela traz consigo a capacidade apagar ou escrever múltiplos endereços de uma vez, coisa que a EPROM, por sua vez, não consegue.[41]

- RAM

Random Access Memory, ou Memória de Acesso Aleatório é um tipo de memória volátil, que permite a leitura e a escrita, porém se o sistema for desenergizado perdem todo seu conteúdo. Este tipo de componente é utilizado para armazenar itens que precisam ser acessados com rapidez, o processador que define quanto e como usar de acordo com o processo que está sendo executado [41].

2.3.6.3 Conversor Analógico-Digital

O processador do microcontrolador só consegue aproveitar dados em sua forma digital. Os fenômenos mundanos, por sua vez, são considerados analógicos, ou seja, são valores que se transformam para outros de modo contínuo através de variações muito pequenas. Então, para que um possa aproveitar informações vindas de um sensor (elemento descrito na subseção anterior) e realizar ações a partir da mesma é necessário converter esse meio de explicitar a informação e essa é a função do conversor analógico-digital.

2.3.6.4 Entradas e Saídas

Entradas e saídas, como o próprio nome diz, são partes do microcontrolador que recebem e enviam sinais, um exemplo disso são as informações que vem dos sensores e precisam ser lidas, então elas precisam adentrar no sistema por uma porta, e essa é a entrada. A saída por sua vez leva os dados que estão sendo gerados para algum elemento receptor no meio externo, como um atuador, por exemplo.

2.3.7 Motores elétricos

Motores elétricos são aqueles dispositivos que conseguem transformar a energia elétrica em mecânica. Eles são capazes de movimentar um eixo a partir da presença de uma corrente elétrica e isso pode ser aproveitado de diversas maneiras, de acordo com

a aplicação do motor. Estes elementos são importantes para realização de tarefas, como abertura e fechamento vidros automotivos.

Motores podem ser classificados de duas maneiras de acordo com a corrente que utilizam, motores de corrente alternada (c.a.) e corrente contínua (c.c.)

- Motor de corrente alternada. Motores de corrente alternada são motores leves, com um custo acessível, baixo índice de manutenção. São motores que funcionam com a variação da frequência de sua alimentação. Estes componentes são compostos de um estator que é basicamente um componente anelar que possui fendas as quais prendem bobinas de fio isolado em um núcleo e um rotor, que é a parte fixa. A corrente alternada é conduzida pelos fios das bobinas a fim de que se produza um campo magnético rotativo. Outra parte que compõe estes elementos conversores é o rotor. Este último interage com o campo magnético gerado pelo estator e o resultado dessa interação é uma força resultante que gera o torque do motor.
- O motor de corrente não-variável é um conversor eletromecânico que recebe a energia em forma de corrente contínua e a transforma em energia mecânica, baseando-se no princípio de atração e repulsão geradas por eletroímãs. Isto é feito com a passagem de uma corrente elétrica por bobinas criando assim um campo magnético e o mesmo pode ser atraído ou repelido por ímãs próximo a ele, gerando assim o movimento do eixo do motor. Entretanto para gerar uma força eletromagnética é necessário que haja uma variação de fluxo, para que a lei da indução eletromagnética, mostrada na Equação 2.16, possa ser aplicada [42].

$$e = \frac{d\phi}{dt} \quad (2.16)$$

É evidente, portanto, a impossibilidade de se gerar uma força eletromagnética contínua, porque a corrente que passa pelo equipamento não oferece a variação que é necessária para que se tenha a indução eletromagnética. Dessa forma, a construção de máquinas geradoras de corrente contínua se dá por meio da conversão das forças induzidas nas bobinas rotóricas das máquinas geradoras de corrente alternada. O órgão que permite esse efeito é o chamado comutador. Em termos simples, este último aproveita do princípio da lei de Lorentz que uma espira que roda em um campo magnético constante gera-se uma força eletromagnética. Ou seja, ao ser alimentado por uma corrente elétrica, como mostra a Figura 2.22, ela percorre o caminho destacado por setas vermelhas, saindo do polo positivo da fonte de tensão até o seu polo negativo. Como o comutador tem uma separação física entre ele, o sentido da corrente é invertido em tempos apropriados, de modo que as forças sempre estejam no mesmo sentido, de modo que ele gire perfeitamente.

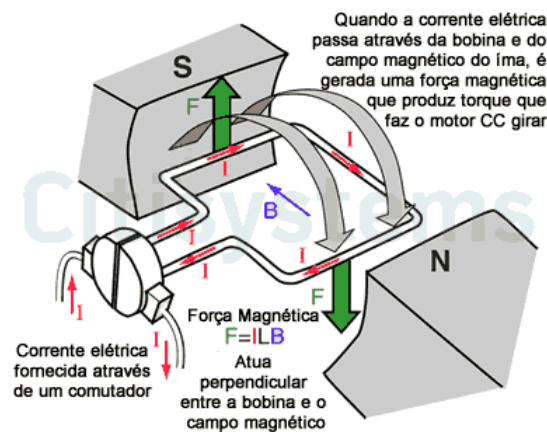


Figura 2.22: Funcionamento motores CC [14]

2.3.8 Transistores bipolares de junção

Para o funcionamento ideal do projeto, se faz necessário que exista entre o Arduino e os dispositivos de potência algumas chaves, que permitam a passagem de corrente para os motores que acionam as válvulas. Existem duas construções possíveis para os transistores, que são NPN e PNP, mostrados na Figura 2.23.

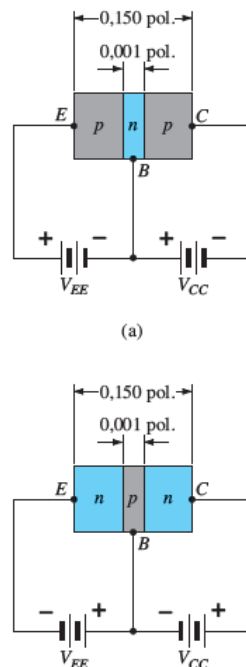


Figura 2.23: Transistores PNP e NPN [15]

Para este projeto, foram escolhidos transistores bipolares de junção, abreviados como TBJ, com a configuração NPN, por serem os mais comuns de se trabalharem. Estes elementos compreendem diversas funções, mas a mais comum é de que sejam trabalhados

desenvolvendo as funções de chaves. Para exercerem essa função, basta polarizá-lo de forma conveniente, sendo operado como corte ou saturação.

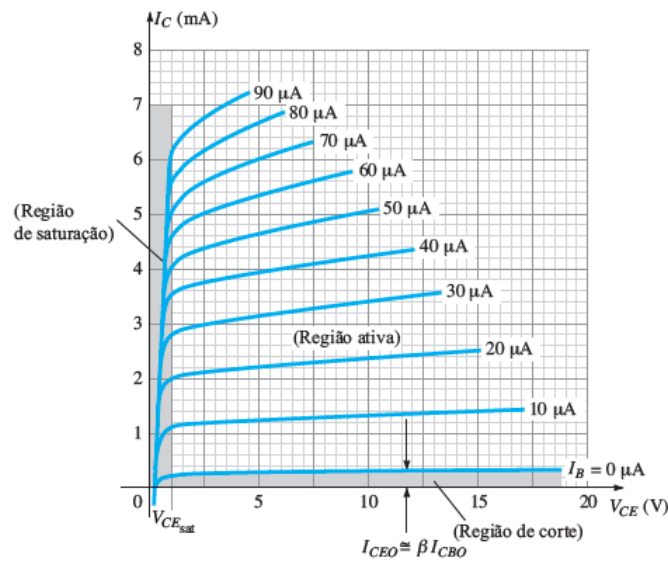


Figura 2.24: Regiões de trabalho dos transistores [15]

Para operar de modo chave, liga-se uma carga no coletor, e conecta-se a parte negativa da fonte no emissor do TBJ, nos NPN. Para operar os dispositivos, de modo que variem entre chave aberta e fechada, deve-se modificar a corrente da base, isto é, quando a corrente é zero faz transistor operar nas faixas de corte que é como se tivesse uma chave aberta, e quando a corrente de base é a de saturação, significa que a corrente no coletor é máxima e o transistor está saturado, ou seja, tem seu funcionamento é correspondente a de uma chave fechada. Quem irá controlar essa corrente é o próprio Arduino, através da lógica implementada.

Para o funcionamento ideal do circuito deve-se colocar um resistor antes da entrada da base. Ele é calculado a partir do conhecimento da corrente que irá fornecer aos elementos que desejam ser chaveados. Deve-se também considerar o ganho de informado para o transistor. Então para calcular R_b , resistor da base, tem-se que:

$$R_b = \frac{V_{cc} - V_{be}}{I_b} \quad (2.17)$$

Onde,

- V_{cc} = Tensão da fonte;
- V_{be} = Tensão base emissor para saturação, informado pelo *datasheet* do sensor. Normalmente aplica-se o valor de 1 volt;
- I_b = Corrente da base.

A corrente da base, pode ser calculada através da Equação 2.18.

$$I_b = \frac{I}{\beta} \quad (2.18)$$

Onde, β é o ganho do transistor que é informado pela folha de dados do mesmo. E, I , é a corrente que passa pelo elemento que está querendo chavear.

2.3.9 Softwares

2.3.9.1 Ansys

O Ansys é um *software* para *Windows* de simulação mecânica que funciona da seguinte maneira: importa-se a geometria que está sendo trabalhada e submete-se a mesma aos carregamentos e restrições proposto. Para realizar o estudo das cargas em questão, subdivide-se a peça em pequenas partes, denominadas de elementos, os quais passam a representar o domínio contínuo do problema. A divisão da geometria em pequenos elementos permite resolver um problema complexo, subdividindo-o em problemas mais simples, o que possibilita ao computador realizar com eficiência estas tarefas. O método propõe que o número infinito de variáveis desconhecidas, sejam substituídas por um número limitado de elementos de comportamento bem definido.

Essas divisões podem apresentar diferentes formas, tais como a triangular, quadrilateral, entre outras, em função do tipo e da dimensão do problema. Como são elementos de dimensões finitas, são chamados de elementos finitos termo que nomeia o método. Os elementos finitos são conectados entre si por pontos, os quais são denominados de nós ou pontos nodais. Ao conjunto de todos esses itens elementos e nós dá-se o nome de malha. Em função dessas subdivisões da geometria, as equações matemáticas que regem o comportamento físico não serão resolvidas de maneira exata, mas de forma aproximada por este método numérico. A precisão do Método dos Elementos Finitos depende da quantidade de nós e elementos, do tamanho e dos tipos de elementos da malha. Ou seja, quanto menor for o tamanho e maior for o número deles em uma determinada malha, maior a precisão nos resultados da análise.

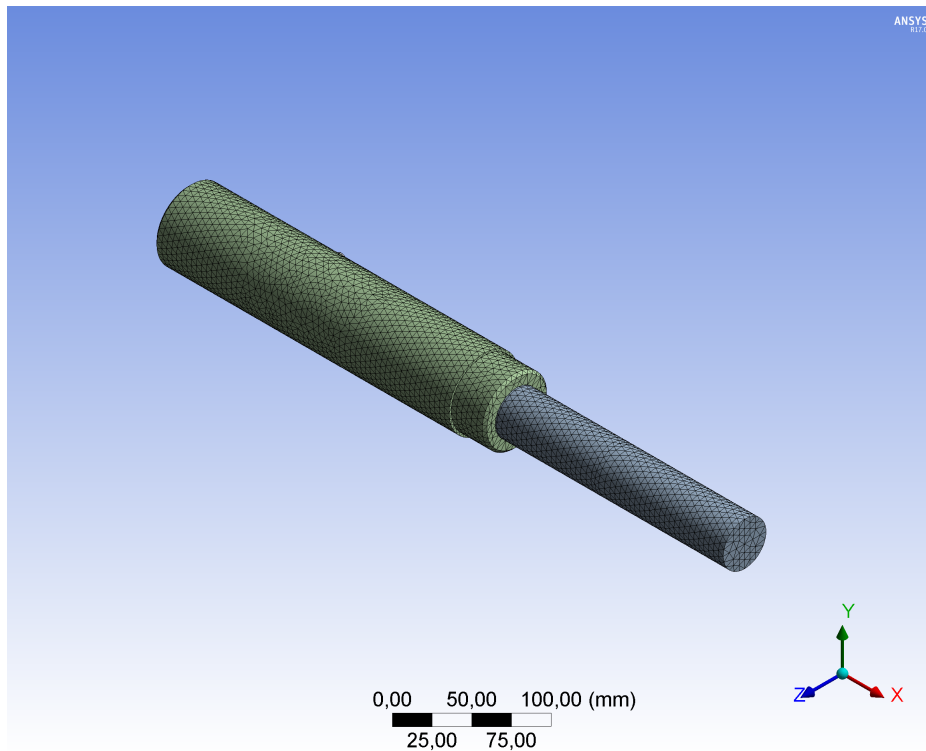


Figura 2.25: Área de trabalho do Ansys - Fonte: Próprio autor.

2.3.9.2 Altair

O software Altair Inspire é a solução, para *Windows*, de otimização/design generativo/topológico mais poderoso e fácil de usar do setor e de simulação rápida para engenheiros de projeto. Ele aprimora o processo de desenvolvimento de conceito, permitindo que o design orientado a simulação aumente a eficiência, a força e a capacidade de fabricação de seu produto. Isso pode levar a custos reduzidos, tempo de desenvolvimento, consumo de material e peso do produto. O software da Altair funciona de forma similar ao Ansys, a única diferença é o código python implementado ao programa que permite modelar a estrutura da forma que o usuário preferir (dando maior resistência ao projeto ou menor peso, por exemplo, com uma estrutura inteligente e mais próxima de uma estrutura orgânica).

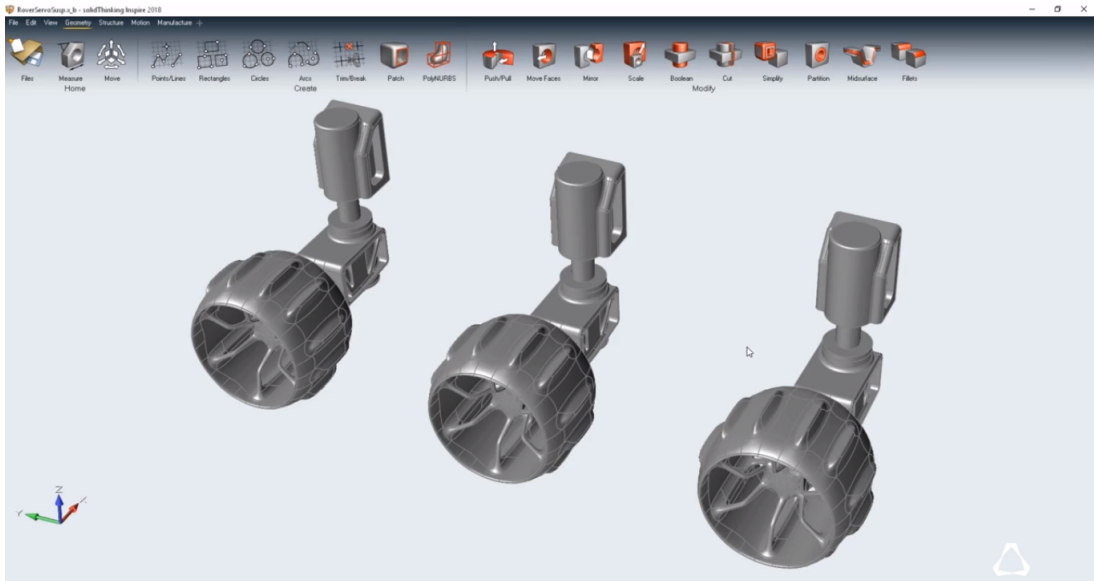


Figura 2.26: Área de trabalho do Inspire - Disponível em: [16]

2.3.9.3 SolidWorks

SolidWorks é um *software* DAC (Desenho Assistido por Computador) ou CAD (*Computer Aided Design*), isto é, ele é um dos sistemas de computador feitos para auxiliar no processo de desenhos técnicos. Tais programas possuem uma grande variedade de ferramentas que permitem a criação das geometrias variadas dos objetos. O *software* em questão foi criado em 1995, pela empresa de homônima *SolidWorks Corporation*, seu funcionamento se dá no sistema operacional *Windows*. A responsável hoje pelo programa é a empresa francesa *Dassault Systèmes S.A.*

Este sistema é baseado em computação paramétrica, onde é possível criar formas em três dimensões de desenhos surgidos da aplicação da geometria elementar [43]. Para se criar um desenho, primeiramente é criado um esboço, *sketch*, em inglês, que é onde se insere o trabalho em 2D. Depois, a partir de ferramentas de criação dentro do próprio sistema tal esboço é evoluído para sua forma tridimensional. Com habilidade é possível criar inúmeras formas e montagens que seriam muito trabalhosas de serem feitas manualmente.

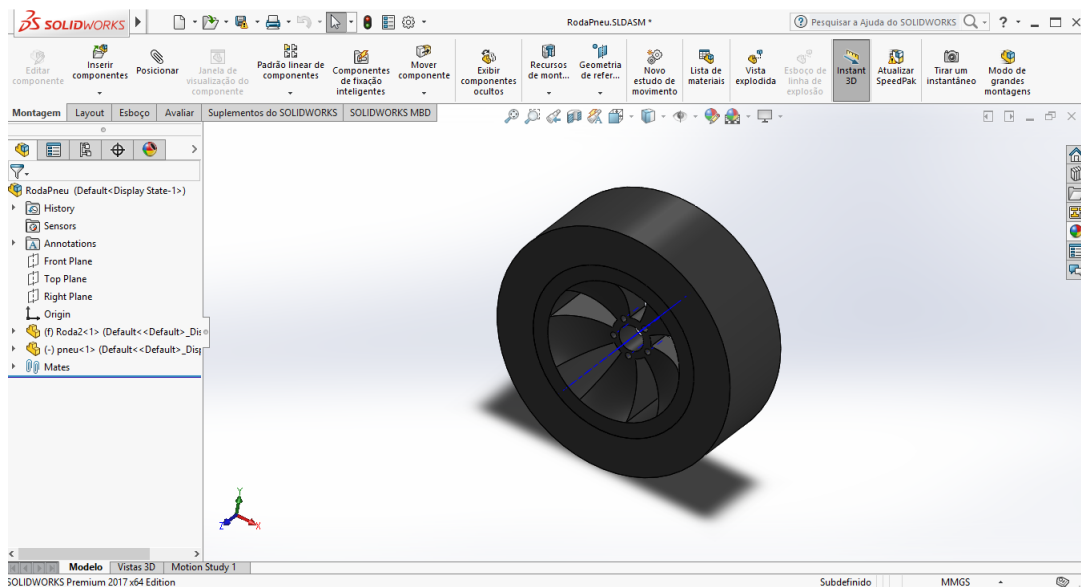


Figura 2.27: Área de trabalho do SolidWorks - Fonte: Próprio autor.

2.3.9.4 Proteus

O *software* Proteus é um programa de projeto e simulações eletrônicas. Tal sistema pertencente a empresa *Labcenter Electronics Ltd.* Sua primeira versão surgiu ainda em 1988, e foi criada por John Jameson, e funcionava na plataforma operacional DOS. Atualizações foram surgindo ao longo do tempo, e apenas dois anos depois já estava sendo implementado para funcionar no sistema operacional *Windows*.

Seu funcionamento combina a captura esquemática, a simulação de circuitos, onde é possível adicionar qualquer tipo de elementos eletrônicos, sendo eles comerciais ou não. Fato que ajuda no teste de circuitos teóricos vistos nas instituições de ensino e não apenas isso, ele também realiza o desenho de placas de circuito, o que auxilia muito no processo de criação. É, ainda, possível realçar outras funções, como as simulações de funcionamento de microcontroladores populares e capacidade de reproduzir seu *firmware*. Além disso, conta com suporte técnico direto com os programadores, o que auxilia a solução de qualquer eventual problema [44].

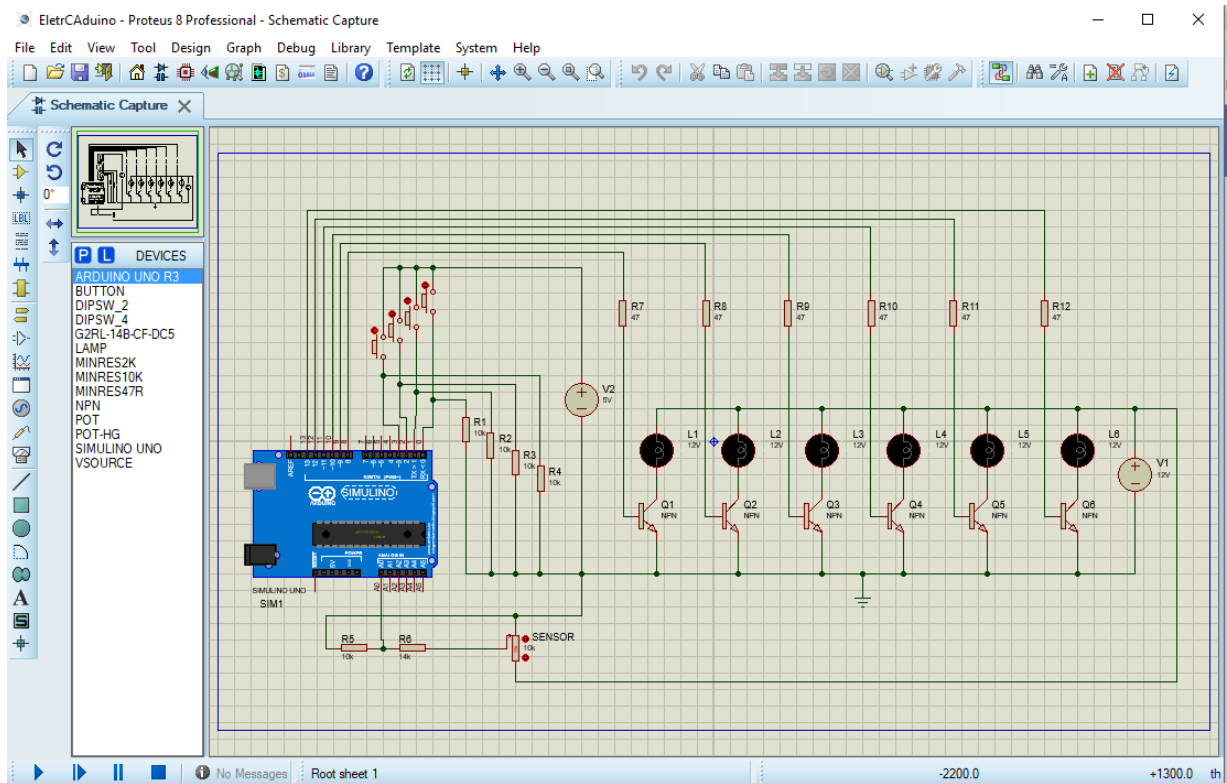


Figura 2.28: Área de trabalho do Proteus - Fonte: Próprio autor.

2.3.9.5 FluidSIM

O FluidSIM é um *software* didático que tem como objetivo simular conhecimentos hidráulicos frutos dos estudos teóricos. Ele foi desenvolvido por uma parceria entre a Universidade de Paderborn, *Festo Didactic GmbH & Co. KG* e *Art Systems Software GmbH, Paderborn*.

O FluidSIM apresenta uma característica única, pois ele une as funções do CAD e a simulação. Desse jeito permite-se a criação de desenhos na norma DIN e sendo possível realizar simulações realistas baseadas no desenho de componentes, eliminando assim a diferença que existe entre os circuitos projetados e a simulação da instalação hidráulica prática. O sistema ainda apresenta a funcionalidade de verificação dos componentes, facilitando assim o trabalho do usuário [45].

O *software* funciona no sistema operacional *Windows* e conta com uma interface que foi desenvolvida de forma especial para ser o mais intuitiva e usual possível.

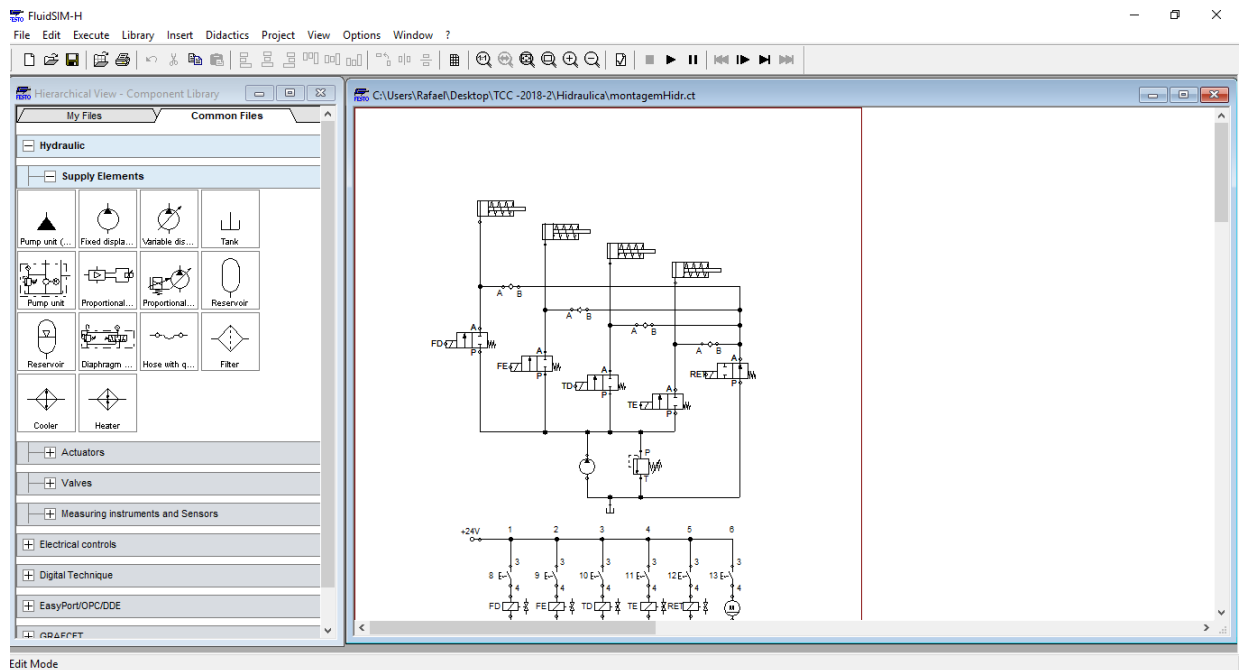


Figura 2.29: Área de trabalho do FluidSIM - Fonte: Próprio autor.

Desenvolvimento

3.1 Projeto geral

O projeto se divide em duas vertentes: uma mecânica e outra eletrônica. Para seu desenvolvimento foi necessário trabalhar individualmente em cada parte, e por fim, realizar a junção de ambas para que se torne o produto desejado.

A parte mecânica se dá pelo desenvolvimento da componente de elevação do conjunto, é aqui onde se dimensiona o cilindro atuador, baseado no peso do veículo e na altura que se pretende elevar. Também é nesta parte que se demonstra os meios de fixação do cilindro, de modo que atenda as especificações do projeto. Ainda é necessário realizar a escolha da bomba hidráulica para o sistema, lembrando que para acioná-la deverá ser por meio de um motor elétrico, pois não é viável realizar modificações no motor para que a mesma seja atuada. Por fim, basta a realizar passagem das linhas hidráulicas, escolher o fluido a ser utilizado e dimensionamento do reservatório.

A seção eletrônica trata de integrar o sistema, este será ligado ao que já existe no carro. Basicamente o funcionamento se dá da seguinte forma: A eletrônica contará com um microcontrolador que recebe informações do sensor de velocidade do veículo, para questões de segurança, permitindo ou não o acionamento do sistema. Estando tudo dentro dos padrões esperados, através de um comando vindo do usuário, ativa-se a bomba, fecha-se a válvula de retorno (normalmente aberta por questões de segurança) e ativa a válvula eletrônica corresponde ao cilindro selecionado, acionando assim o conjunto. É importante ressaltar que será permitido a ativação apenas de um cilindro por vez, para não sobrecarregar os elementos. Este controle é feito pela lógica de programação incluída no microcontrolador.

A progressão de cada parte será descrita nas seções e subseções a seguir.

3.2 Estrutura Mecânica

3.2.1 Cargas

Esta é uma das seções de vital importância para o projeto, pois é onde se calcula os pilares do funcionamento, os atuadores. Serão utilizados quatro cilindros hidráulicos para elevar cada ponto de apoio do carro. Para descobrir a força necessária que cada um destes deve fazer e as suas demais características, se faz necessário os cálculos de dimensionamento.

Para o projeto do produto escolheu-se um carro que tem sua distribuição de peso simétrica, ou seja, 50% do peso no eixo traseiro e 50% no eixo dianteiro. Sua simetria também é válida pelas laterais, o que significa que metade do peso do veículo está alocado na sua lateral esquerda e a outra metade na lateral direita. O modelo de automóvel que compreende estas características é um BMW série 3, carroceira E36. Conforme mostrado na Figura 3.1.

Primeiramente é fundamental que seja conhecido o peso do carro como um todo. Considerando que o mesmo apresenta uma massa de 1365 Kg a seco, de acordo com o manual do proprietário, e somando mais o peso de um condutor de 80 Kg e, ainda, adicionando 45 Kg de gasolina, correspondendo ao tanque cheio, e 10 Kg dos outros fluidos, como o líquido de arrefecimento e demais lubrificantes, chega-se a uma massa total de 1500 Kg. Sabe-se que a aceleração da gravidade é de $9,80665 \text{ m/s}^2$, então tem-se que o peso (W) é dado pela Equação 3.1

$$W = \text{massa} \times \text{gravidade} = 1500 \times 9,80665 = 14.709,98N. \quad (3.1)$$

A fim de agregar outras variáveis do processo, como um carro carregado, com lotação máxima, com tanque cheio, entre outras coisas, o peso do carro será multiplicado por um coeficiente de segurança de dois para que o projeto seja robusto de tal maneira que absorva estes parâmetros. Então, para fins determinísticos, o peso do carro é de 29.419,45 N.



Figura 3.1: BMW série 3, E36 [17]

Para continuar com o cálculo de força, se faz necessário conhecer algumas medidas do veículo, uma delas é a distância entre eixos, que para este modelo é igual a 2700 milímetros. Como mostra a Figura 3.2.



Figura 3.2: BMW série 3, E36. Dimensão entre eixos. [18]

A Figura 3.3 já mostra outro comprimento relevante ao cálculo das forças necessárias ao levantamento do carro, que é a medida entre o ponto onde o cilindro fica apoiado e o meio da roda adjacente. Decidiu-se utilizar como ponto de apoio para este sistema os locais que o chassi do carro sai preparado para receber os macacos hidráulicos de fábrica, visto que estes lugares já são reforçados para conseguir suportar o esforço exigido, dessa forma se torna o local mais seguro para instalação do sistema. No carro em questão, essa distância se dá de acordo com a Imagem 3.3. A distância da roda dianteira a seu macaco é de 750 milímetros ou 0,75 metros e na roda traseira a medida corresponde a 700 milímetros ou 0,7 metros.



Figura 3.3: BMW série 3, E36. Distância entre o cilindro e o centro da roda [18]

Conhecendo essas dimensões pode-se realizar o cálculo dos momentos em cada roda.

Para descobrir a força necessária que o macaco adjacente a roda traseira, aqui chamada de B, tem que suportar deve-se que calcular os momentos na roda dianteira, denominada roda A. Pela simetria do veículo, cada roda suporta 1/4 peso do automóvel. Em que:

$$\sum MA = 0 \quad (3.2)$$

$$\left[-\frac{w}{2} \times \left(\frac{a}{2}\right)\right] + [F_{MT} \times (a - b)] = 0 \quad (3.3)$$

Onde,

- a = Distância entre eixos;
- b = Distância entre o ponto de apoio do macaco e o centro da roda traseira;
- F_{MT} = Força do macaco traseiro.

Substituindo as variáveis, a Equação 3.3 retorna o seguinte resultado:

$$F_{MT} = 9.929,233N \quad (3.4)$$

De forma análoga a força exercida pelo macaco dianteiro é dada por:

$$\left[-\frac{w}{2} \times \left(\frac{a}{2}\right)\right] + [F_{MD} \times (a - c)] = 0 \quad (3.5)$$

Onde,

- a = Distância entre eixos;
- c = Distância entre o ponto de apoio do macaco e o centro da roda dianteira;
- F_{MD} = Força do macaco dianteiro.

Substituindo os valores e realizando os cálculos algébricos o valor retornado é:

$$F_{MD} = 10.183,829N \quad (3.6)$$

Com isso feito, tem-se as forças que são necessárias para que cada pistão realize o trabalho.

3.2.1.1 Cilindros atuadores

A altura que o atuador deve ser capaz de elevar o veículo, para que a roda e o pneu estejam completamente sem contato com solo, é da ordem de, no mínimo, 205 milímetros. Isso não significa que o cilindro tenha que ter um avanço compreendendo a altura total. Na verdade o comprimento da haste completamente esticada com o a altura do cilindro combinados deve atender à medida citada anteriormente.

Dessa forma, os cilindros devem:

- Ter um curso mínimo de 201 mm.
- Suportar a carga máxima de 10.183,13 N.

Com essa lista de requerimentos o cilindro escolhido foi o RC108 fabricado pela Enerpac. O modelo conta com as seguintes características:

- Área efetiva de $0,00145 \text{ m}^2$;
- Curso de 203 mm;
- Suporta a carga máxima de avanço de 101.000 N.

Para fins de segurança com o cilindro escolhido, calcula-se a carga crítica de flambagem, dada pela Equação 2.3, encontrada na subseção 2.3.1.2. Onde tem-se que as variáveis conhecidas são: π , o módulo de elasticidade para o aço de 210 GPa, L comprimento efetivo de 203 mm. Falta apenas a variável correspondente ao momento de inércia, I, que para elementos cilíndricos pode ser encontrado através da Equação 3.7. [2]

$$I = \frac{\pi D^4}{64} \quad (3.7)$$

Onde D é o diâmetro do cilindro.

Então o raio é igual a 0.0215 metros ou 21,5 mm. Com o raio é possível descobrir seu diâmetro, que equivale a $2 \times \text{raio}$ e assim pode ser calculado o momento de inércia dado pela Equação ??, então I é igual a:

$$I = \frac{\pi \times [(0,0215 \times 2)]^4}{64} \rightarrow I = 1,678200 \times 10^{-7} \text{ m}^4 \quad (3.8)$$

Sabendo o momento de inércia se calcula então a carga crítica.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^9 \times 1,678200 \times 10^{-7}}{0,7 \times 0,203^2} \rightarrow P_{cr} = 12.057.926,74 \text{ N} \quad (3.9)$$

Então a carga crítica para um cilindro desse porte é dada na ordem de 12.058 KN, ou seja, vai suportar com folga a carga de 10,183 KN.

Uma característica deste cilindro de fundamental importância neste projeto é que este modelo conta com retorno por mola, o que elimina a preocupação com tal movimento. Poupa-se assim um planejamento de uma estrutura hidráulica mais complexa. Com isso, é possível observar que este item atende à todas demandas do projeto. O cilindro pode ser observado na Figura 3.4.

Para os fins de simulação no *software* Ansys, este elemento foi desenhado tridimensionalmente na plataforma *SolidWorks* e ele conta com as exatas dimensões do modelo real, que são:

- 203 mm de haste;
- 298 mm de comprimento fechado;
- Diâmetro total de 60 mm;
- Diâmetro da haste de 35 mm.



Figura 3.4: Cilindro atuador [19]

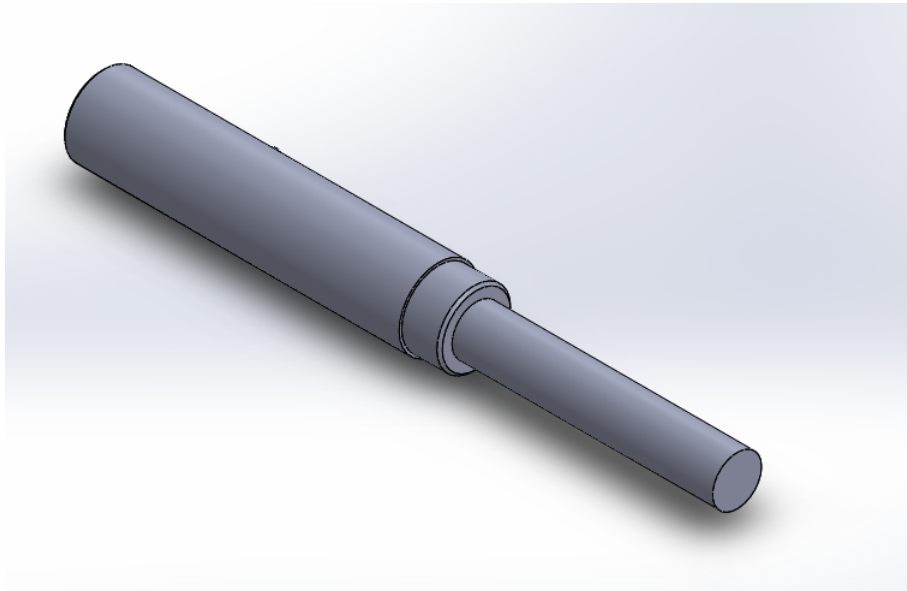


Figura 3.5: Cilindro atuador 3D. Fonte: Próprio autor

3.2.1.2 Normas de segurança

Para aplicações de levantamento de estruturas, normalmente segue-se algumas normas que apresentam maneiras de tornar o sistema mais seguro possível, tentando abranger o máximo de variáveis possíveis existentes no projeto.

Na subseção 3.2.1 foi dimensionado um coeficiente de segurança de 2 (dois) para compreender as variáveis do que afetam o peso do veículo. E aqui, nesta parte do trabalho, atribui-se o coeficiente de segurança vindo a partir de normas, para que possa ser feito o trabalho de forma mais planejada possível, evitando qualquer tipo de problemas. Não existem normas específicas para este projeto. Então, adotou-se as normas NBR8400, NBR6118 e EN13155, estas são diretamente aplicadas para os cálculos de levantamento e movimentação de cargas, sendo aplicada mais diretamente em estruturas como: pontes,

pórticos rolantes e guindastes. Sendo essas as que mais se aproximam do sistema proposto.

Com o estudo das normas aplicadas para o material em questão (aço ABNT 1045) as variáveis envolvidas foram definidas considerando as solicitações estáticas devidas as cargas de serviço (Sl) multiplicadas pelo coeficiente dinâmico (ψ). O conjunto destas solicitações deve ser multiplicado pelo coeficiente de majoração (M). Para o valor do coeficiente de majoração podemos defini-lo como 1,35 pela NBR8400 considerando a função mais próxima ao equipamento, como mostra a Figura 3.6

Pontes, semipórticos e pórticos com guia de carga para manuseio de chapas, tarugos, trefilados, bobinas, barras e perfis	1,35
Pontes de viga giratória	
Pontes para recuperação de carepa	
Pontes, semipórticos e pórticos sem guia de carga para basculamento de chapas (escarragem)	
Pontes para carregamento de sucata na aciaria	
Semipórticos para carregamento da caçamba do BOF	
Pontes e pórticos para transporte da panela de escória	
Pórticos para coqueria	
Pórticos para coleta e mistura de minérios	

Figura 3.6: Coeficiente de majoração da Norma 8400 [20]

E Para o coeficiente dinâmico foi-se definido o valor de 1,15 devido à baixa velocidade que o equipamento possui, além do tipo do mesmo. Dados estes tirados da Figura 3.7 abaixo, adquirida em norma.

Equipamento	Coeficiente dinâmico ψ	Faixa de velocidade de elevação da carga (m/s)
Pontes ou pórticos rolantes	1,15	$0 < v_L \leq 0,25$
	$1 + 0,6 v_L$	$0,25 < v_L < 1$
	1,60	$v_L \geq 1$
Guindaste com lanças	1,15	$0 < v_L \leq 0,5$
	$1 + 0,3 v_L$	$0,5 < v_L < 1$
	1,3	$v_L \geq 1$

Figura 3.7: Coeficiente de dinâmico da Norma 8400 [20]

Dessa forma a carga de utilização é dada por:

$$S_c = 1,35 \times (1,15 \times 10183,83) = 15810,4N \quad (3.10)$$

3.2.2 Bomba

A bomba que foi utilizada no projeto foi calculada através das Equação 2.7 descrita em 2.3.3. Como o esforço máximo é conhecido, sendo da ordem de 15810 N e também sabe-se a área da haste do cilindro, que é informada pelo fabricante, tem-se que:

$$P = \frac{F}{A} \rightarrow P = \frac{15810}{0,00145} = 10.903.448,28 Pa \rightarrow 109,034 Bar. \quad (3.11)$$

Com essa pressão é possível especificar a bomba que será utilizada, que é o modelo da Bosch,, o K S01 000 051. Que apresenta a pressão de trabalho de justamente 110 bar.



Figura 3.8: Bomba do sistema [21]

A bomba apresenta uma vazão que varia de 5 a 25 litros por minuto [46], e como visto no Capítulo 2, seção 2.3.2.2, sistemas óleo-hidráulicos tem o funcionamento ideal de se trabalhar com vazões de 20 a 200 litros por minuto. Então a vazão de trabalho do sistema foi adotada como 20 litros por minuto.

3.2.3 Reservatório

O volume total do reservatório corresponde a três vezes a vazão do sistema. Como neste caso a vazão é 20 litros por minuto, então tem-se que o volume para este caso é de 60 litros, como demonstra a Equação 3.12.

$$V_{res} = 3 \times Q = 3 \times 20 = 60 \text{litros} \quad (3.12)$$

3.2.4 Área mínima útil dos cilindros

Com base na pressão de trabalho dimensionada para ser de 110 bar, pôde-se verificar se a área efetiva dos cilindros estão dentro do especificado, para isso, fez-se uso da Equação 2.7 e aplicando os valores, tem-se que, para os cilindros dianteiros:

$$11000000 = \frac{10.183,829}{Area} \Rightarrow A = 0,000926m^2 \quad (3.13)$$

E para os cilindros traseiros:

$$11000000 = \frac{9.929,233}{Area} \Rightarrow Area = 0,000903m^2 \quad (3.14)$$

Com base nos resultados encontrados, para uniformizar o projeto e procurando meios de facilitar qualquer tipo de manutenção adotou-se, então, apenas uma medida de área, de modo que atenda a necessidade de erguimento da carga mais pesada, no caso 10.183,13 N. Para isso verifico-se que o cilindro escolhido está dentro do especificado, tendo uma área maior que 10 centímetros quadrados ou 0,001 m^2 .

3.2.5 Mangueiras

Para o dimensionamento do diâmetro dos tubos flexíveis de condução do óleo, faz-se uso das Equações 2.4 2.5 e 2.6, demonstradas na seção 2.3.2.2. A pressão de trabalho do sistema é de 110 bar e a vazão é de 20 litros por minuto, então:

$$v = 121,65 \times 110^{\frac{1}{3,3}} = 505,49 \text{cm/s} \quad (3.15)$$

$$d_t = \sqrt{\frac{Q}{0,015 \times \pi \times v}} = 0,916 \text{mm} \quad (3.16)$$

O diâmetro interno encontrado para tais parâmetros foi de 0,916 milímetros, então o valor comercial que mais se aproxima é o de 0,97 milímetros e o valor do diâmetro externo correspondente é de 1,27 centímetros ou 1/2 polegada.

O modelo escolhido para esta tarefa foi a Parker 301, que atende o desempenho da SAE 100R2 e aceita a pressão de trabalho do sistema.



Figura 3.9: Mangueira de pressão [22]

3.2.6 Óleo hidráulico

Fluidos hidráulicos é o meio de transmissão de energia em qualquer maquinário hidráulico. Eles são, normalmente a base de petróleo e contêm outras substâncias na sua composição, como: lubrificantes, antiespumantes, abaixadores de ponto de congelamento, entre outros. Para esta finalidade o fluído escolhido foi o Texaco HD 32, que se aplica para bomba de palhetas, com pressão acima de 1000 Psi ou 69 bar [23].

3.2.7 Número de Reynolds

Como visto na capítulo 2, seção 2.3.2.2. O escoamento deve ser laminar para evitar perdas de carga e aquecimento. Então, através da Equação 2.6, o número de Reynolds para este projeto é de:

$$R_e = \frac{v \times d_t}{\nu} \rightarrow \frac{505,49 \times 0,97}{0,8565} = 572,48 \quad (3.17)$$

Então para este sistema, o escoamento é laminar, atendendo as especificações

3.2.8 Válvulas

Para este projeto são utilizadas cinco válvulas solenoides de duas vias, quatro normalmente fechadas e uma normalmente aberta. O modelo da válvula escolhida é demonstrado na Figura 3.10, elas podem ser utilizadas com uma vazão de até 57 litros por minuto e com uma pressão máxima de 700 bar.

3.2.8.1 Válvula de alívio

A válvula escolhida para o trabalho de manter a pressão dentro do estipulado, é a de alívio *R series* da Parker. A mesma trabalha com pressões 0.7 bar até 400 bar.



Figura 3.10: Válvula hidráulica [24]



Figura 3.11: Válvula de alívio [25]

3.2.9 Estrutura de fixação

Para que se possa levantar o carro, é necessário que exista algo em que o cilindro possa se apoiar, de modo que possa transferir a força que está sendo aplicada ao chão para o chassi do carro, e assim elevá-lo. Para solucionar este problema surgiu-se a ideia de apoiar o cilindro sobre suportes de aço, um inferior e outro superior. O projeto de ambos podem ser observados nas Figuras 3.13 e 3.14.

O suporte superior foi formado através do resultado obtido pela simulação no *software Inspire*, que retornou tal geometria como a ideal para o tipo de projeto, para que possa resistir aos 15810 N, calculados em 3.2.1.2.

3.2.9.1 Dimensões dos suportes

O material do suporte deve suportar a força de no máximo 15.810 newtons, quando se aplica o coeficiente visto na seção 3.2.1.2, sem que haja uma ruptura na sua estrutura. Como neste caso foi escolhido o aço 1045, típico para estruturas metálicas, fez-se então o dimensionamento da espessura seguindo o equacionamento demonstrado abaixo. O pri-

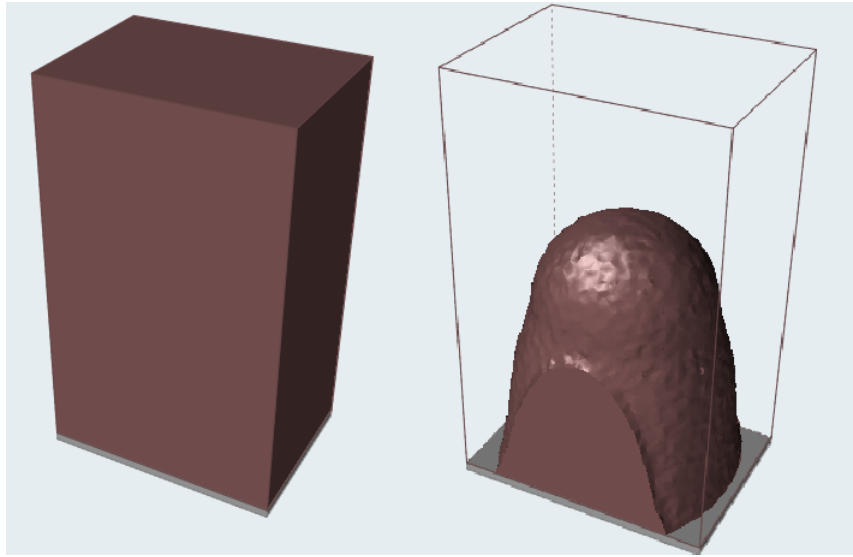


Figura 3.12: Esboço da forma para o suporte superior do cilindro. Fonte: Próprio autor.

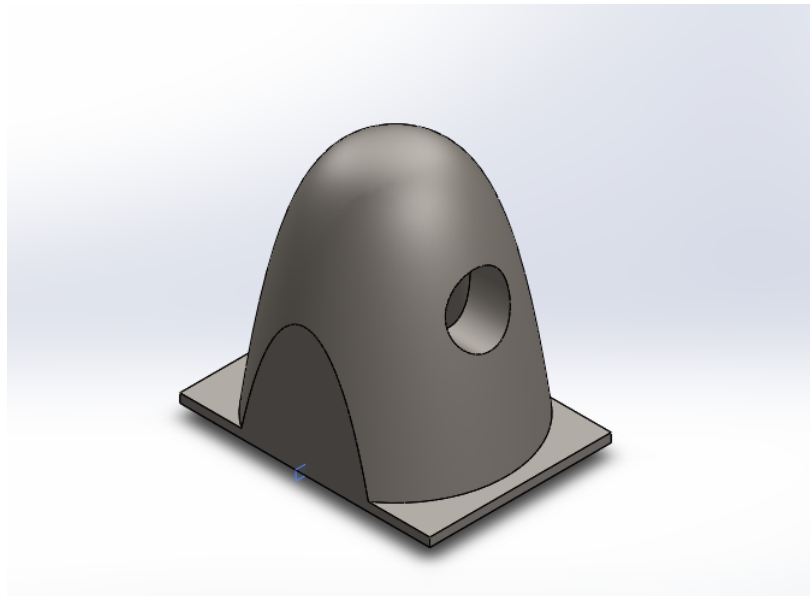


Figura 3.13: Suporte superior para o cilindro. Fonte: Próprio autor.

meio passo é calcular a tensão admissível (τ_{adm}), através da relação realçada na Equação 3.18.

$$\frac{\tau_{ult}}{\tau_{adm}} = KS \quad (3.18)$$

Onde τ_{ult} é a tensão última.

A razão entre estas tensões é o KS, coeficiente de segurança. Na maioria dos casos, esta tensão última corresponde a metade da tensão de escoamento de cisalhamento [1]. Como esta tensão do aço 1045 corresponde a 450 *MPa*, então a última tem seu valor correspondente a 225 *Mpa*. Com isso tem-se que:

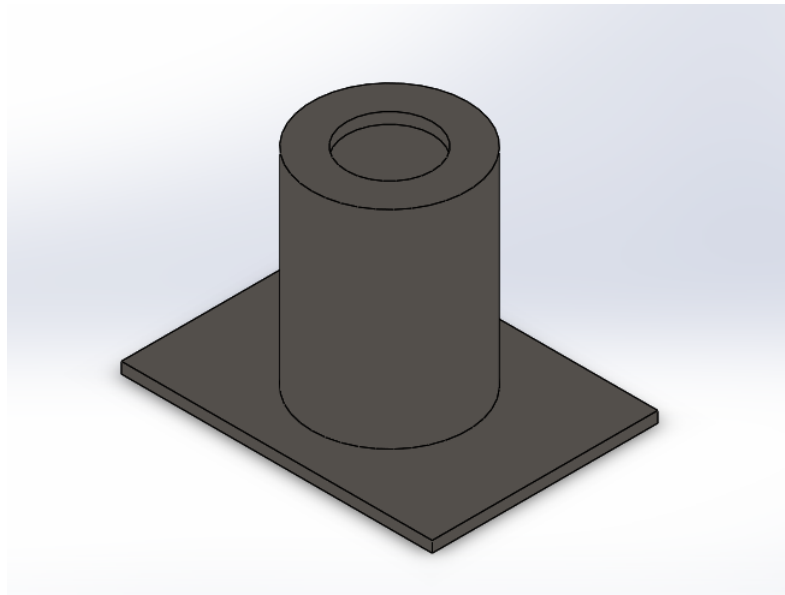


Figura 3.14: Suporte inferior para o cilindro. Fonte: Próprio autor.

$$\tau_{adm} = \frac{\tau_{ult}}{KS} \quad (3.19)$$

Como o coeficiente de segurança adotado neste projeto foi de 2 mais os calculados na seção 3.2.1.2, então:

$$\tau_{adm} = \frac{225}{2} = 112,5 \text{ Mpa} \quad (3.20)$$

Com isso, tem-se a relação:

$$\tau_{adm} = \frac{F}{A} \quad (3.21)$$

Onde, F é a força e A a área em questão.

Substituindo os valores tem-se que a área mínima para que não ocorra o cisalhamento é de:

$$A = \frac{15810,4}{112,5} = 140,5469 \text{ mm}^2 \quad (3.22)$$

A área pode ser calculada como:

$$A = (\pi \times D) \times H \quad (3.23)$$

Onde D é o diâmetro do cilindro que está forçando o suporte, que no caso é de 60 milímetros e H é a altura mínima para que não se rompa, então, isolando H , tem-se que a altura mínima é de:

$$H = \frac{140,5469}{(\pi \times 60)} = 0,7456mm \quad (3.24)$$

Como mostrado pela Equação 3.24, a altura mínima é bem pequena, então adotou-se, como medida de prevenção, 5mm de espessura, para o suporte inferior e 31,44 milímetros para o suporte superior.

Para o suporte superior as medidas são:

- 5mm de espessura de base;
- 140mm de comprimento da base;
- 101,6mm de largura da base;
- 60mm de furo para alocar o cilindro;
- 134,29 mm de altura;
- 31,44 mm de espessura superior.

Tais medidas são demonstradas nas Figuras 3.15, 3.16, 3.17, 3.18.

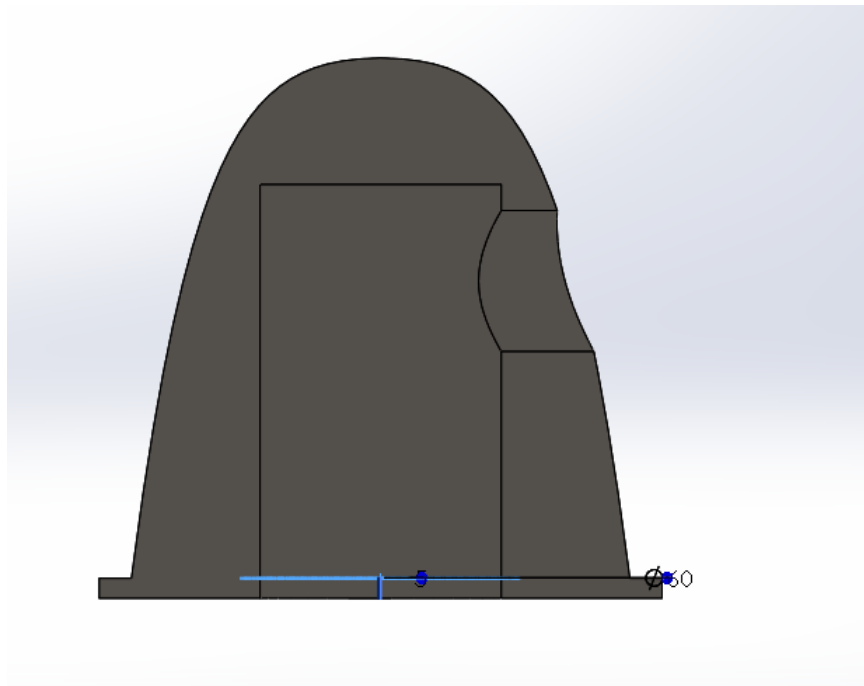


Figura 3.15: Espessura da base do suporte superior. Fonte: Próprio autor.

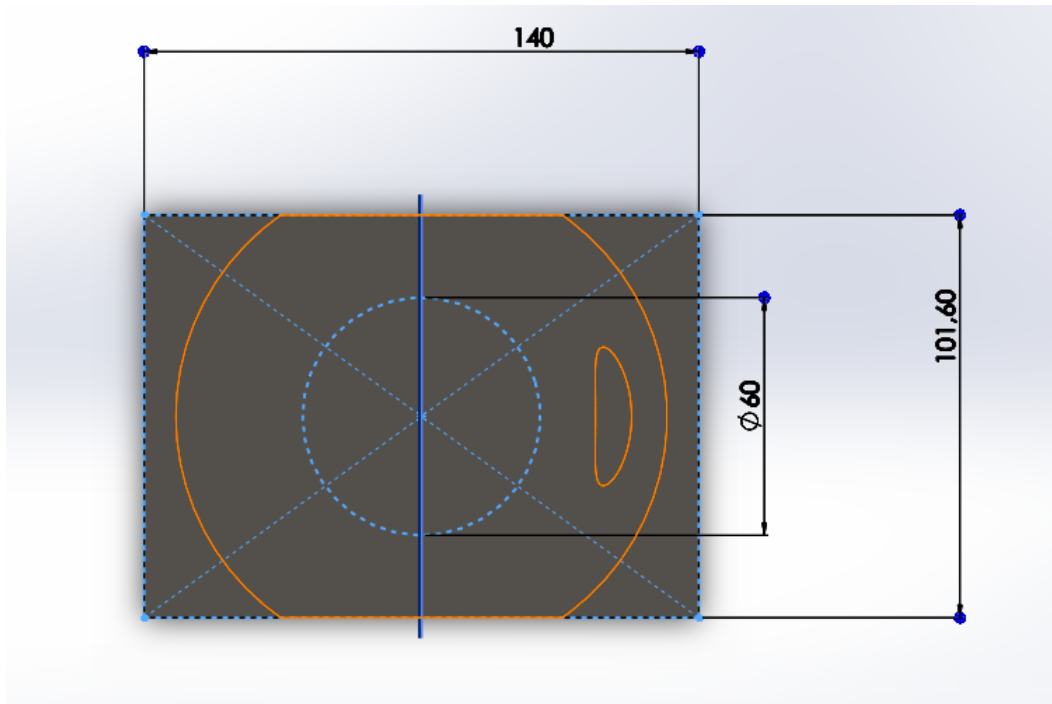


Figura 3.16: Dimensões da base do suporte superior. Fonte: Próprio autor.

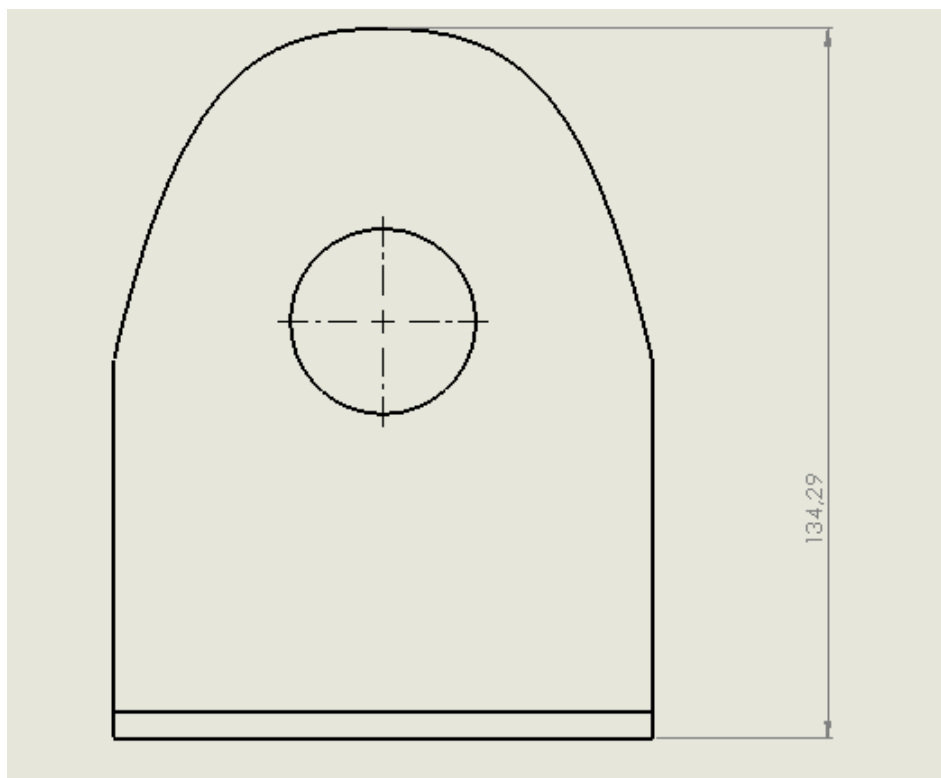


Figura 3.17: Altura do suporte superior. Fonte: Próprio autor.

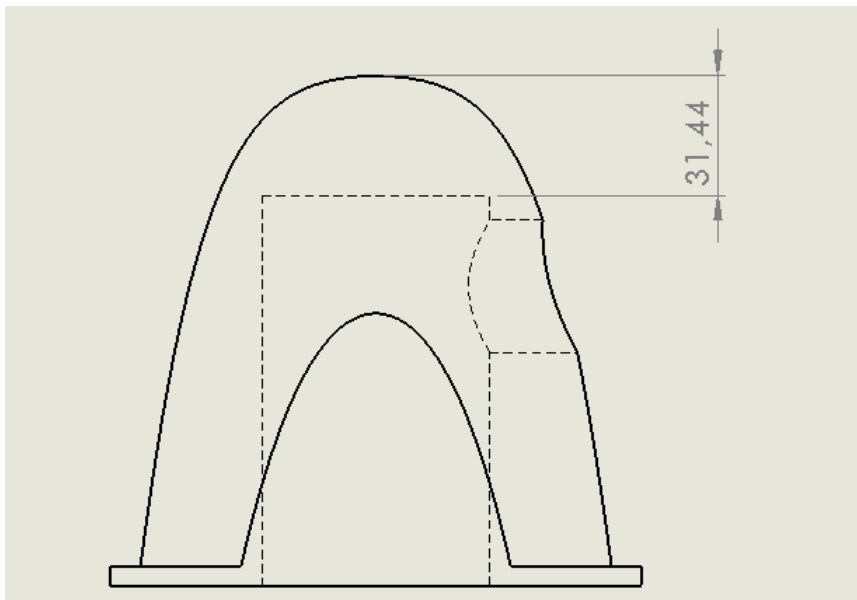


Figura 3.18: Espessura da parte superior do suporte. Fonte: Próprio autor.

Nota-se que no suporte superior existe um furo próximo ao seu topo, como mostra a Figura 3.19, o mesmo serve para fixar o engate de encaixe rápido que é montado no cilindro atuador. Ele tem diâmetro de 35 milímetros, que é o tamanho encaixe.

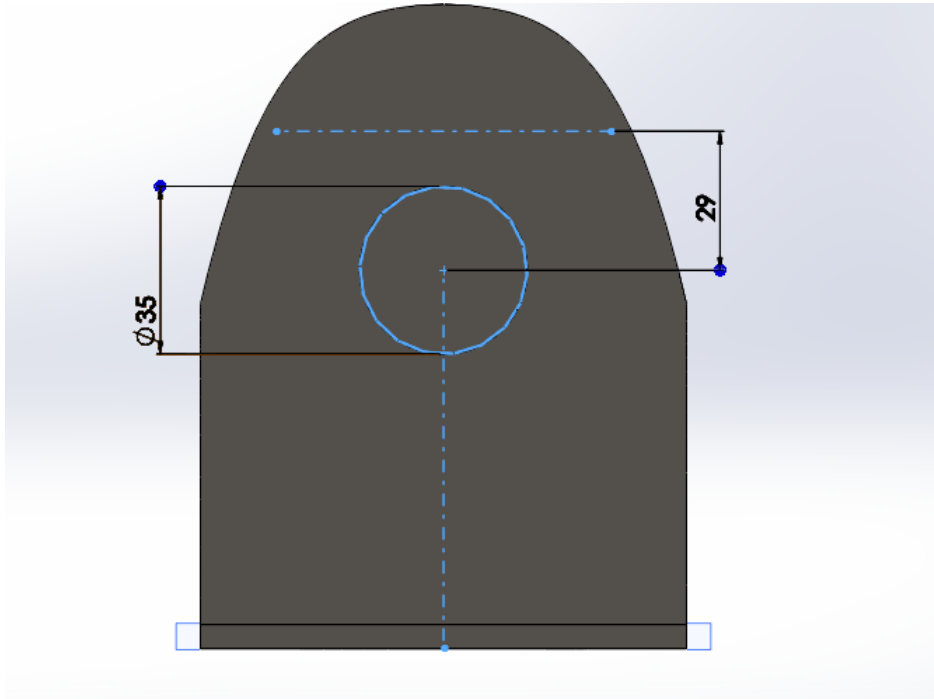


Figura 3.19: Furo para encaixe rápido do suporte superior. Fonte: Próprio autor.

Agora, para o suporte inferior, as medidas são:

- 5mm de espessura da base;
- 140mm de comprimento da base;
- 101.6mm de largura da base;
- 60mm de furo para alocar o cilindro;
- 107,85 mm de altura;
- 5 mm de espessura.

Tais medidas são demonstradas nas Figuras 3.20, 3.21, 3.22 e 3.23.

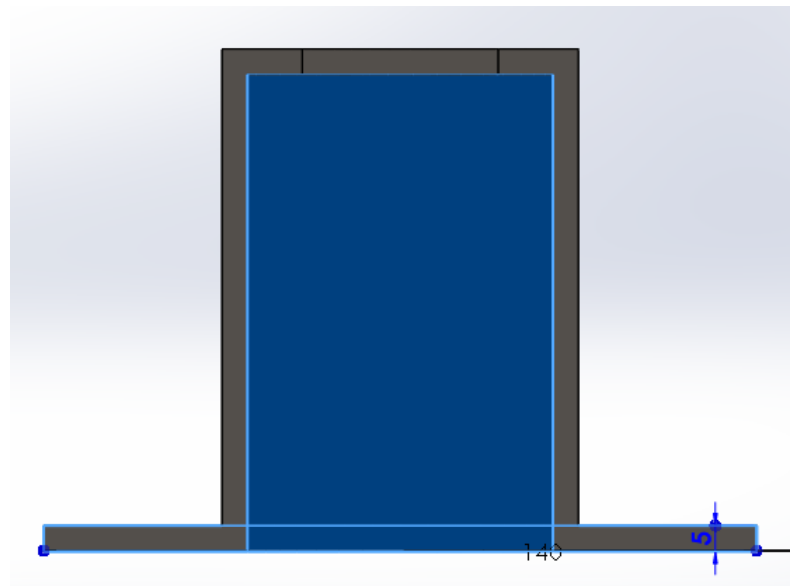


Figura 3.20: Espessura da base do suporte inferior. Fonte: Próprio autor.

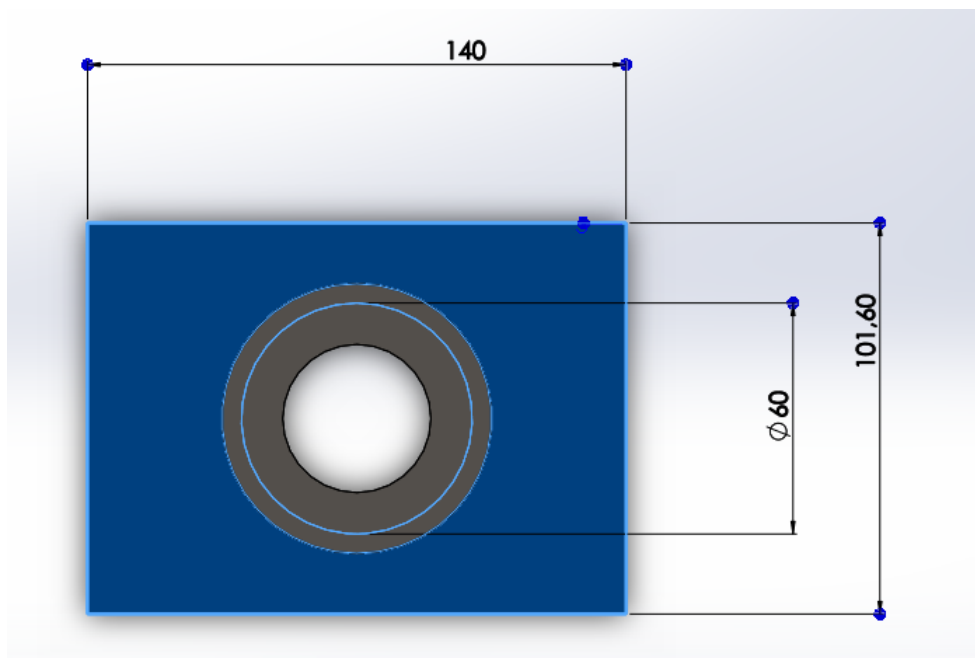


Figura 3.21: Dimensões da base do suporte inferior. Fonte: Próprio autor.

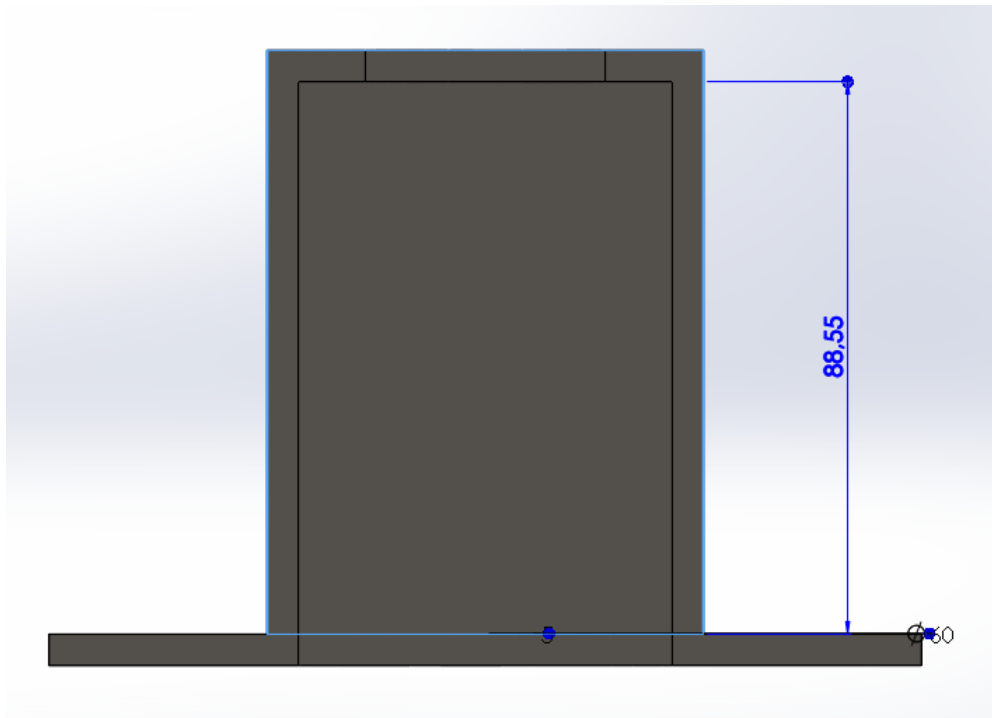


Figura 3.22: Altura do suporte inferior. Fonte: Próprio autor.

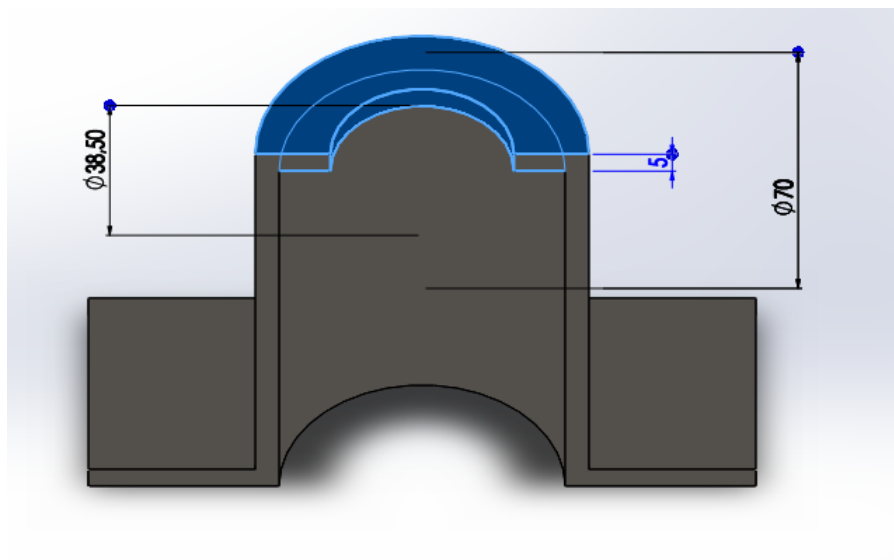


Figura 3.23: Espessura da parte superior do suporte inferior. Fonte: Próprio autor.

É válido ressaltar que o suporte inferior possui um furo de 38,5 mm de diâmetro, como mostra a Figura 3.24. Feito para a passagem somente da haste do cilindro, para que ao ser esticada possa sair do suporte e entrar em contato com o solo e, assim, elevar o carro.

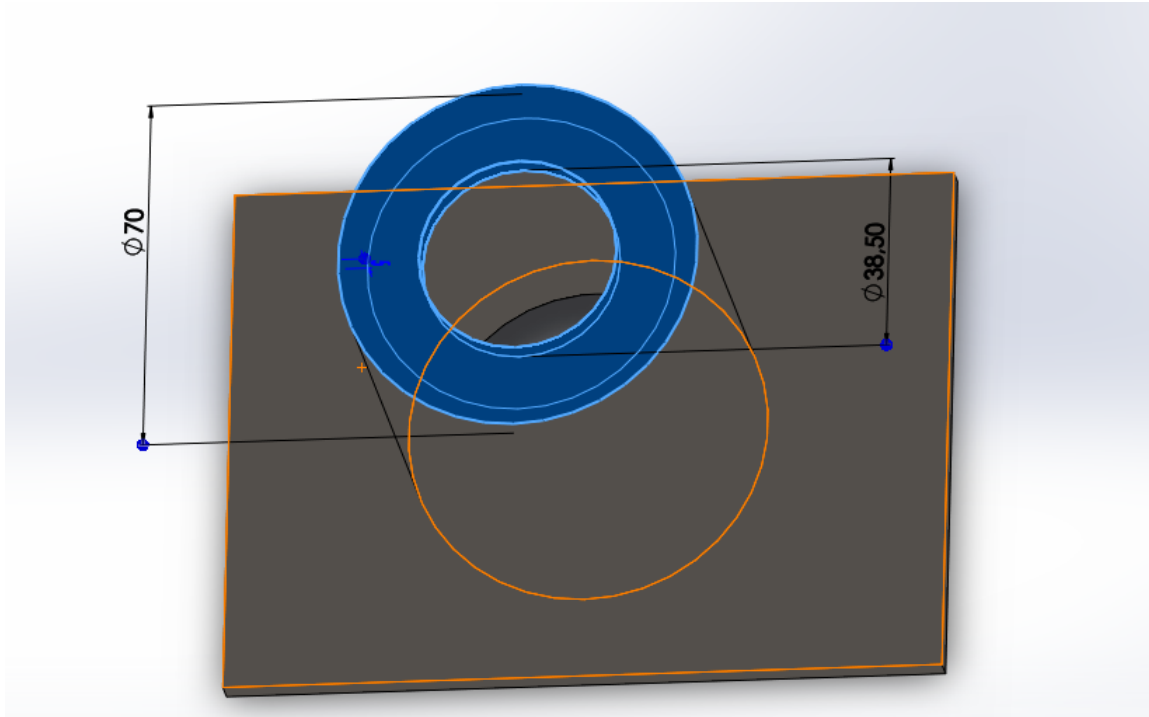


Figura 3.24: Furo para passagem da haste. Fonte: Próprio autor.

3.2.9.2 Fixação

Os cilindros serão encaixados nos suportes. Os superiores serão soldados no chassi, e os inferiores, que servem como guias, são fixados na estrutura do veículo por meio de parafusos, os quais devem suportar apenas o peso do próprio cilindro, dessa forma um parafuso M12 é capaz de suportar tal força [47].

3.2.9.3 Altura de elevação

Para este projeto deve-se alocar o cilindro a uma altura ideal em relação ao solo de maneira que, quando sua haste for estendida, ele consiga erguer o veículo o suficiente para retirar a roda do chão. Esta altura será adaptada a cada veículo, visto que cada carro sai da linha de montagem calçando rodas e pneus de tamanhos diferentes.

Entretanto, para os fins do protótipo foi feito os cálculos utilizando uma roda de treze polegadas com um pneu 165/45/R13, ou seja, a altura do pneu corresponde a 45% da largura do mesmo, que neste caso é de 165 milímetros, assim sua altura é de 74,25mm. A roda é fixada bem ao meio da estrutura do chassi, que tem uma espessura de 4 polegadas, ou 101,6mm. Então a altura que o chassi está do solo é dada pela metade da roda mais

a largura do pneu menos a metade do espessura do chassi, chegando a uma medida de 188,55 milímetros. Ainda é considerado mais 16,45 milímetros para a questão da extensão da mola do amortecedor, chegando assim nos 205 milímetros citados em 3.2.1.

O cilindro está a uma altura de 95 milímetros em relação ao solo. Esta medida é alcançada pela diferença entre a altura do chassi em relação ao chão e o comprimento do suporte inferior. O cilindro conta com 198 milímetros de extensão, 5 milímetros a menos que o comprimento da haste total, pois existe a espessura do elemento de fixação. Com isso, a altura de toda a extensão da haste mais o corpo do cilindro gera um comprimento total de elevação de 293 milímetros. Isso faz a altura que a roda seja elevada seja dada por:

$$\text{Altura} = 293 - 205 = 88\text{mm} \quad (3.25)$$

A elevação da roda será de 8,8 centímetros em relação ao solo, sendo mais do que suficiente para realizar a troca da mesma. As Figuras 3.25 e 3.26 demonstram essa elevação.

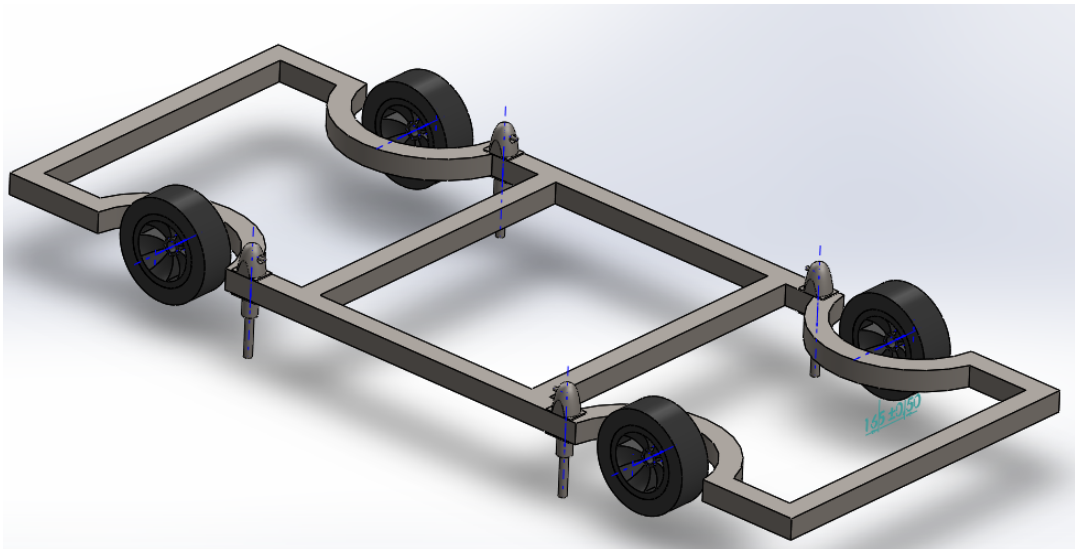


Figura 3.25: Estrutura em perspectiva. Fonte: Próprio autor.

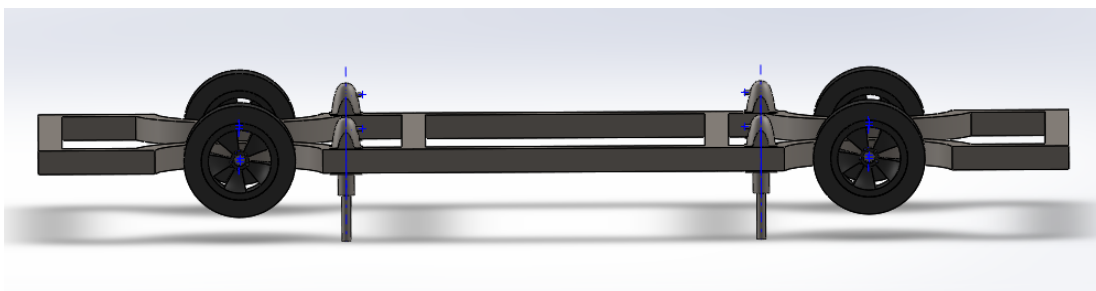


Figura 3.26: Estrutura vista lateral. Fonte: Próprio autor.

3.3 Parte Eletrônica

3.3.1 Microcontrolador

O projeto necessita de apenas um microcontrolador que precisa contar com as seguintes características:

- Duas portas de entrada para conversor Analógico-Digital;
- Saídas/entradas digitais;
- Suportar temperatura de até 70 °C .

O controlador escolhido é o ATmega328p, hoje fabricado pela Microchip. A escolha deste componente se dá pelo fato de que ele atende as especificações apresentadas e é o que compõe a placa Arduino Uno, mostrado na Figura 3.27. Esta plataforma, amplamente difundida atualmente, possui conexão com o computador através de uma porta USB que permite a programação do mesmo por meio de um programa específico, o que torna mais fácil o trabalho que envolve o microcontrolador. Ele ainda conta com reguladores de tensão que permitem usar alimentação acima de 5 Volts, como, por exemplo, 12 Volts presente na maioria dos sistemas automotivos.



Figura 3.27: Arduino UNO [26]

Além do que já foi citado, ele consegue suprir a demanda de entradas e saídas, contando com 23 portas. Possuem também 8 canais de conversor Analógico-Digital e pode ser utilizado em ambientes que estejam com a temperatura entre -40°C e 105°C .

3.3.1.1 Lógica do microcontrolador

O microcontrolador é quem permite o acionamento do sistema, neste caso ele tem como primeira função a leitura do dado do sensor de velocidade. Se o mesmo estiver

enviando sinais de que o carro está parado o Arduíno permite acionar o conjunto ao apertar um botão no painel do carro. Ligando, assim, o motor da bomba, a válvula de retorno e as válvulas correspondentes a cada cilindro. Caso contrário, se o veículo estiver em movimento, mesmo que seja apertado algum botão, nada é ligado. É também programado um modo operante de tal maneira que não é permitido acionar mais de uma válvula por vez, para preservar o funcionamento ideal do sistema. O código implementado para no Arduíno é disponibilizado no anexo A.

3.3.2 Sensor de velocidade

O sensor de velocidade é um equipamento padrão de todos os veículos do mercado, normalmente são encontrados nas configurações: magnético e de Efeito Hall, como dito na subseção 2.3.5.5. Este elemento normalmente está alocado na caixa de câmbio ou no diferencial do veículo.

Seu funcionamento se dá através de um estator com um ímã central permanente e um núcleo de ferro macio acoplado a um enrolamento de indução. Ele é posicionado bem próximo a roda dentada, de modo que tenha um espaço bem pequeno entre eles. Dessa maneira, quando a roda rotaciona, o espaço de ar que existe entre o sensor e a roda varia e em função disso, o campo magnético do ímã permanente presente no equipamento se expande e contrai com uma frequência variando com a velocidade que os dentes se aproximam e recuam do sensor. Esta variação de fluxo gera uma corrente no circuito do estator, a direção e grandeza desta dependem inteiramente da velocidade da roda fônica. Quando a velocidade aumenta a frequência, por sua vez, cresce proporcionalmente. [40]



Figura 3.28: Sensor de velocidade. Fonte: MTE-Thomson

O sensor trabalha enviando estes dados para uma ECM (do inglês *Engine Control Module*). A ideia aqui é conseguir captar esse sinal para ser ligado ao microcontrolador

e com ele verificar o estado inercial do carro. Dessa forma, não será escolhido um tipo específico de sensor, para que o projeto possa aproveitar o máximo de componentes já existentes no sistema e, assim, economizar recursos.

O presente elemento funciona na faixa de 0 a 12 Volts. Sendo 0 quando o carro está parado. Como dito anteriormente, o movimento do carro gera uma alteração no campo magnético do sensor, e um conversor dentro do próprio componente faz o trabalho de medir essa grandeza física e transformá-la em sinais elétricos, como no caso a tensão.

Para os fins de simulação o sensor foi substituído por um resistor variável, que permite ser atuado manualmente. Isso foi feito para verificar o funcionamento da lógica do programa implementado. Este elemento é ligado a bateria do carro, que é a fonte de tensão principal do sistema e é da grandeza de 12 Volts. A outra porta deste sensor deve ser ligada a porta analógica de leitura do Arduíno, mas aqui é exigido certo cuidado, pois não se deve conectar tensões da ordem da bateria no microcontrolador, antes ele deve ser ligado a um arranjo de resistores, chamado de divisor de tensão, que é formado por um resistor de 10 quiloohms e um de 14 quiloohms, mostrados na Figura 3.29. Seu funcionamento ocorre de tal maneira que a tensão que chega ao Arduíno não é mais de 0 a 12 Volts, mas é condicionada a trabalhar de 0 a 5 Volts, e esta é a grandeza adequada de se atuar no microcontrolador.

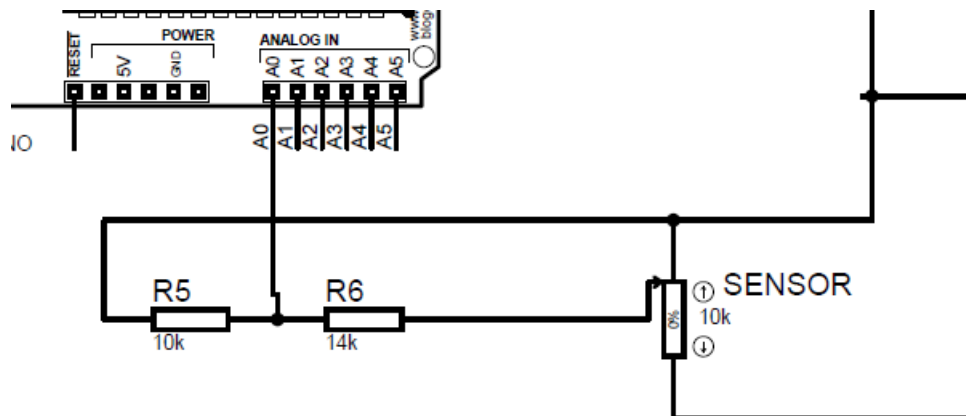


Figura 3.29: Arranjo de funcionamento do sensor. Fonte: Próprio autor

3.3.2.1 Transistores

Para a função de chaveamento, conecta-se no coletor do transistor NPN uma carga, no caso do projeto será ligado as válvulas eletrônicas. Na parte do emissor coloca-se o negativo da bateria, que por sua vez está ligado o terra do sistema. Dessa maneira, ainda não há passagem de corrente enquanto não for ligado algum sinal na base do transistor. Pela programação do Arduíno, este último gera sinais nas saídas digitais e faz o transistor

conduzir, ligando as válvulas. O TBJ usado MJ15003, que trabalha com correntes de até 5A, e tensões de até 50 volts, com um ganho beta (β) que varia de 25 a 150 [48].

Com base nas Equações 2.17 e 2.18 é dimensionado o resistor da base. Como citado no parágrafo anterior, o ganho varia de 25 a 150, e para este projeto adotou-se 100 como valor β . A corrente que flui para as válvulas é da ordem de 2,45 amperes, a tensão V_{cc} é 12 volts para o sistema, e V_{be} é 1 para este transistor. Um detalhe que foi levado em consideração é que a corrente da base, em casos práticos, deve ser multiplicada por 10, para obter uma melhor atuação do transistor. Considerando os dados anteriores, tem-se que R_b é:

$$R_b = \frac{12 - 1}{0,245} = 44,898\text{Ohms} \quad (3.26)$$

3.3.3 Motor de Corrente contínua

Para ser acionar a bomba no sistema, é necessário utilizar um motor de corrente contínua, pelo fato de que eles não precisam de conversão do tipo de corrente que percorre os automóveis. Além disso, o modelo escolhido apresenta as características ideais de funcionamento, visto que é fabricado justamente para este fim, evitando assim o desenvolvimento de adaptações para realizar o acionamento da bomba. O modelo escolhido é um fabricado pela Honda, aplicado ao Honda FIT, cujo modelo é EACCEC0907.



Figura 3.30: Motor de acionamento da bomba [27]

3.3.4 Conexões

De maneira que fosse trabalhado conforme o especificado pelo projeto, deve-se realizar a conexão dos elementos com as portas do Arduíno correspondentes. Neste projeto foi feito da seguinte forma:

1. Primeiramente, o Arduíno é conectado a bateria de 12 volts do carro, tendo assim sua fonte de energia para o seu funcionamento.
2. Os terminais que vão receber os sinais dos botões, advindos dos comandos dado pelo usuário, são ligados aos pinos digitais 0 a 3 do Arduíno, via código eles são definidos como entradas. Os outros terminais destes elementos são conectados a tensão de 5 volts da própria plataforma de protótipo e, além disso, são acoplados a estes terminais resistores de 10 quiloohms que são ligados ao terra, para evitar a que os pinos fiquem flutuantes ao serem acionados.
3. A fonte de 12 volts é conectada. Também foram conectadas à esta fonte: as válvulas que permitem o fluxo de óleo para os cilindros, ao motor acionador da bomba e a válvula de retorno do sistema.
4. Nos pinos de 8 a 13 do Arduíno são ligados o terminal da base dos transistores, assim funcionando como chaves dos dispositivos de potência e, entre eles, o resistor R_b . Os pinos de 8 a 11 são responsáveis pela ativação das válvulas correspondentes a cada um dos cilindros. Já os contatos 12 e 13 são responsáveis, respectivamente, pelo acionamento do motor da bomba e da válvula normalmente aberta de retorno.
5. O sensor é ligado por um dos seus terminais a fonte 12 volts e o outro terminal é acoplado ao divisor de tensão explicado em 3.3.2. Este arranjo, por sua vez, é conectado ao pino A0 do Arduíno, correspondendo a uma entrada analógica.

Simulações e Resultados

4.1 Simulações Mecânicas

Afim de saber se o cilindro escolhido e o suporte criado seriam de fato adequados para as forças calculadas no documento, fez-se a simulação destas peças no *software* Ansys. Os resultados obtidos são demonstrados a seguir.

Primeiramente o modelo do cilindro foi importado para o software Ansys, nota-se que apresenta um grande número de elementos pequenos que formam a malha. O que indica que se obteve grande precisão na simulação.

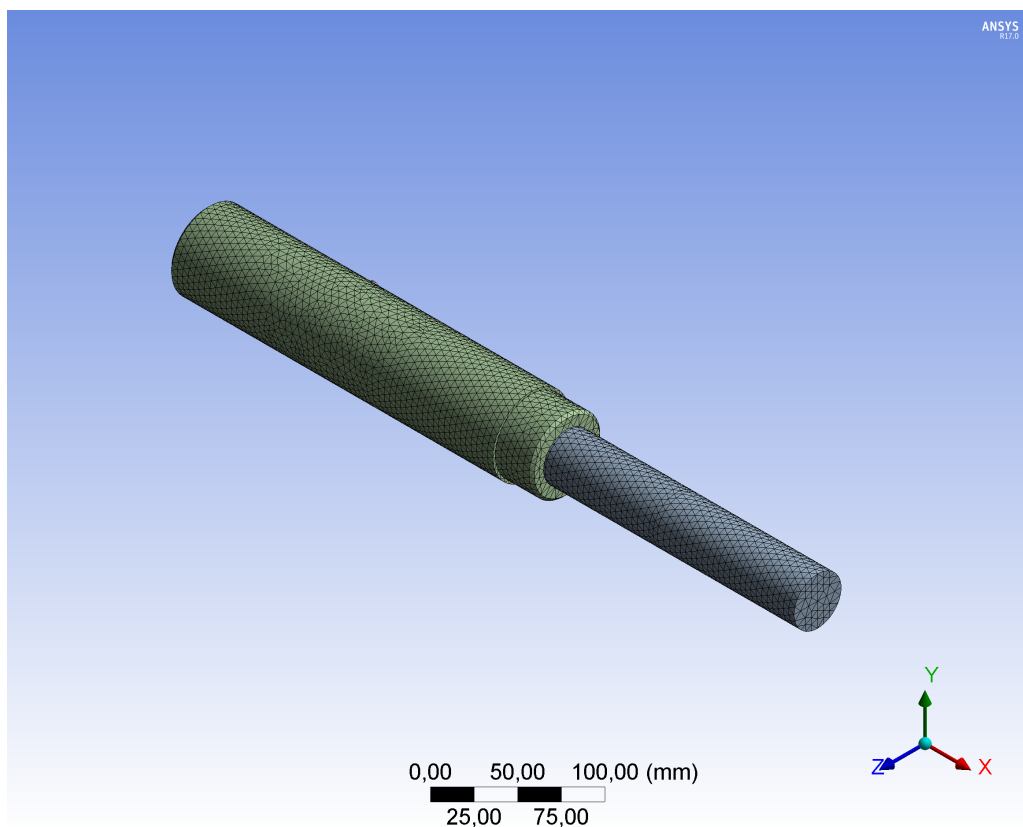


Figura 4.1: Modelo do cilindro aplicado do Ansys - Fonte: Próprio autor.

A Figura 4.2 demonstra a carga calculada em 3.2.1.2 sendo aplicada na base da haste do cilindro (parte que entra em contato com o solo).

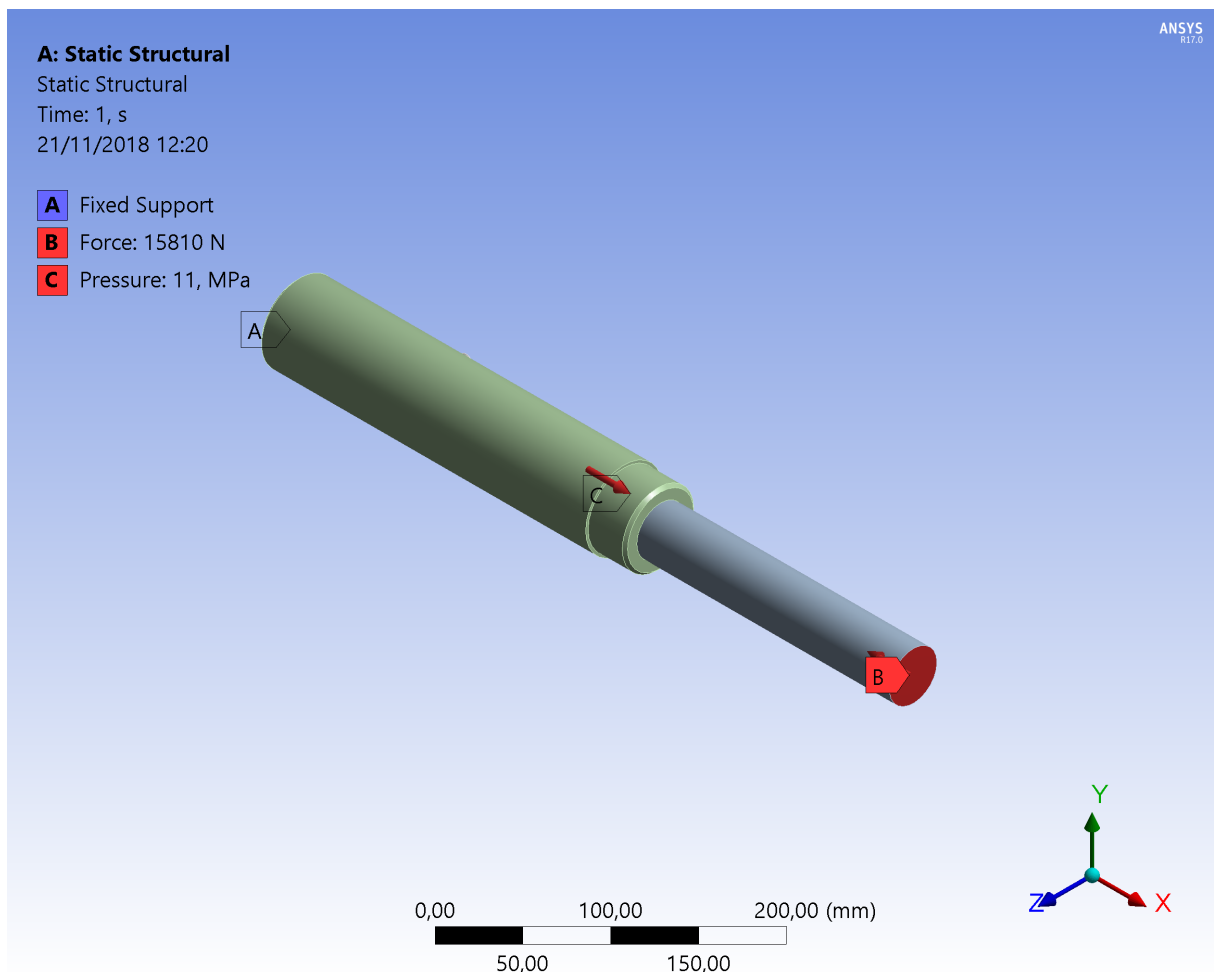


Figura 4.2: Carga aplicada no cilindro através do Ansys - Fonte: Próprio autor.

A partir da carga aplicada acima, obteve-se a deformação total do cilindro, sem especificação de direção, mostrada na Figura 4.3. É possível observar que o ponto máximo de deformação na peça tem o valor de 0,024 milímetros.

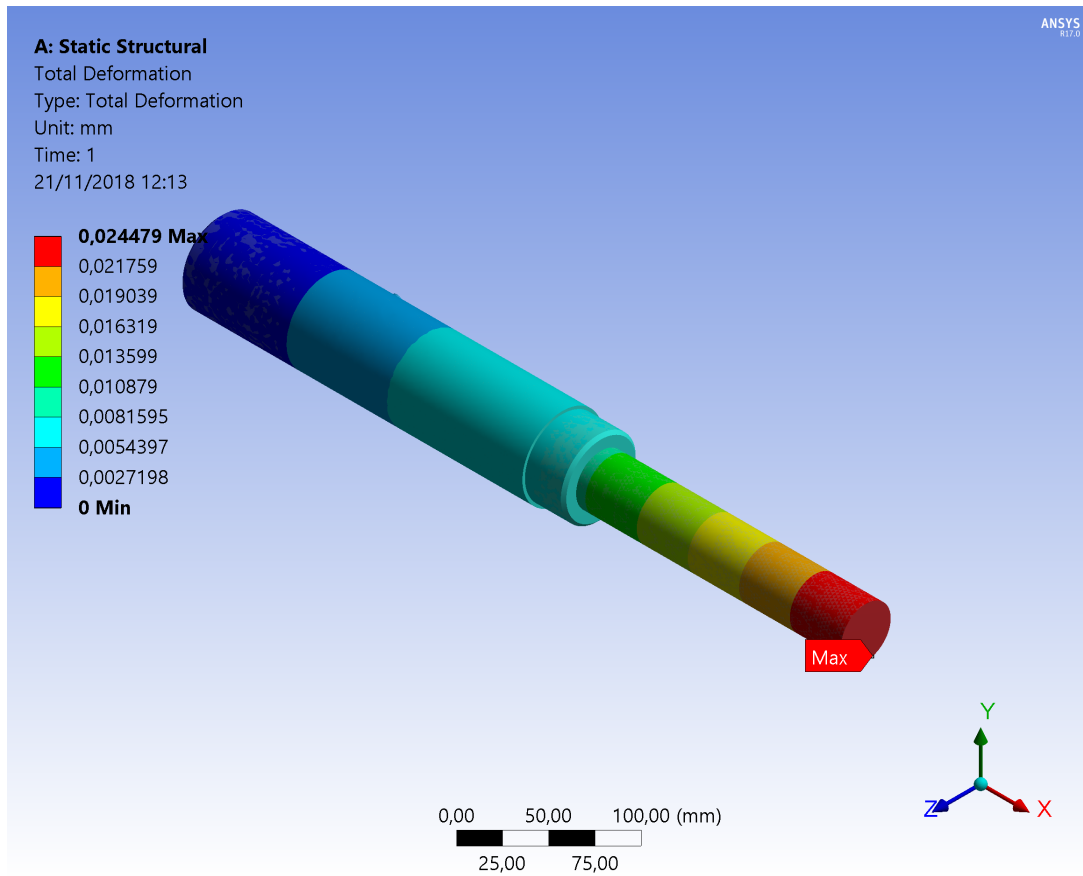


Figura 4.3: Deformação no cilindro através do Ansys - Fonte: Próprio autor.

A Figura 4.4 abaixo, demonstra as tensões máximas obtidas ao longo do corpo do cilindro, cujo valor encontrado foi de 39,881 Mpa. O ponto onde aloca-se a tensão máxima também é demonstrado na imagem anteriormente citada.

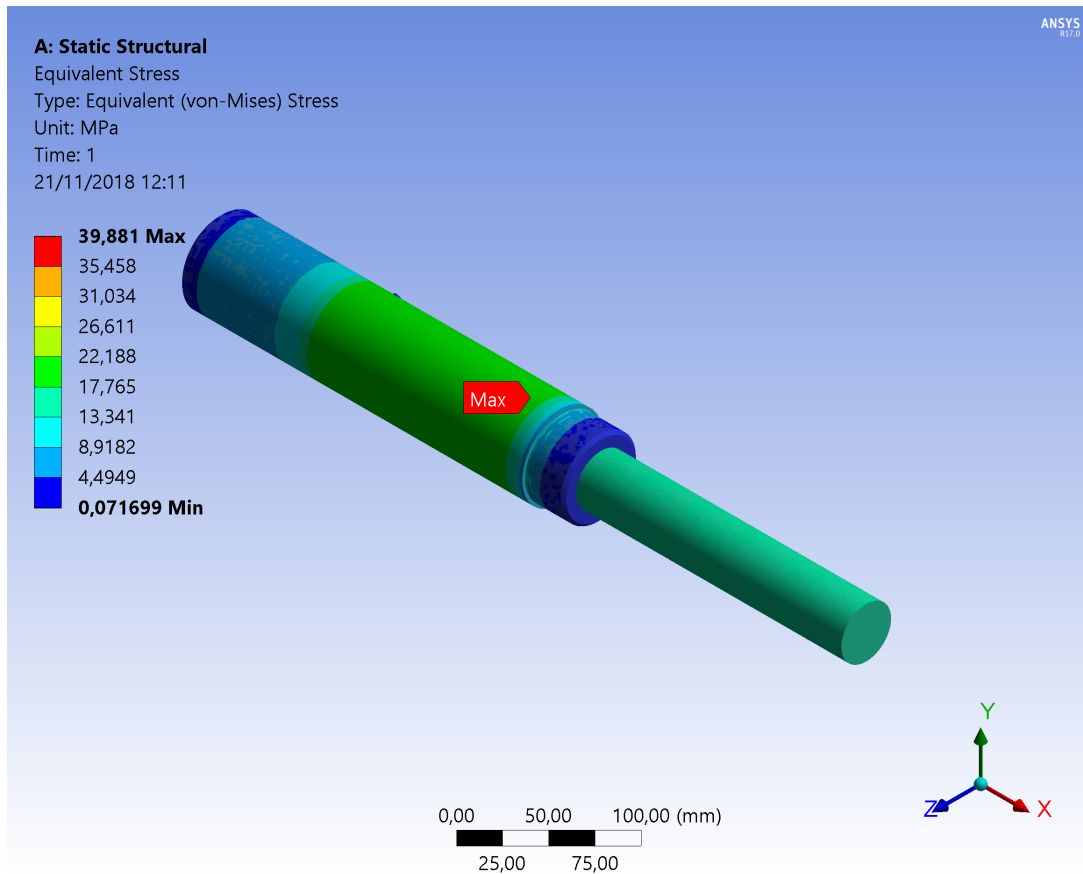


Figura 4.4: Tensões no cilindro através do Ansys - Fonte: Próprio autor.

Agora, para o suporte superior, também foi criado um modelo, seguindo as mesmas quantidades de nós e elementos. A Figura 4.5 demonstra a carga aplicada na peça.

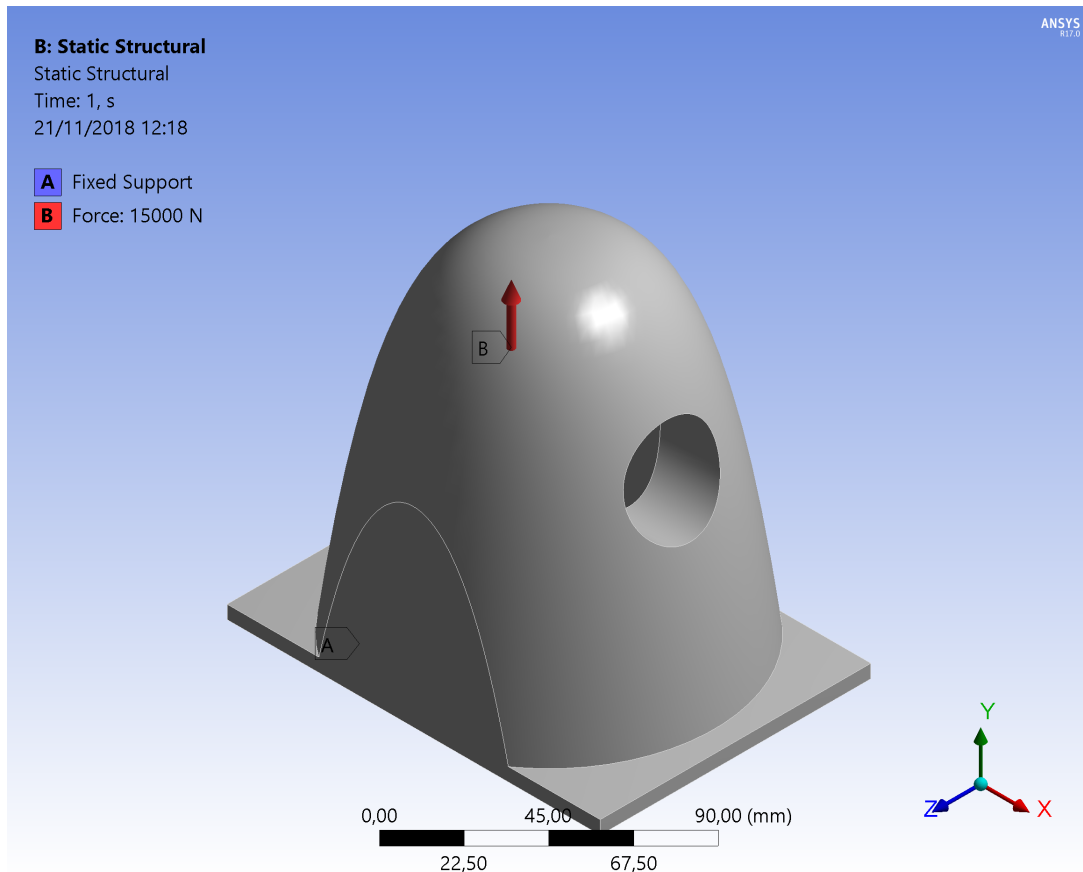


Figura 4.5: Carga aplicada no suporte através do Ansys - Fonte: Próprio autor.

As tensões máximas encontradas para esta força neste objeto em questão foram de 15,55 Mpa, no ponto na região vermelha, explicitada na Figura 4.6.

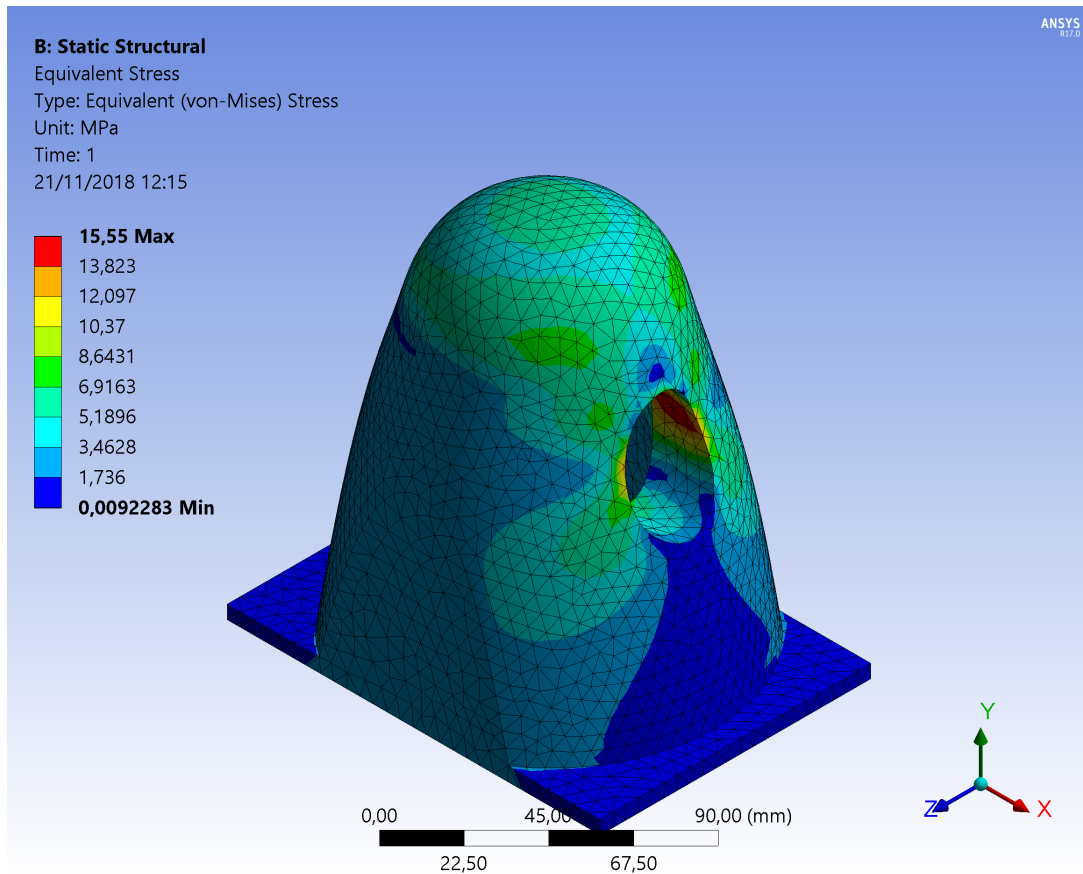


Figura 4.6: Tensões no suporte através do Ansys - Fonte: Próprio autor.

Por fim, a máxima deformação que foi encontrada para o suporte foi de 0,004 milímetros, como mostra a Figura 4.7.

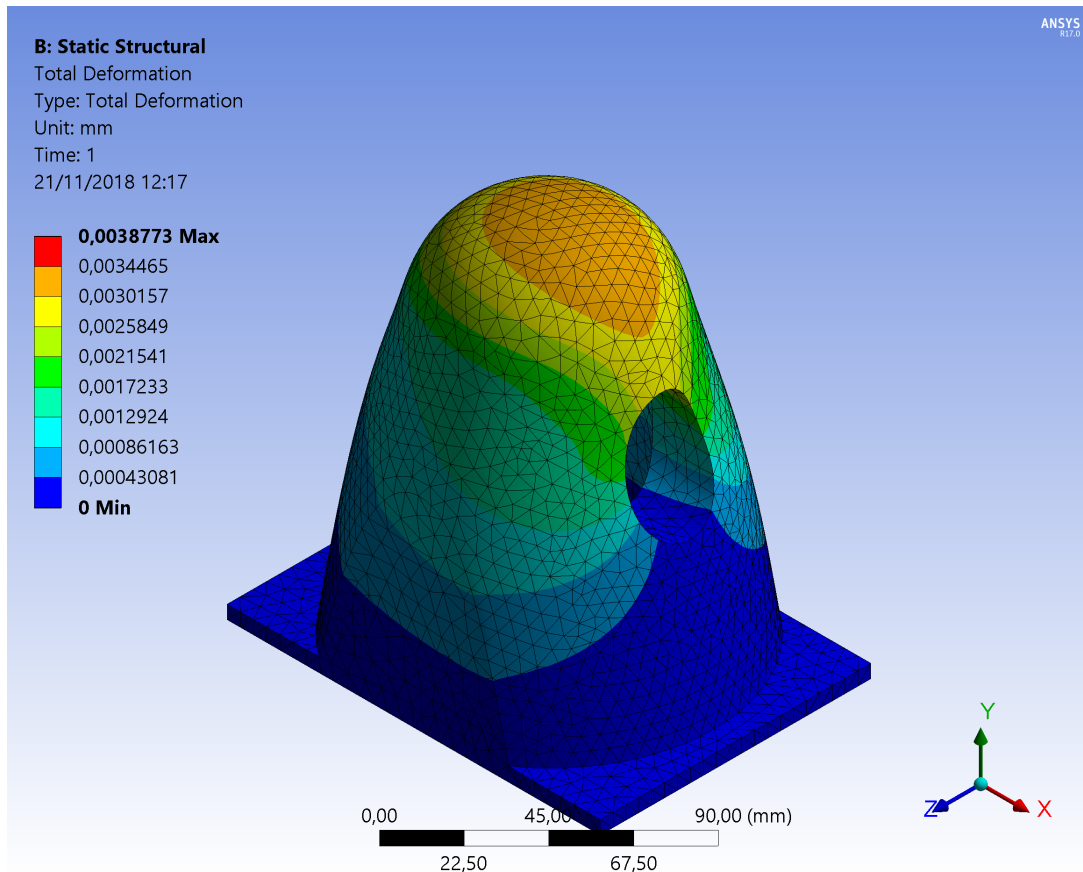


Figura 4.7: Deformações no suporte através do Ansys - Fonte: Próprio autor.

4.2 Simulações Eletrônicas

Para simular o sistema eletrônico projetado, utilizou-se da plataforma de programação do Arduino e do *software* Proteus, descrito na seção 2.3.9.4. A Figura 4.8 demonstra o projeto montado na plataforma computacional. Aqui, os motores e válvulas foram substituídos por lâmpadas, apenas para melhorar a visualização da simulação. Os elementos luminosos L1, L2, L3 e L4 demonstram as válvulas que liberam o fluido para os cilindros, já a L5 representa a atuação do motor ativador da bomba e a L6 demonstra a ativação da válvula normalmente aberta de retorno.

Na simulação foi testado os itens de funcionamento da lógica do microcontrolador, que são:

- Acionar mais de um botão ao mesmo tempo;
- Não ativação do sistema quando o sensor indicar movimento.

O teste de acionamento simultâneo comprovou que a lógica de atuação do microcontrolador está correta, pois a mesma não permite ativar mais de um cilindro ao mesmo tempo, acionando apenas o primeiro que foi selecionado. Ao apertar qualquer outro botão não há efeito algum. Este teste é exemplificado pela Figura 4.9.

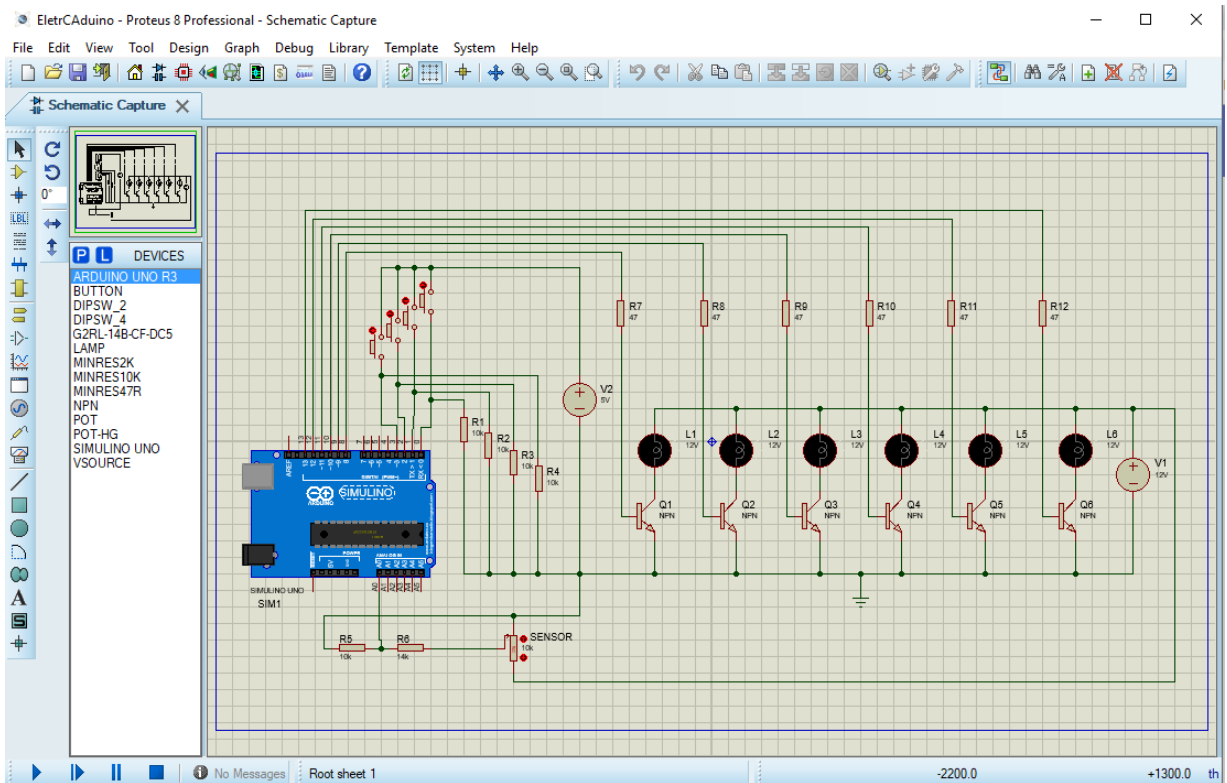


Figura 4.8: Simulação no Proteus - Fonte: Próprio autor.

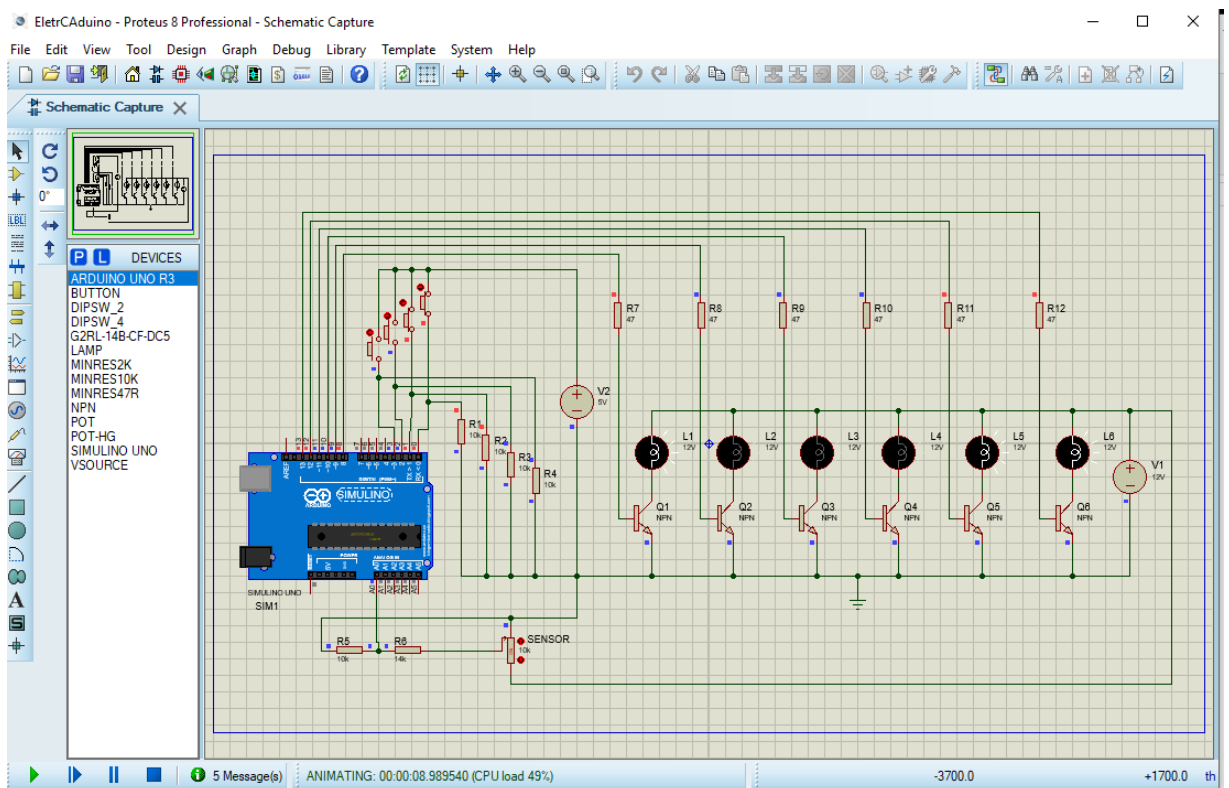


Figura 4.9: Simulação no Proteus - Fonte: Próprio autor.

Outro teste executado na simulação, é a verificação se é possível ativar o sistema, caso

o sensor envie o sinal de que o carro está em movimento. Como não tem exatamente o sensor para ser simulado, foi utilizado esquema descrito em 3.3.2. Quando o resistor variável demonstra 0%, simulando que o carro está parado, ele aciona o sistema e caso ele seja alterado para qualquer valor diferente de zero, simulando a movimentação do veículo, a lógica não permite o acionamento do sistema, isto é mostrado nas Figuras 4.10 e 4.11.

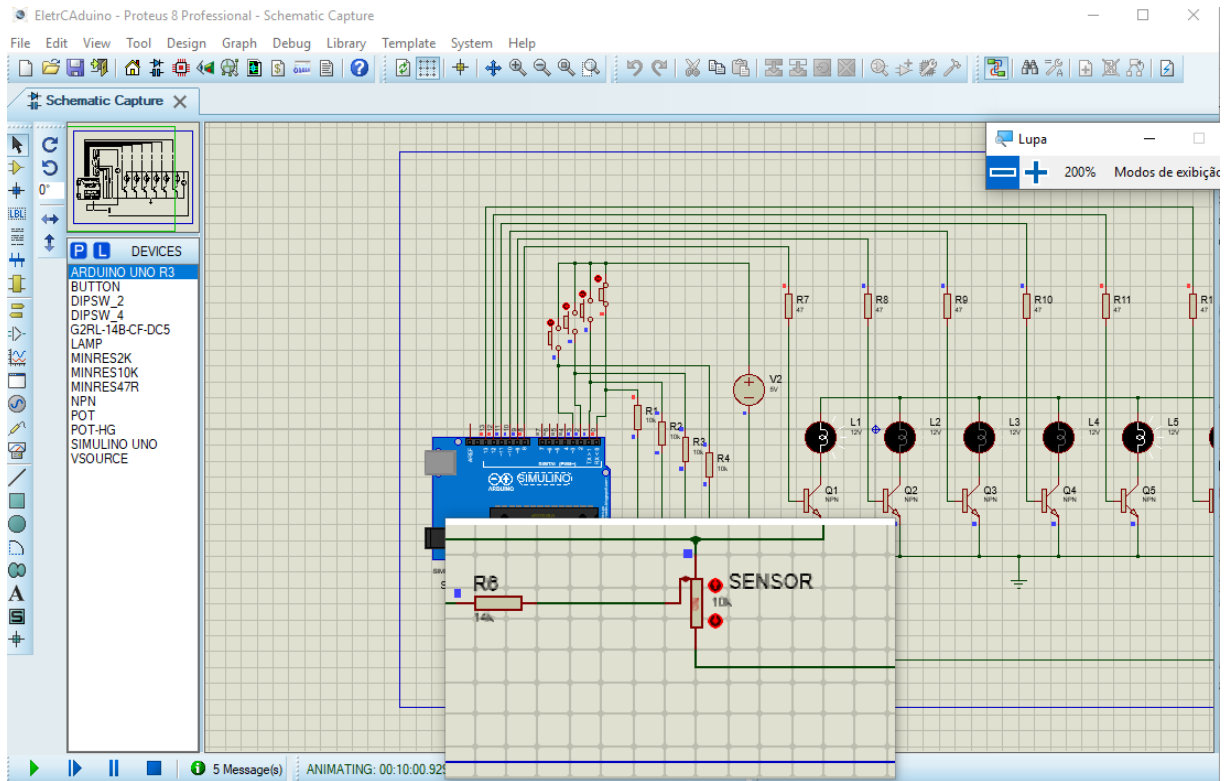


Figura 4.10: Simulação no Proteus do sensor, carro parado - Fonte: Próprio autor.

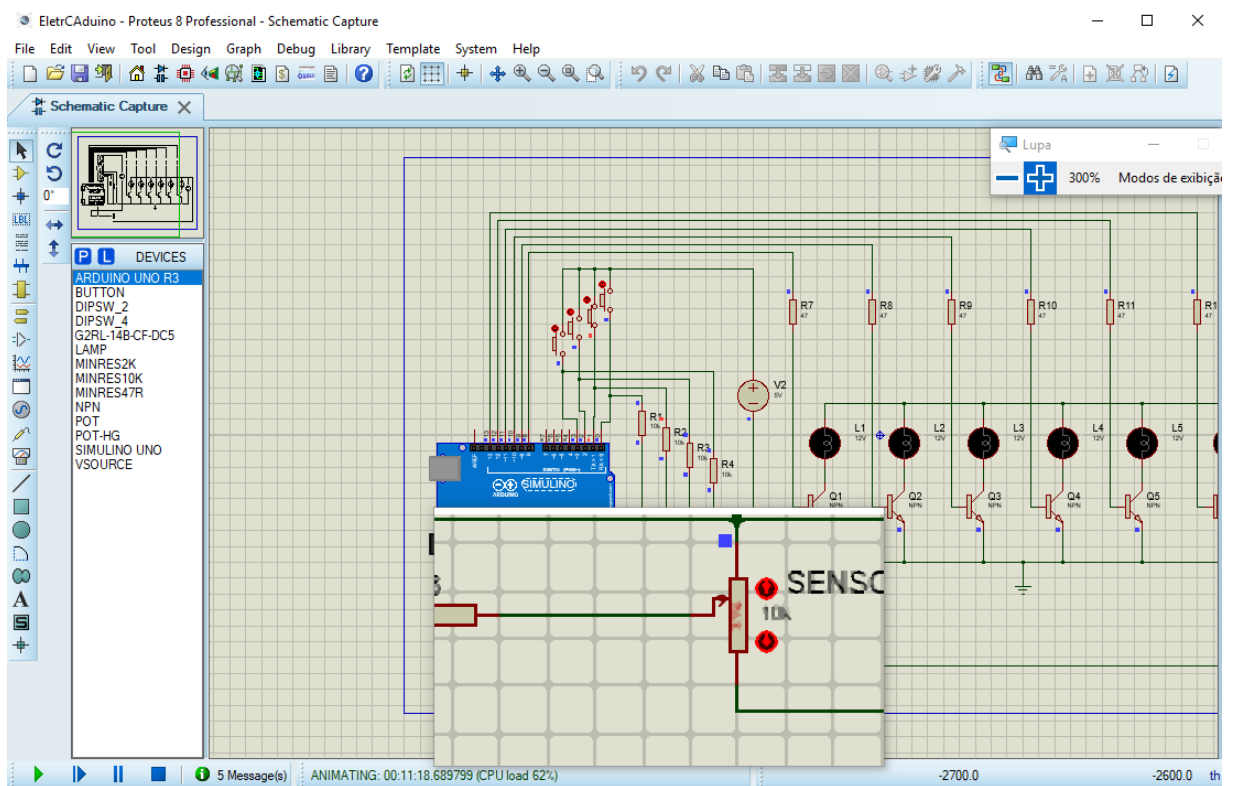


Figura 4.11: Simulação no Proteus, carro em movimento - Fonte: Próprio autor.

O ideal funcionamento do sistema, como demonstrado anteriormente nesta seção, também indica que os resistores da base foram dimensionados corretamente.

4.3 Simulações Hidráulicas

O funcionamento da seção hidráulica foi simulado na plataforma FluidSIM, descrita em 2.3.9.5, nela é montado o circuito hidráulico que foi dimensionado e o mesmo é demonstrado na Figura 4.12.

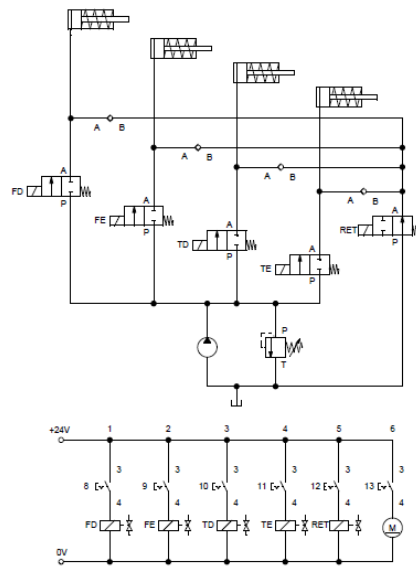


Figura 4.12: Circuito no FluidSIM - Fonte: Próprio autor.

Aqui, cada válvula está alocada a um número, que significa a entrada da porta do Arduino, citados em 3.3.4. Simulando as conexões elétricas entre eles, nota-se que nesta simulação é possível acionar mais de uma válvula ao mesmo tempo, porque o que impede esta ação é a lógica do microcontrolador. Também compreende à este elemento a questão de ativar a bomba e a válvula normalmente aberta de retorno simultaneamente ao acionamento de um dos botões correspondentes ao cilindro.

O funcionamento ocorre como o previsto na teoria, lembrando de adicionar válvulas de caminho único, para que não seja possível, através da linha de retorno, ativar os demais atuadores.

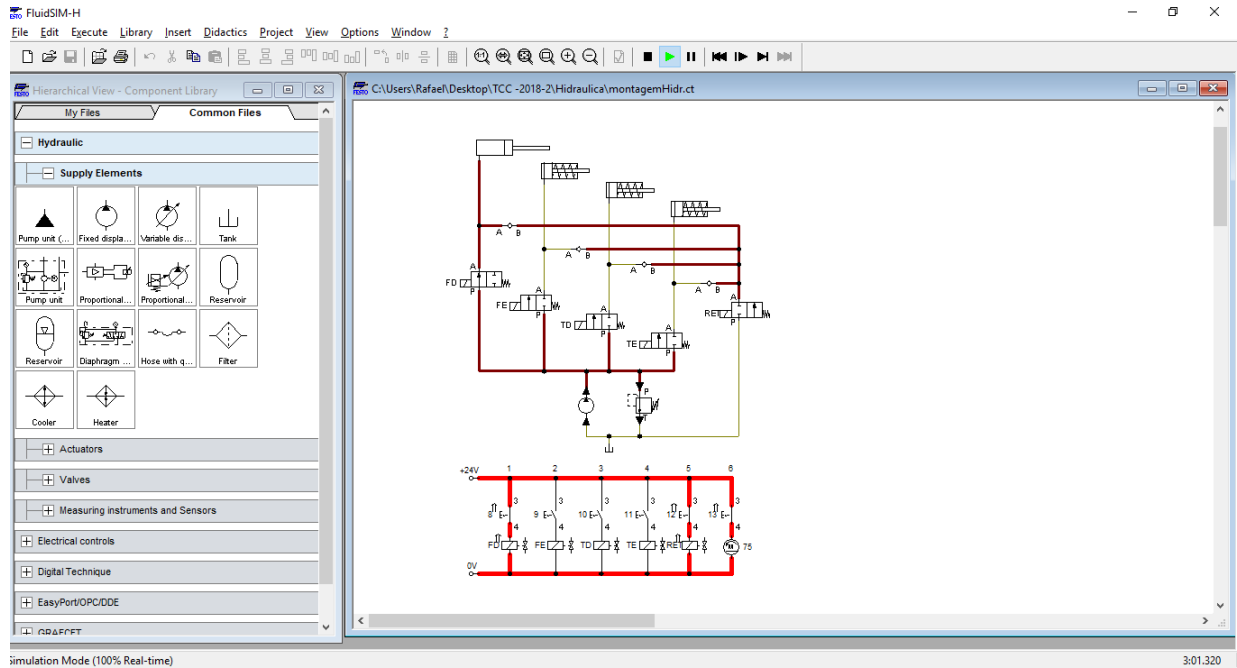


Figura 4.13: Simulação no FluidSIM - Fonte: Próprio autor.

O funcionamento ocorre de acordo com o planejado, acionando de maneira bem próxima ao ideal cada cilindro atuado e, além disso, outro fato que deve ser exaltado é a ação da válvula de alívio, que ocorre perfeitamente, atuando quando a pressão é elevada além do planejado permitindo o retorno para o reservatório, mantendo os níveis ideais de pressão.

Considerações Finais

Para o usuário típico de automóvel, é fácil perceber o grande trabalho que se dá ao realizar a troca de um pneu, principalmente pelo fato de ser uma tarefa que necessita certa habilidade e que também demanda um significativo período de tempo para ser realizada. A criação de um sistema que seja capaz de oferecer uma real redução do tempo necessário para se realizar a troca de pneus em qualquer situação, é de grande utilidade, visto que tal vantagem auxilia até mesmo na segurança, pois evita que o condutor fique parado por muito tempo às margens das autoestradas e/ou vias da cidade.

O trabalho cumpriu os objetivos de forma satisfatória. Pois foi realizado todo o projeto, desde seus objetivos mecânicos até os eletrônicos. Como visto no capítulo anterior, na simulação da parte mecânica, todas as tensões que foram encontradas são menores que a tensão admissível para o aço ABNT 1045, realçando o correto dimensionamento de tais partes. Resultado semelhante também ocorre na simulação da parte eletrônica, visto que o sistema atende as especificações aos padrões impostos para seu funcionamento ideal e também atende as regras criadas para a segurança do processo.

5.1 Propostas de continuidade

Para a continuidade do trabalho, se faz necessário realizar estudos envolvendo a aplicação de novos materiais para a construção, de forma que possa se tornar mais leve, entretanto mantendo a mesma resitência encontrada neste projeto. Outro ponto é o desenvolvimento de uma melhor forma de armazenar o fluido hidráulico para que ocorra uma distribuição mais adequada de peso. A última melhoria proposta neste projeto seria o estudo de viabilidade para a adoção de um microcontrolador com interface *wireless* embutido, utilizando *bluetooth* ou *zigbee*, de maneira que tenha menos distribuição de cabos ao longo da estrutura do veículo.

Apendices

Código

```
int fFD = LOW;
int fFE = LOW;
int fTD = LOW;
int fTE = LOW;
int butFD = LOW;
int butFE = LOW;
int butTD = LOW;
int butTE = LOW;
int sensor = 0;

void setup() {

  pinMode(0, INPUT); //butFD
  pinMode(1, INPUT); //butFE
  pinMode(2, INPUT); //butTD
  pinMode(3, INPUT); //butTE
  pinMode(8, OUTPUT); //FD
  pinMode(9, OUTPUT); //FE
  pinMode(10, OUTPUT); //TD
  pinMode(11, OUTPUT); //TE
  pinMode(12, OUTPUT); //RETORNO
  pinMode(13, OUTPUT); //MOTOR BOMBA
}

// the loop function runs over and over again forever
void loop() {
  butFD = digitalRead(0);
  butFE = digitalRead(1);
  butTD = digitalRead(2);
  butTE = digitalRead(3);
  sensor = analogRead(A0);

  if (sensor==0){

  if ((butFD==HIGH) && (fFE==LOW) && (fTD==LOW) && (fTE==LOW) ) {
    fFD=HIGH;
    digitalWrite(8,HIGH);
  }

  if ((butFE==HIGH) && (fFD==LOW) && (fTD==LOW) && (fTE==LOW) ) {
    fFE=HIGH;
    digitalWrite(9,HIGH);
  }

  if ((butTD==HIGH) && (fFE==LOW) && (fFD==LOW) && (fTE==LOW) ) {
    fTD=HIGH;
    digitalWrite(10,HIGH);
  }
}
```

Figura A.1: Código implementado no Arduino - Fonte: Próprio autor

```
if ((butTE==HIGH) && (fFE==LOW) && (fTD==LOW) && (fFD==LOW)) {
    fTE=HIGH;
    digitalWrite(11,HIGH);
}

}

if (((butTE==LOW) && (butTD==LOW) && (butFE==LOW) && (butFD==LOW)) || (sensor!=0)) {
    fFD = LOW;
    fFE = LOW;
    fTD = LOW;
    fTE = LOW;
    digitalWrite(8, LOW);
    digitalWrite(9, LOW);
    digitalWrite(10, LOW);
    digitalWrite(11, LOW);
    digitalWrite(12, LOW);
    digitalWrite(13, LOW);
}
else{
    digitalWrite(12,HIGH);
    digitalWrite(13,HIGH);
}
}
```

Figura A.2: Código implementado no Arduíno, continuação - Fonte: Próprio autor

Apêndice B

Complemento

Diâmetro Externo		Espessura da Parede (cm)	Diâmetro interno (cm)	Pressão Máxima (bar)	Peso por 100m (kg)
cm	in				
0,40		0,10	0,20	601,35	7,0
0,50		0,10	0,30	400,24	10,0
0,60		0,10	0,40	300,18	12,0
0,60		0,15	0,30	601,35	17,0
0,64	1/4	0,11	0,42	294,30	12,0
0,64	1/4	0,15	0,34	588,60	17,0
0,80	5/16	0,10	0,60	294,30	15,0
0,80	5/16	0,15	0,50	412,02	24,0
0,95	3/8	0,16	0,63	319,81	28,0
0,95	3/8	0,20	0,55	490,50	37,0
1,00		0,15	0,70	294,30	31,0
1,00		0,20	0,60	458,13	40,0
1,20		0,15	0,90	228,57	39,0
1,20		0,20	0,80	343,35	49,0
1,27	1/2	0,20	0,87	343,35	52,0
1,27	1/2	0,15	0,97	228,57	41,0
1,40		0,15	1,10	209,93	46,0
1,40		0,20	1,00	306,01	59,0
1,50		0,15	1,00	192,28	50,0
1,50		0,20	1,10	280,57	64,0
1,60	5/8	0,15	1,30	177,56	54,0
1,60	5/8	0,25	1,10	331,58	83,0
1,80		0,15	1,50	154,02	61,0
1,80		0,25	1,30	280,57	96,0
1,90	3/4	0,15	1,60	137,34	64,0
1,90	3/4	0,25	1,40	264,87	100,0

Figura B.1: Diâmetros de tubos comerciais - Fonte: ERMETO

Diâmetro Externo		Espessura da Parede (cm)	Diâmetro interno (cm)	Pressão Máxima (bar)	Peso por 100m (kg)
cm	in				
2,00		0,20	1,60	193,26	86,0
2,00		0,30	1,40	312,94	126,0
2,20		0,20	1,80	171,67	99,0
2,20		0,25	1,70	214,84	120,0
2,50		0,20	2,10	147,15	113,0
2,50		0,30	1,90	230,53	163,0
2,54	1	0,20	2,14	147,15	114,0
2,54	1	0,30	1,94	230,53	164,0
2,80		0,20	2,40	128,51	128,0
2,80		0,30	2,20	199,14	185,0
3,00		0,25	2,50	146,17	170,0
3,00		0,30	2,40	182,47	200,0
3,20	1 1/4	0,25	2,70	132,43	185,0
3,20	1 1/4	0,40	2,40	245,25	270,0
3,50		0,25	3,00	129,49	173,0
3,50		0,40	2,70	215,82	300,0
3,80	1 1/2	0,30	3,20	136,36	359,0
3,80	1 1/2	0,40	3,00	194,24	435,0
4,20		0,20	3,80	81,42	197,0
4,20		0,40	3,40	156,96	300,0

Figura B.2: Diâmetros de tubos comerciais (continua) - Fonte: ERMETO

Referências

- [1] R. Hibbeler, *Resistência dos materiais*. PRENTICE HALL BRASIL, 2010. [Online]. Available: <https://books.google.com.br/books?id=eLOJQwAACAAJ>
- [2] Juliano Barros Veloso e Lima, “Notas de aula,” 2018, notas de aula de Mecânica dos Sólidos do Curso de Engenharia Mecatrônica.
- [3] Y. A. Cengel and J. M. Cimbala, *Mecânica dos fluidos-3*. AMGH Editora, 2015.
- [4] SUZUCAR, “Bombas de direção hidráulica,” 2018, disponível em: <https://suzucar.com.br/> Acessado em: 29 Abr 2018.
- [5] BRITANNICA, “Bomba de palheta,” 2018, disponível em: <https://www.britannica.com/technology/pump/images-videos> Acessado em: 20 Abr 2018.
- [6] O Mecanico, “Bomba de palheta,” 2018, disponível em: <http://otecnicomecanico.blogspot.com.br/2011/04/bombas-de-palhetas.html> Acessado em: 20 Abr 2018.
- [7] FEPOWER, “Bomba de calcos,” 2018, disponível em: <http://fepower.net/> Acessado em: 13 Abr 2018.
- [8] STRANGERSITE, “Bomba de roletes,” 2018, disponível em: <http://www.stangerssite.com/HowItWorksEatonPump.html> Acessado em: 13 Abr 2018.
- [9] TRETALON, “Bomba de engrenagem,” 2018, disponível em: <http://www.stangerssite.com/HowItWorksEatonPump.html> Acessado em: 10 Abr 2018.
- [10] HOW STUFF WORKS, “Válvula de alívio,” 2018, disponível em: <http://auto.howstuffworks.com/steering4.htm> Acessado em: 10 Abr 2018.
- [11] M. Wendling, “Sensores,” *Universidade Estadual Paulista. São Paulo*, vol. 2010, p. 20, 2010.

-
- [12] Newton Braga, “Sensor magnético,” 2018, disponível em: <http://www.newtonbraga.com.br/index.php/como-funciona/6640-como-funcionam-os-sensores-de-efeito-hall-art1050> Acessado em: 10 Abr 2018.
- [13] L. Patsko, “Tutorial aplicações, funcionamento e utilização de sensores.” *Maxwell Bohr*, vol. 2006, p. 84, 2006.
- [14] Citisystems, “Motor cc,” 2018, disponível em: <https://www.citisystems.com.br/motor-cc/> Acessado em: 10 Abr 2018.
- [15] R. Boylestad and L. Nashelsky, *Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos*. PRENTICE HALL BRASIL, 2004. [Online]. Available: <https://books.google.com.br/books?id=OyAVAAAACAAJ>
- [16] Altair, “Inspire,” 2018, disponível em: <https://solidthinking.com/product/inspire/> Acessado em: 12 Ago 2018.
- [17] BestCars, “Bmw,” 2018, disponível em: <http://bestcars.uol.com.br/bc/informe-se/passado/historia-e36-um-serie-3-que-foi-divisor-de-aguas-para-a-bmw/>) Acessado em: 10 Abr 2018.
- [18] Autoevolution, “Bmw,” 2018, disponível em: <http://autoevolution.com> Acessado em: 15 Abr 2018.
- [19] Enerpac, “Enerpac cylinders,” 2018, disponível em: <https://www.enerpac.com/en-gb/general-purpose-cylinders/general-purpose-cylinder/RC108> Acessado em: 12 Abr 2018.
- [20] ABNT, “Norma 8400,” 2018, disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=3838> Acessado em: 23 Ago 2018.
- [21] BOSCH, “Bosch automotive catalog,” 2018, disponível em: <https://www.bosch-automotive-catalog.com/pt/product-detail/-/product/KS01000051> Acessado em: 12 Abr 2018.
- [22] Parker, “Catálogo hidráulica,” 2018, disponível em: http://www.parker.com/static_content/parkerimages/br/download/fluidconnectors/pdf/4400-br.pdf Acessado em: 30 Abr 2018.
- [23] Texaco, “Randoó hd 32, 46, 68, 100, 150, 220,” 2018, disponível em: https://www.texaco.com.br/wp-content/uploads/2017/10/Rando-HD-32-46-68-100-150-220-BR-PT_2fev2016.pdf Acessado em: 22 Abr 2018.

-
- [24] Dynex Hydraulics, “Hp03,” 2018, disponível em: <https://www.dynexhydraulics.com/product/hp03-high-pressure-valves/> Acessado em: 21 Ago 2018.
- [25] Parker, “Catalog 4135-cv,” 2018, disponível em: http://www.parker.com/Literature/Instrumentation%20Products%20Division/WebSphere%20Support%20Material/CHECK-FILTER%20VALVES_CAT_4135.pdf Acessado em: 27 Ago 2018.
- [26] Arduino, “Arduino,” 2018, disponível em: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3> Acessado em: 10 Abr 2018.
- [27] Mercado Livre, “Motor,” 2018, disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-863264165-motor-da-direco-eletrica-honda-fit-lx-2015-_JM#stayOnWeb Acessado em: 2 Ago 2018.
- [28] M. A. A. de Oliveira Sobrinho e Moacyr Machado Cardoso, “Análise ergonômica postural do mecânico automotivo na troca de peças do sistema de exaustão veicular,” 2008. [Online]. Available: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_tn_sto_083_590_10736.pdf
- [29] Darek, “Electric 12v hydraulic car jack,” 2018, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=DDCIVGv14r8> Acessado em: 27 Mai 2018.
- [30] DINSEN, “12v dc 1 ton electric hydraulic floor jack set with impact wrench for car use (6.1-17.1 inch, orange),” 2018, disponível em: https://www.amazon.com/Electric-Hydraulic-Floor-6-1-17-1-Orange/dp/B01DTTVLW4/ref=as_li_ss_tl?srs=15330995011&ie=UTF8&qid=1481954766&sr=8-1&linkCode=sl1&tag=chrisdoeswhat-20&linkId=2120d02a73ce575e83940d942cf88864 Acessado em: 25 Mai 2018.
- [31] Dungeon Jacks, “Our history,” 2018, disponível em: <http://dudgeonjacks.com/history.html> Acessado em: 13 Mar 2018.
- [32] AUTOMOTIVE HALL OF FAME, “John dunlop,” 2018, disponível em: <http://www.automotivehalloffame.org/honoree/john-dunlop/> Acessado em: 13 Mar 2018.
- [33] C. R. Haight, “Automatic hydraulic jack,” Sep. 14 1948, uS Patent 2,449,296.
- [34] E. K. Hansen, “Automotive hydraulic jack assembly for vehicles,” Jan. 9 1968, uS Patent 3,362,683.
- [35] D. G. Rodriguez, “Automatic jacking system for an automotive vehicle,” Jan. 31 2006, uS Patent 6,991,221.

- [36] Nestor Proenza Pérez, “Notas de aula 34,” 2014, disponível em: <http://www2.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/nestorproenzaperez/sfm-2014-aula-34.pdf>
Acessado em: 15 Abr 2018.
- [37] Anderson Dias, “Funcionamento e detalhes da bomba para sistemas de direção hidráulica,” 2018, disponível em: <http://www.carrosinfoco.com.br/carros/2017/01/funcionamento-e-detallhes-da-bomba-para-sistemas-de-direcao-hidraulica/> Acessado em: 20 Abr 2018.
- [38] Hidrautec, “Bomba hidráulica de engrenagem,” 2018, disponível em: <http://www.hidrautec.com.br/bomba-hidraulica-engrenagem> Acessado em: 22 Abr 2018.
- [39] Newton C. Braga, “Entenda as especificações dos sensores,” 2006, disponível em: <http://www.tecfran.com.br/conteudo/maladireta1.htm> Acessado em: 25 Abr 2018.
- [40] MTE THOMSON, “Aula 9 - sensor de velocidade,” 2018, disponível em: <http://cursosonline.mte-thomson.com.br/licao/aula-9-sensor-de-velocidade/> Acessado em: 25 Abr 2018.
- [41] T. FLOYD, *Sistemas Digitais: Fundamentos e Aplicações*. BOOKMAN COMPANHIA ED, 2007. [Online]. Available: <https://books.google.com.br/books?id=ftnEkkS79ZoC>
- [42] A. Martignoni, *Maquinas eletricas de corrente continua*. Globo, 1974. [Online]. Available: <https://books.google.com.br/books?id=6LYbQwAACAAJ>
- [43] SolidWorks, “3d cad design software solidworks,” 2018, disponível em: <https://www.solidworks.com/> Acessado em: 15 Abr 2018.
- [44] Proteus, “Proteus design suite,” 2018, disponível em: <https://www.labcenter.com/> Acessado em: 12 Abr 2018.
- [45] FluidSIM, “Manual,” 2018, disponível em: http://docente.ifsc.edu.br/claudio.schaeffer/material/3_Eletromec%C3%A2nica/Eleto_3_Hidr%C3%A1ulica_Pneum%C3%A1tica/Apostila_Fluid_Sim.pdf Acessado em: 22 Abr 2018.
- [46] BOSCH, “Steering systems,” 2018, disponível em: https://www.bosch-mobility-solutions.com/media/global/products-and-services/commercial-vehicles/steering-systems/steering-systems/power-steering-pump-e-varioserv/product_data_sheet_e-varioserv_power_steering_pump.pdf Acessado em: 12 Abr 2018.

- [47] Ciser, “Informaes tcnicas,” 2018, disponível em: <http://www.ciser.com.br/download/informacoes-tecnicas> Acessado em: 12 Ago 2018.
- [48] Onsemi, “Complementary silicon power transistors,” 2018, disponível em: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MJ15003-D.PDF> Acessado em: 15 Abr 2018.