



**Gustavo Wentz**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE SUSPENSÃO  
PARA UM PROTÓTIPO DE ROBÔ COM RODAS**

**Horizontina-RS  
2018**



**Gustavo Wentz**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE SUSPENSÃO  
PARA UM PROTÓTIPO DE ROBÔ COM RODAS**

Projeto do Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a o Trabalho Final de Curso na Engenharia de Gustavo Wentz da Faculdade Horizontina, sob orientação do professor Adalberto Lovato, Me.

**Horizontina-RS**

**2018**

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o trabalho final de curso**

**“Desenvolvimento de um sistema de suspensão para um protótipo de robô  
com rodas”**

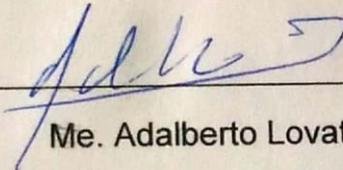
**Elaborada por:**

**Gustavo Wentz**

**Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Mecânica**

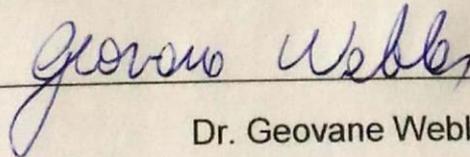
**Aprovado em: 03/12/2018**

**Pela Comissão Examinadora**



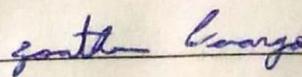
**Me. Adalberto Lovato**

**Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**



**Dr. Geovane Webler**

**FAHOR – Faculdade Horizontina**



**Me. Jonathan Felipe Camargo**

**FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Horizontina - RS**

**2018**

#### Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais Sandro Luís Wentz e Nilva Wentz, por sua capacidade de acreditar e investir em mim.

## AGRADECIMENTO

Aos professores da FAHOR, que contribuíram para a minha formação, em especial ao meu orientador Adalberto Lovato.

“O insucesso é apenas uma oportunidade para  
recomeçar com mais inteligência.”.

(Henry Ford)

## RESUMO

O desenvolvimento tecnológico no ramo agrícola ocorre de forma crescente e busca auxiliar e facilitar o manejo na lavoura. Dentro do desenvolvimento tecnológico na agricultura a robótica tem ganhado cada vez mais força, buscando automatizar e otimizar o trabalho no campo. A partir desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema de suspensão de eixo rígido para ser aplicado em um protótipo de robô móvel com rodas, para ser utilizado em lavouras. Para isso foi construído um protótipo de robô móvel que utiliza um sistema de suspensão dependente. Após a construção do protótipo foram realizados testes com o veículo para comprovar sua capacidade de locomoção em terrenos desnivelados e irregulares em diversos ambientes. Os testes desenvolvidos com robô apresentaram bons resultados nos diversos tipos de solo e terreno em que os testes foram realizados. Os objetivos visados com a elaboração deste trabalho foram alcançados com a construção e realização dos testes, assim podendo concluir que o sistema de suspensão dependente supriu as necessidades do protótipo.

**Palavras-chave:** Suspensão dependente. Robô agrícola. Mecanização agrícola.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: O primeiro robô móvel: Shakey .....	9
Figura 2: Classificação pela anatomia.....	10
Figura 3: Robôs com rodas .....	11
Figura 4: Robôs com esteira .....	11
Figura 5: Robôs com pernas .....	12
Figura 6: Classificação segundo a funcionalidade .....	13
Figura 7: Robô de serviço .....	14
Figura 8: Trator autônomo.....	15
Figura 9: Motor de corrente contínua .....	17
Figura 10: Veículo com suspensão de eixo rígido.....	18
Figura 11: Suspensão Hotchkiss.....	19
Figura 12: Suspensão Four Link .....	20
Figura 13: Suspensão De Dion .....	20
Figura 14: Suspensão "braço de arrasto".....	21
Figura 15: Suspensão MacPherson .....	22
Figura 16: Suspensão multi-link .....	22
Figura 17: Catálogo Bosch.....	26
Figura 18: Motor Bosch .....	27
Figura 19: Bateria.....	28
Figura 20: Botoeira de acionamento .....	29
Figura 21: (a) Rodados pneumáticos 3,5x4, (b) Conjunto rodado e eixo .....	30
Figura 22: Chassi soldado.....	31
Figura 23: Chapas de fixação dos motores.....	32
Figura 24: Eixo da suspensão .....	33
Figura 25: Protótipo em solo plano.....	35
Figura 26: Mobilidade em solo pedregoso .....	36
Figura 27: Protótipo em solo pedregoso .....	36
Figura 28: Mobilidade em solo com vegetação .....	37
Figura 30: Mobilidade em solo lamacento.....	38

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>4</b>
1.1 TEMA.....	4
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA .....	5
1.3 HIPÓTESES.....	5
1.4 OBJETIVOS .....	5
1.4.1 Objetivo geral .....	5
1.4.2 Objetivos específicos.....	6
1.5 JUSTIFICATIVA .....	6
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>8</b>
2.1 INTRODUÇÃO A ROBÓTICA.....	8
2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS ROBÔS.....	9
2.2.1 Classificação pela anatomia .....	10
2.2.2 Classificação pelo controle .....	12
2.2.3 Classificação pela funcionalidade .....	13
2.2.4 Componentes do robô móvel .....	15
2.3 SISTEMA DE SUSPENSÃO .....	17
2.3.1 Suspensão de eixo rígido.....	18
2.3.2 Suspensão independente .....	21
<b>3 MÉTODOS .....</b>	<b>23</b>
3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS .....	23
3.2 MATERIAS UTILIZADOS .....	24
<b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>26</b>
4.1 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO .....	26
4.1.1 Motores Elétricos, Baterias e Botoeiras de Acionamento .....	26
4.1.2 Rodados e eixos .....	29
4.1.3 Chassi.....	31
4.1.4 Suspensão.....	32
4.2 REALIZAÇÃO DE TESTES PRÁTICOS .....	34
4.2.1 Análise da mobilidade do protótipo em diferentes ambientes.....	34
4.2.1.1 Ambiente plano com pedriscos.....	34
4.2.1.2 Ambiente pedregoso.....	35
4.2.1.3 Ambiente com cobertura vegetal .....	37

4.2.1.4 Ambiente úmido e irregular.....	37
4.2.1.5 Ambiente Lamacento.....	38
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>39</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>40</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A produção agrícola vem crescendo ao longo dos anos e com isso surge a necessidade de encontrar meios e métodos para alcançar a melhor produtividade possível, sendo assim necessário a utilização de sistemas agrícolas mais eficientes e autônomos. Tendo em vista a necessidade de encontrar sistemas mais eficientes de produtividade a robótica surge, sendo uma área que vem crescendo cada vez mais, nos mais diversos campos, sendo utilizada em aplicações industriais, comerciais e residenciais.

Diferente de aplicações industriais e comerciais, em aplicações agrícolas, na maior parte dos casos, as operações agrícolas ocorrem em um ambiente cujo as condições de trabalho são imprevisíveis, sendo assim mais complexa a obtenção de informações como relevo do terreno, condições climáticas, iluminação e entre outros fatores que acabam dificultando a aplicação de sistemas autônomos para operações no campo.

Tendo em vista as condições adversas que um veículo com sistema autônomo deve ser capaz de enfrentar, como as irregularidades do terreno, os diversos tipos de solo e ainda sem exercer prejuízo à atividade que deve ser desenvolvida, para isso ocorrer é preciso um sistema de suspensão capaz de fornecer esta capacidade ao veículo.

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um veículo com um sistema de suspensão dependente, para que tenha a capacidade de enfrentar os mais adversos terrenos e fornecer a estabilidade necessária para que o veículo desenvolva a sua função.

## 1.1 TEMA

Estudo para desenvolver um sistema de suspensão e rodado a ser utilizado em um protótipo de robô de uso agrícola.

## 1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Com o aumento da produtividade na agricultura, o uso de novas tecnologias tem sido alavancado, de modo a surgir a necessidade de implementação de robôs dentro das operações no campo e como o terreno onde as atividades são realizadas é relativamente complexo, surge a necessidade que o veículo possua um sistema de suspensão que tenha a capacidade de lidar com as irregularidades do terreno sem causar prejuízo a atividade que exerce. Além disso é fornecer ao veículo a capacidade de se locomover em todos tipos de solos que possam ser encontrados no campo.

Um veículo autônomo para uso agrícola, deve ser capaz de superar terrenos irregulares e os diversos tipos de solos encontrados no campo. Então surge a questão, qual sistema de suspensão que se aplicado em um robô, seja capaz de fornecer ao mesmo a capacidade de superar os mais diversos tipos de solo e irregularidades encontradas no campo?

## 1.3 HIPÓTESES

Na agricultura, é necessário que o veículo tenha a capacidade de superar as irregularidades do terreno, sem causar prejuízo a operação que exerce. Para isso foi levantado uma hipótese, que se trata do desenvolvimento de um sistema de suspensão dependente com rodas com características off-road, para que desta maneira o protótipo tenha o controle das perturbações geradas pelas irregularidades do solo e seja capaz de manter o contato com o solo para facilitar seu deslocamento, que poderá ser verificada através dos testes em campo.

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo geral

O trabalho em questão tem como objetivo geral, projetar e desenvolver um sistema de suspensão para um protótipo de robô móvel para assim realizar testes em campo, e verificar se o veículo possui as características *off-road* necessária para aplicação em lavouras.

#### 1.4.2 Objetivos específicos

São definidos como objetivos específicos do trabalho:

- Desenvolver um estudo teórico sobre robótica e suspensão;
- Modelar o protótipo, utilizando software de CAD;
- Desenvolver a construção e montagem do robô;
- Realizar teste de campo, em condições semelhantes as encontradas na lavoura;
- Apresentar os resultados obtidos.

#### 1.5 JUSTIFICATIVA

Conforme apresenta o relatório da perspectiva de crescimento populacional mundial publicado pela ONU (2017), a população mundial deverá crescer dos atuais 7,6 bilhões para 9,8 bilhões de habitantes até o ano de 2050, o que representa um crescimento de aproximadamente 30%. Assim propiciando o desenvolvimento e a busca por novas tecnologias que auxiliem na melhora da produtividade e redução de perdas na lavoura.

Segundo Fiedler (2017), o protótipo de robô desenvolvido pelo mesmo, não possuía nenhum tipo de sistema de suspensão, ou seja, o rodado do protótipo era diretamente fixo ao chassi do robô, e de acordo com o autor o protótipo apresentou problemas de tração em terrenos desnivelados. Assim Fiedler (2017) sugere o desenvolvimento de um sistema de suspensão para que o robô mantenha as rodas em contato com o solo.

O presente trabalho justifica-se pela necessidade do desenvolvimento do sistema de suspensão de um protótipo de robô, para ser aplicado em lavouras, afim de garantir que o robô possua a capacidade de se deslocar em lavouras, ou seja, que possua capacidade *off road* para enfrentar os mais diversos ambientes e tipos de solo. Proporcionando um trabalho rápido e eficaz, que garanta que o veículo será capaz de superar as irregularidades e desníveis do terreno, sem que interfira no desenvolvimento de sua função.

Levando em conta o aspecto econômico, o desenvolvimento de um protótipo para coleta de dados na lavoura, auxiliará o agricultor no momento da aplicação dos

defensivos agrícolas e adubos, pois com a utilização do protótipo será possível determinar a quantidade correta de adubo ou agrotóxico, que deve ser aplicado na lavoura, afim de reduzir desperdícios.

Considerando os aspectos ambientais, o projeto busca por meio da utilização do protótipo de robô móvel, reduzir o desperdício de agrotóxicos e adubo de maneira a reduzir a poluição química gerada pela aplicação sem controle dos mesmos.

Já sob o ponto de vista educacional o projeto tem um importante papel de contribuir para a compreensão referente a importância do desenvolvimento de novos equipamentos, para que de maneira objetiva seja realizado estudos referentes ao desempenho dos componentes que compõem o protótipo, como o desempenho do sistema de suspensão e a capacidade de tração proporcionada pelos pneus.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção consiste na revisão de bibliografia e embasamento teórico a respeito da robótica móvel, com a apresentação dos principais conceitos referentes a sistema de suspensão veicular e robótica.

### 2.1 INTRODUÇÃO A ROBÓTICA

A definição de robô é algo difícil de determinar, pois ela vem evoluindo ao longo do tempo, por conta dos avanços tecnológicos que vem acontecendo durante os anos. Segundo Mataric (2014) a palavra robô é de origem tcheca que resulta das palavras *robot*, que significa “trabalho obrigatório” e *robotnik* que significa “servo”, Mataric (2014) relata que a palavra foi popularizada pelo tcheco Karel Capek em 1921.

É difícil determinar onde e quando foi o surgimento do primeiro robô, por conta de o desejo de construir máquinas que imitem o movimento dos seres humanos acompanha o homem desde a antiguidade, conforme Pieri (2002). Como acontecia no Egito antigo onde eram construídos dispositivos mecânicos em representações de deuses, com o intuito de demonstrar o poder e lógico para impressionar o povo. Já na Grécia dispositivos hidráulicos foram descobertos em estátuas antigas. E na idade média os seres que eram responsáveis por bater nos sinos e denotar as horas nos relógios dos cumes de torres, representados como anjos ou demônios, também já dispunham de certo grau de robótica (PAZOS, 2002).

Ao longo dos séculos várias invenções foram importantes para o desenvolvimento da robótica. De acordo com Pieri (2002) em 1954 é registrado a patente do primeiro robô controlado através do computador pelo George Devol. Algum tempo depois Devol foi cofundador da companhia de robôs UNIMATION, e no ano de 1961 o robô UNIMATE, que utilizava comando numérico computadorizado programável, foi instalado na General Motors, impulsionando a chamada era de automação industrial.

O surgimento dos robôs móveis se deu em 1968. Esse modelo (Figura 1) de robô utilizava conceitos da mecânica e da robótica fixa. No início parecia fácil tornar um robô móvel capaz de atuar em ambientes dinâmicos, devido ao avanço nas

áreas de sensores, processamento de imagens e inteligência artificial, mas de imediato foi percebido a grande complexidade que envolvida no desenvolvimento de robôs móveis, pois havia e tem até hoje, em desenvolver um sistema que perceba o que à a frente dos robôs e tome as ações corretas (PIERI, 2002).

Figura 1: O primeiro robô móvel: Shakey



**Fonte:** SVR (2018)

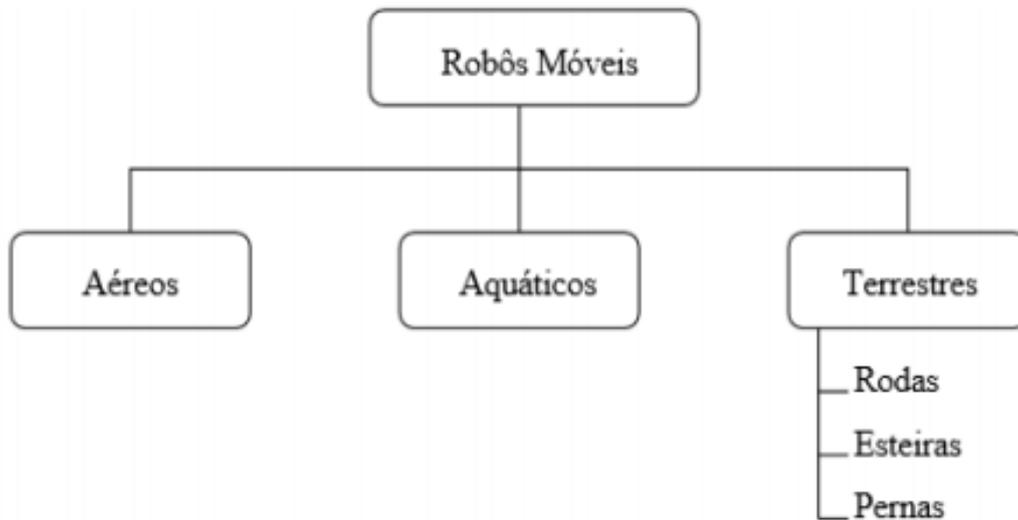
## 2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS ROBÔS

Há diversas maneiras que podem ser utilizadas para classificar os robôs, porém ainda não existe uma forma de padronizar a classificação dos robôs móveis. Porém de acordo com Pieri (2002) os robôs móveis podem ser agrupados de acordo com sua: anatomia, tipo de controle e funcionalidade.

### 2.2.1 Classificação pela anatomia

De acordo com sua anatomia, os robôs podem ser classificados em três grupos, que são: aéreos, aquáticos e terrestres. Conforme ilustra a Figura 2.

Figura 2: Classificação pela anatomia



**Fonte:** Pieri (2002)

Para Pieri (2002), os robôs aéreos são equipamentos que possuem capacidade de voar sobre o ambiente e possuem equipamentos como câmeras de vídeo que possibilitam o mapeamento e inspeção de grandes áreas de maneira rápida. Um simples exemplo desse tipo de robôs, são os populares drones.

Quanto aos robôs aquáticos, em geral, são equipamentos providos de propulsores ou outros tipos de atuadores que os permitam se deslocar dentro da água e possuem balões de ar, que o permite permanecer submerso no mar.

Por fim os robôs terrestres, que são os mais populares. Estes estão divididos de acordo com o tipo de atuador que utiliza como: rodas, esteiras e pernas.

Robôs com rodas, normalmente são os mais simples e comuns, conforme mostra a Figura 3, por não necessitarem um hardware tão complexo, se comparado aos robôs com esteiras e pernas. Segundo Pieri (2002), a principal desvantagem deste tipo de atuador é o desempenho obtido, para aplicações em terrenos muito irregulares. Além de, segundo o autor, a roda do robô deve ter o raio igual ou superior ao dos obstáculos a serem transpostos por ele.

Figura 3: Robôs com rodas



**Fonte:** Fendt (2017)

Robôs com esteiras, Figura 4, costumam ser utilizados em terrenos mais irregulares e com obstáculos como pedras. Porém, a principal desvantagem desse sistema se dá pelo sistema de atuadores com esteira gastar muita energia por se tratar de um sistema pesado e robusto (PIERI, 2002).

Figura 4: Robôs com esteira



**Fonte:** Nerva (2018)

Segundo Pieri (2002) robôs com pernas são empregados em terrenos acidentados ou subidas íngremes, como por exemplo, em ambientes com escadas. Segundo o autor a grande dificuldade encontrada nesse tipo de robô está no desenvolvimento do projeto para controlar as pernas, por conta de cada perna necessitar no mínimo de dois graus de liberdade e pelo menos dois motores em cada atuador. Por conta da complexidade do projeto dos atuadores seu custo acaba sendo elevado.

Figura 5: Robôs com pernas



**Fonte:** Toyota (2002)

### 2.2.2 Classificação pelo controle

Pieri (2002) classifica os robôs móveis em três categorias distintas de acordo com o tipo de controle, que estas são:

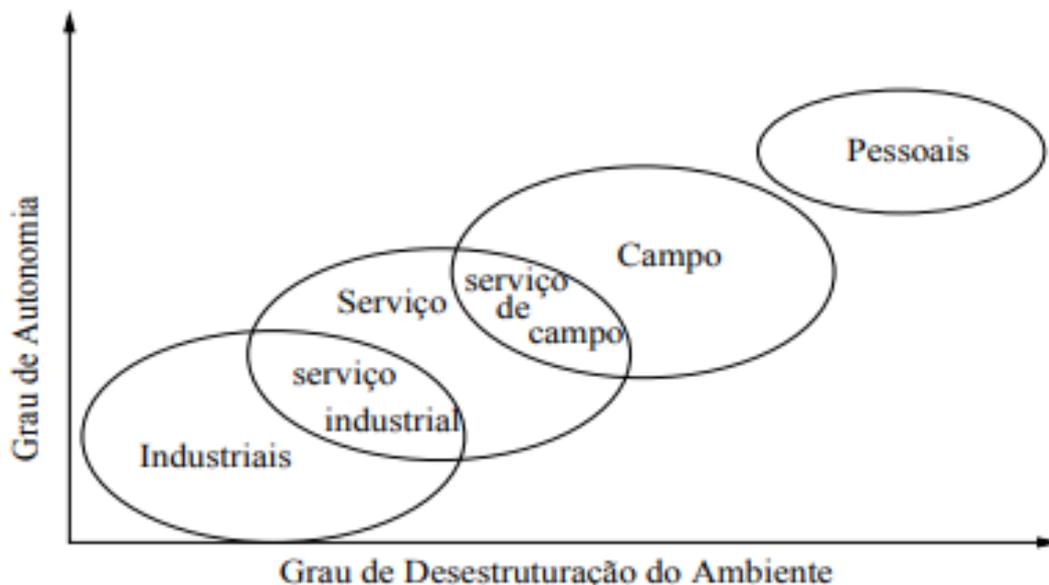
- Teleoperados: Onde o operador é responsável por realizar os movimentos e comandar o robô.

- Semiautônomos: São aqueles onde o operador executa um macro comando a ser executado e o robô realiza de forma autônoma.
- Autônomos: Estes são robôs inteligentes ao ponto de terem a capacidade de realizar as atividades sozinhos, assim tomando decisões de acordo com as informações obtidas do ambiente.

### 2.2.3 Classificação pela funcionalidade

Segundo Pieri (2002), ao classificar os robôs de acordo com sua funcionalidade, percebe-se que estes formam quatro grupos: robôs industriais, robôs de serviço, robôs de campo e robôs pessoais. Porém, há uma sobreposição nos grupos de robôs industriais, de serviço e de campo, essa sobreposição pode ser vista de maneira mais clara na Figura 6, essa sobreposição acontece devido as diferenças do ambiente de aplicação e a função de atuação.

Figura 6: Classificação segundo a funcionalidade



**Fonte:** Pieri (2002)

Robôs industriais são empregados em linhas de produção. Estes robôs recebem tarefas determinadas e são executadas de maneira automática e sequencial. Nessa aplicação o ambiente é estruturado e ajustado para a execução

da tarefa. Assim o robô tem conhecimento exato da sua posição e da posição dos objetos. Em geral, estes robôs são plataformas móveis utilizados em aplicação como transporte de materiais e produtos.

Robôs de serviço industrial são robôs que possuem características de um robô de serviço, porém são aplicados em ambientes completamente estruturados e planejados para aplicação dos mesmos.

De acordo com Pieri (2002), os robôs de serviços são robôs móveis empregados em serviços gerais, como limpeza, vigilância e transporte de materiais leves, como pode-se observar na Figura 7 um robô utilizado para entregar alimentos dentro uma universidade da Califórnia. Estes robôs recebem macro comandos da tarefa que devem executar e o ambiente é estruturado. Assim o robô necessita receber o conhecimento prévio do ambiente em que executara a tarefa.

Figura 7: Robô de serviço



**Fonte:** R7 (2018).

Neste trabalho é apresentado o projeto de um robô de serviço de campo, estes são robôs que atuam em ambientes externos que podem ser conhecidos ou não pelo robô, normalmente há a necessidade do processamento sensorial. Estes robôs são utilizados em atividades agrícolas e em carros autônomos.

A Figura 8 apresenta um exemplo de aplicação de robô móvel no ramo agrícola, sendo um grande gerador da demanda de desenvolvimento tecnológico.

Figura 8: Trator autônomo



**Fonte:** Revista Globo Rural (2017)

Robôs de campo desenvolvem atividades em ambientes totalmente desestruturados, pouco conhecidos e normalmente perigosos. As principais atividades realizadas por estes robôs são mineração, exploração e limpeza de acidentes nucleares (PIERI, 2002).

O quarto grupo, são os robôs pessoais. De acordo com Pieri (2002) são os robôs desenvolvidos para interagir com as pessoas. Não desenvolvem nenhuma tarefa específica, porém podem aprender a se localizar no ambiente.

#### 2.2.4 Componentes do robô móvel

De acordo com Niku (2011), a robótica é um campo que cruza as fronteiras da engenharia tradicional, e compreender sua complexidade e aplicações requer conhecimento de diversas áreas da engenharia, como por exemplo: mecânica, elétrica e de softwares. O estudo de robôs é um assunto interdisciplinar que se beneficia de diversos campos do saber, uma vez que seus componentes utilizam as mais variadas áreas da engenharia. Na construção de um robô móvel, tem-se basicamente os seguintes componentes: o manipulador (explorador), sensores, atuadores e controladores. No trabalho em questão não se estudará o

funcionamento de sensores, pois não se faz necessário a utilização do mesmo no protótipo para chegar-se ao objetivo geral.

Segundo Niku (2011), o explorador é o corpo principal do robô, no protótipo em questão nomeado como chassi. A partir dele são feitas as ligações das articulações, sensores, atuadores ou qualquer outro componente. Niku (2011) salienta que o explorador precisa de outros elementos para se caracterizar como robô, como atuadores e sensores, pois sozinho ele não se caracteriza um robô.

Os controladores são dispositivos que recebem um comando, transformam e o enviam a alguma parte do robô. Pode-se dizer então que o controlador é responsável por controlar os movimentos realizados pelo robô. Os controladores podem ser simples ou complexos, dependendo do tipo de aplicação. Um exemplo de controladores simples são as botoeiras que recebem comando físico e transformam em comandos elétricos para os atuadores.

Para atuar no ambiente em que estão inseridos os robôs devem possuir componentes e dispositivos que realizem alguma função ou tarefa, geralmente de acordo com o sinal emitido pelo controlador. São exemplos de atuadores os motores elétricos e componentes de locomoção (ROMERO, et al, 2014).

Conforme as premissas acima, o protótipo utilizará como atuadores, motores elétricos de corrente contínua, de acordo com Romero (2014) os motores corrente contínua, permitem um giro livre nos dois sentidos, porém alguns parâmetros devem ser considerados, que são: uso de mecanismo de redução, velocidade de rotação (RPM) e torque (N.m) do motor. Os motores deste tipo possuem especificada sua velocidade de rotação máxima, e através de uma caixa de engrenagem de redução, é possível reduzir a velocidade de rotação.

A velocidade é controlada através da variação da corrente elétrica aplicada no motor e a direção de giro de acordo com a polaridade. De acordo com suas características, os motores possuem diferentes capacidades de carga, que vem especificadas no motor. Na figura abaixo pode-se observar um motoredutor, que se trata de um motor elétrico com uma caixa de redução já acoplada ao motor.

Figura 9: Motor de corrente contínua



**Fonte:** Bosch (2018)

### 2.3 SISTEMA DE SUSPENSÃO

A principal função da suspensão de um veículo é a de isolar, da melhor maneira possível, a massa suspensa das perturbações provenientes da superfície irregular do solo. Para fazer isso, as rodas e as massas integrantes, as chamadas massas não suspensas, são ligados a carroceria com ligações mecânicas, que permitem o seu movimento, principalmente na direção vertical. Estas forças são transmitidas para os amortecedores e elementos da suspensão (GENTA, G.; MORELLO, L, 2009).

Segundo Gillespie (1992), os sistemas de suspensão podem ser classificados em dois grandes grupos: suspensão dependente (eixo rígido) e suspensão independente. Por esta razão, são apresentados abaixo vários tipos de suspensões existentes.

### 2.3.1 Suspensão de eixo rígido

Este tipo de suspensão também conhecido como suspensão dependente, se caracteriza principalmente pela união das rodas a um mesmo eixo, o que a torna dependentes. As suspensões dependentes têm a vantagem da simplicidade de construção, baixo custo, robustez e funcionamento, por conta de ter as rodas unidas diretamente ao eixo. No momento em que uma das rodas transpõe um obstáculo ou uma irregularidade no solo, o movimento será transmitido a outro e isto ocorre devido à rigidez do eixo.

Segundo Adami (2015) aplicação deste sistema ainda é amplamente utilizada em caminhões e em alguns carros nos eixos traseiros, além desses sua aplicação mais comum ocorre em automóveis com tração integral, veículos off road e caminhões conhecidos como fora de estrada, que requerem alta capacidade de carregamento. Na Figura 10 pode-se observar uma suspensão de eixo rígido em um veículo *off road*.

Figura 10: Veículo com suspensão de eixo rígido

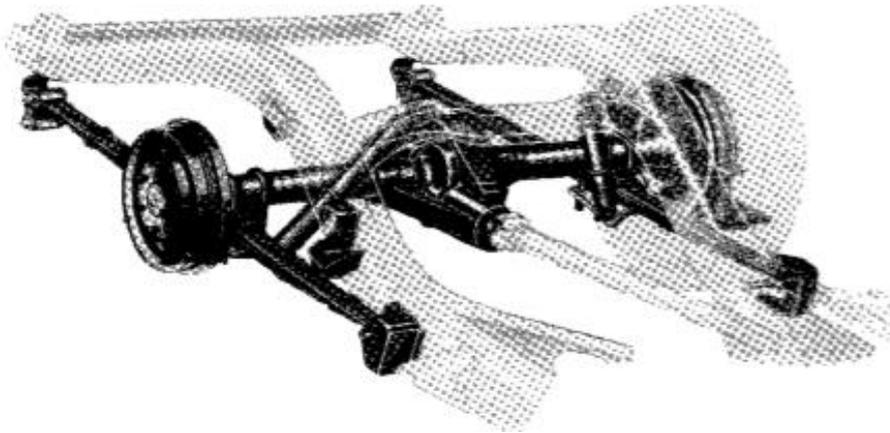


**Fonte:** 4x4Brasil (2008)

De acordo com o autor dentro da classificação de suspensão dependente existe uma subclassificação, que são os modelos específicos, como exemplos: *Hotchkiss*, *Four Link* e *De Dion*. Como o projeto deste trabalho visa a otimização de um veículo com aplicação em ambientes externos, as premissas acima fazem com que este tipo de suspensão seja o mais indicado.

De acordo com Gillespie (1992), o sistema de suspensão conhecido como *Hotchkiss* foi o sistema mais popular até o ano de 1960, era utilizado em veículos de passeio, caminhões leves e pesados. Este sistema é composto basicamente por um par de feixe de molas semi-elípticas montados na longitudinal em um eixo rígido, conforme ilustra a figura abaixo.

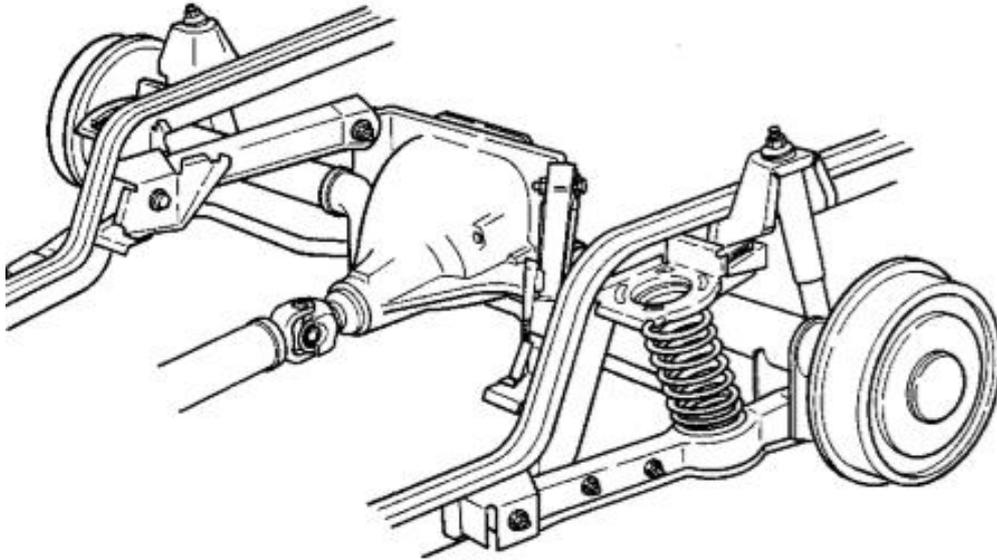
Figura 11: Suspensão *Hotchkiss*



**Fonte:** Gillespie (1992)

A suspensão *Hotchkiss* é uma suspensão simples e considerada de fácil fabricação e de baixo custo, porém o uso desta comparada a outros sistemas comprometia o conforto e dirigibilidade. Graças aos problemas encontrados com este tipo de suspensão surgiu o sistema de suspensão *Four Link* (Figura 12) que solucionou os problemas encontrados, através da utilização de molas helicoidais no lugar das molas semi-elípticas, proporcionando melhorias significativas em relação a ruído e vibração (GILLESPIE, 1992).

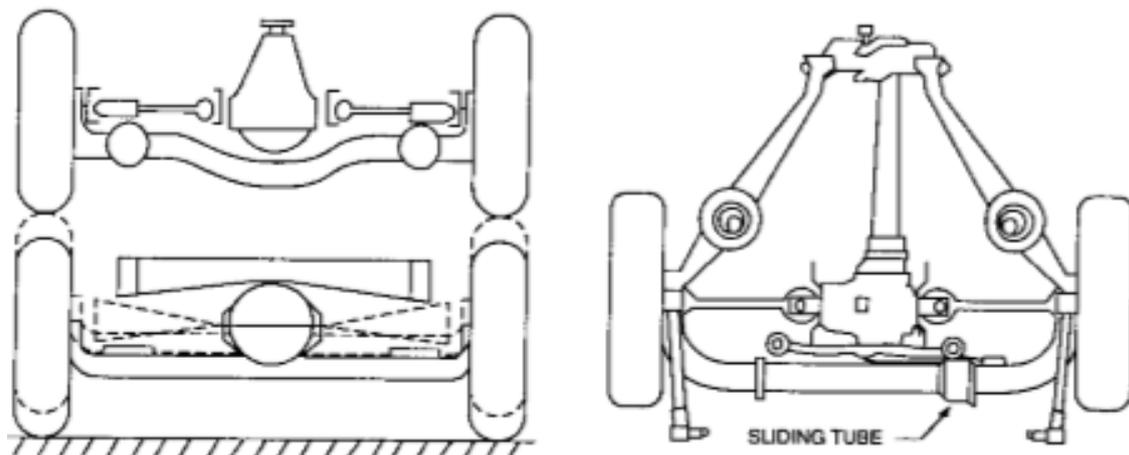
Figura 12: Suspensão *Four Link*



**Fonte:** Gillespie (1992)

Já o sistema *De Dion* (Figura 13) é composto por um eixo rígido que liga as duas rodas motrizes, chamado de tudo *De Dion* que faz com que as rodas estejam sempre paralelas. Este sistema foi projetado a fim de se tentar sanar os problemas encontrados com as suspensões de eixo rígido. Esse tipo de suspensão possui muito menos massa suspensa, devido ao fato de o diferencial e semi-eixos não estarem rigidamente fixados à suspensão. A suspensão *De Dion* pode ser montada com molas semi-elípticas ou molas helicoidais. Com molas helicoidais, tornam-se necessários o uso de braços de controle extras (GILLESPIE, 1992).

Figura 13: Suspensão *De Dion*



**Fonte:** Gillespie (1992)

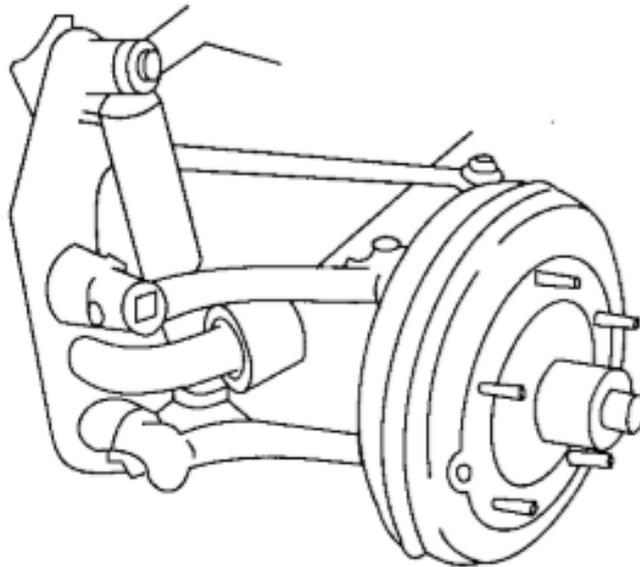
### 2.3.2 Suspensão independente

Este tipo de suspensão se diferencia da de eixo rígido pelo fato que a suspensão independente permite que cada uma das rodas trabalhe de maneira independente conforme o próprio nome revela, assim permite que a roda se movimente sem interferir na roda oposta.

Da mesma maneira que as suspensões de eixo rígido possuem várias configurações, nos sistemas independentes, também foram desenvolvidos vários modelos, que são: braço de arrasto, *multi-link* e *Mac Pherson*.

Segundo Gillespie (1992) o sistema “braço de arrasto” é um dos sistemas mais simples e econômicos projetados de suspensão independente, sendo originado por volta da II Guerra Mundial pela *Volkswagen*, este sistema utiliza dois feixes de mola submetidos a torção e montados transversalmente fornecendo o efeito de mola. A Figura 14 nos mostra esse tipo de configuração.

Figura 14: Suspensão "braço de arrasto"

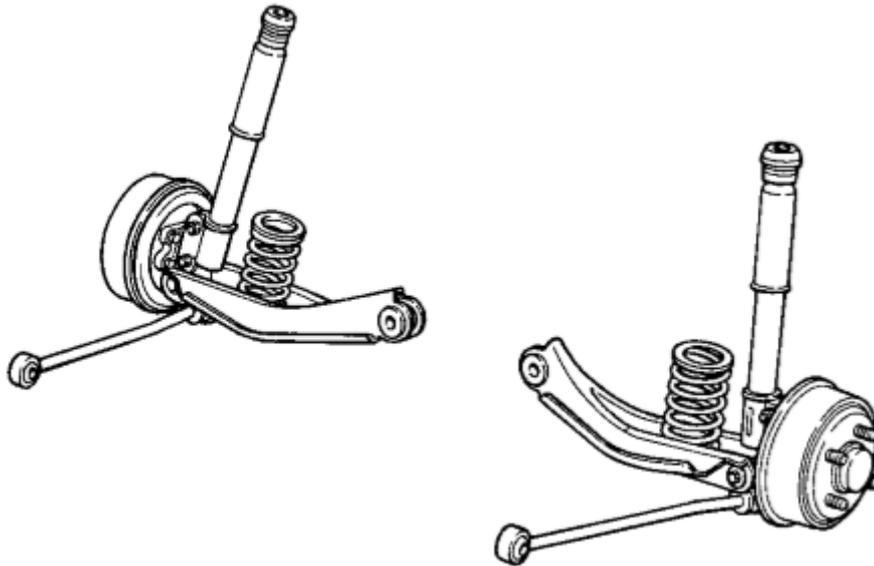


**Fonte:** Gillespie (1992)

Desenvolvida por Earle S. MacPherson, este tipo de suspensão mostrada na Figura 15, são utilizadas na dianteira de veículos de passeio de pequeno e médio porte, com tração dianteira. Uma das maiores vantagens da suspensão MacPherson é a facilidade de montagem porque existe um espaço livre para o motor quando

montado na posição transversal. Uma desvantagem é a grande altura do conjunto ocupa na dianteira do veículo (GILLESPIE, 1992).

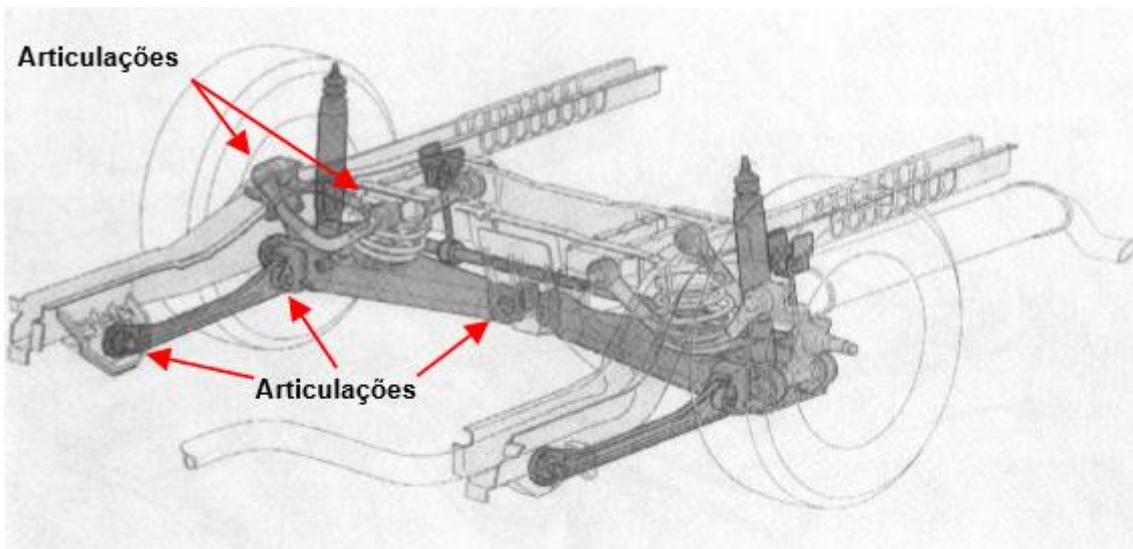
Figura 15: Suspensão *MacPherson*



**Fonte:** Gillespie (1992)

A suspensão *multi-link* mostrada na Figura 16 caracteriza-se pela utilização de *ball-joint* (articulações) nas conexões existentes nas pontas das barras, o que elimina os momentos fletores, assim tornando a suspensão traseira independente em cada roda e absorvendo de maneira mais eficiente as irregularidades do solo.

Figura 16: Suspensão *multi-link*



**Fonte:** Freitas (2006)

## 3 MÉTODOS

### 3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

Para o desenvolvimento do presente trabalho fez-se necessário a realização de pesquisas bibliográficas, para compor um referencial para o desenvolvimento do projeto de sistema de suspensão para o protótipo de robô móvel de maneira eficiente e eficaz. Com a realização de uma pesquisa, é possível de maneira mais clara e objetiva determinar qual deve ser o sistema a ser utilizado na suspensão, assim como nos outros sistemas que compõem o protótipo.

De acordo com a concepção de Gil (2002), o trabalho pode ser classificado como uma pesquisa exploratória, onde segundo ele, o principal objetivo é proporcionar maior familiaridade com o assunto, afim de torna-lo mais claro. Ainda segundo ele, na maior parte dos casos a pesquisa exploratória assume a forma de pesquisa bibliográfica ou estudo de caso. Uma vez que o que torna valido o estudo são os testes a serem desenvolvidos com o protótipo, desta maneira evidenciando que todo conhecimento adquirido se dá em virtude da pesquisa bibliográfica e dos testes.

Dado que o trabalho se trata de uma pesquisa, faz-se necessário determinar o tipo de pesquisa que se trata o presente trabalho. Assim podendo ser definida como uma pesquisa-ação, que é definida por Gil (2002) como um tipo de pesquisa com base empírica que é realizada em associação com uma ação, no qual os pesquisadores e participantes estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo.

O protótipo deve ser capaz de se locomover nas lavouras e enfrentar os obstáculos e irregularidades do solo, além de comportar os componentes e equipamentos de coleta de dados que serão instalados futuramente. O protótipo deve possuir características off-road, para que possa atender as suas funções de maneira que não prejudique a operação que está exercendo. O protótipo será composto por quatro rodas quatro motores elétricos, possibilitando tração integral, além de um sistema de suspensão dependente que possibilitará o protótipo enfrentar obstáculos e terrenos desnivelados sem problemas.

### 3.2 MATERIAS UTILIZADOS

Para o desenvolvimento do projeto se fez necessário a construção de um protótipo para a realização de testes. Para isso foi utilizado uma série de materiais e equipamentos. Para a construção do protótipo será feita a utilização dos laboratórios da FAHOR, onde possui grande parte dos equipamentos necessários para a construção do protótipo.

Os principais materiais utilizados para o desenvolvimento do projeto são:

- Notebook;
- Software de CAD (*SolidWorks*);
- Livros e Teses.

Os principais equipamentos necessários para manufatura do protótipo são:

- Torno mecânico convencional;
- Furadeira de bancada;
- Brocas de diversos tamanhos;
- Máquina de solda MIG/MAG;
- Esmerilhadora;
- Disco de desbaste;
- Disco de corte;
- Serra fita;
- Chave de boca;
- Chave allen;
- Alicates universal.

Os principais materiais utilizados na construção do protótipo são:

- Chapas de aço SAE 1020, espessura 4,75 mm;
- Barras chata de aço SAE 1020, espessura 10 mm;
- Barras redondas de aço SAE 1020, diâmetro 25 mm;
- Tubos quadrados 40 x 40 mm de aço SAE 1020;
- Cantoneiras 40 x 40 mm de aço SAE 1020;
- Quatro motores elétricos – Corrente Contínua 12 V;

- Uma bateria 80 Ah e 12 V;
- Dois terminais para bateria;
- Fios elétricos 1,0 mm;
- Botoeira de acionamento;
- Quatro rodados pneumáticos;
- Parafusos allen M6;
- Uma lata de tinta.

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

No desenvolvimento do projeto, foi considerado e realizado a busca por componentes que atendessem as restrições e estivessem acessíveis, de acordo com as características mais importantes do protótipo, foram escolhidos os materiais e componentes para a construção do protótipo de base robótica móvel, assim como identificadas as formas de atuação de cada componente para que possa desempenhar sua função da maneira mais eficiente.

Ressaltando que os componentes do protótipo foram adquiridos priorizando a questão da relação custo-benefício, então, não se testou o protótipo e seus componentes nas melhores condições de qualidade, pois se buscou uma otimização nos custos da construção do protótipo, adaptando o projeto aos materiais encontrados com menor custo.

#### 4.1.1 Motores Elétricos, Baterias e Botoeiras de Acionamento

Para realizar a movimentação do robô, foram utilizados quatro motores de limpador (Figura 17) de para-brisa Bosch, modelo F 006 B20 145. Os motores foram adquiridos usados, cedidos pelo professor orientador Adalberto Lovato, mesmo usados os motores se apresentavam em boas condições de funcionamento.

Figura 17: Catálogo Bosch

	Part number	P <sub>n</sub> (Nominal power) W	I <sub>n</sub> (Nominal current) A	n <sub>n</sub> (Nominal speed) rpm	M <sub>n</sub> (Nominal torque) Nm	M <sub>a</sub> (Stall torque) Nm	Gear ratio
<b>12 V</b>	F 006 B20 145*	6.7 ; 10.5	3.5 ; 5.5	32 ; 50	2	23 ; 20	63:1
<b>24 V</b>	F 006 B20 048*	6.9 ; 10.7	2 ; 3	33 ; 51	2	30 ; 23	63:1
	F 006 B20 064*	6.9 ; 10.7	2 ; 3	33 ; 51	2	30 ; 23	63:1
	F 006 B20 146*	6.9 ; 10.7	2 ; 3	33 ; 51	2	30 ; 23	63:1
	F 006 B20 106	9.8	3.5	47	2	32.5	79:1
	F 006 B20 360	16	2.4	51	3	35	63:1
	F 006 WM0 310	16	2.4	51	3	35	63:1

**Fonte:** Adaptado de Bosch (2018)

A escolha deste tipo de motor se deve pelo fato de este motor possuir um sistema de redução de coroa e sem-fim que proporciona uma relação de 63:1, que proporciona a utilização deste motor no protótipo, pois com a redução a velocidade de rotação é reduzida para cerca de 50 RPM e um aumento do torque, que de acordo com o catálogo da Bosch, possui um torque de 2 N.m.

Figura 18: Motor Bosch



O principal motivo para a escolha deste motor se deve pela relação de custo-benefício. Outro fator que influenciou na escolha deste motor, é o fato de ser um motor de corrente contínua 12V, assim facilitando a instalação e funcionamento do protótipo.

Os detalhes dos motores elétricos e da bateria estão disponíveis nas Apêndices A e B, respectivamente.

Figura 19: Bateria



Em relação a fonte de energia foi realizada a escolha de utilizar uma bateria automotiva 12 V (Figura 19), sendo que está possui capacidade de 80 Ah. O sistema elétrico, é composto por uma bateria, quatro motores, uma botoeira de acionamento (Figura 20) e fios de 1,0 milímetro de diâmetro.

Figura 20: Botoeira de acionamento



O principal fator levado em consideração na escolha da botoeira de acionamento, foi que ela deve possuir a capacidade de inversão de polaridade. Esta característica favorece as necessidades do protótipo de andar para frente, para trás e parar. Por esta necessidade, foi utilizado uma botoeira de acionamento.

#### 4.1.2 Rodados e eixos

No protótipo utilizou-se rodados pneumáticos 3,50x4 (Figura 21) normalmente utilizados em carrinhos de carga. Os rodados visaram atender as características de projeto do protótipo, que são, de possuir características *off road*, ou seja, possuir agarradeiras que proporcionassem ter boa tração, além de ser rodas grandes, para auxiliar a transpassar obstáculos encontrados no solo. Além disso, a escolha dessas rodas interfere na distância entre o chassi e o solo.

Figura 21: (a) Rodados pneumáticos 3,5x4, (b) Conjunto rodado e eixo



(a)

(b)

Estes rodados possuem as dimensões de 25 centímetros de diâmetro e 8 centímetros de largura e capacidade máxima de carga de 150kg. Assim essas rodas favorecem a aplicação desejada. Outro fato que se pode mencionar sobre os rodados, é que eles possuem um mancal de rolamentos acoplado no interior da roda de aço zincada. Esse mancal foi eliminado, pois é necessário que os eixos fossem fixos diretamente nas rodas, assim tracionando o protótipo.

Pra transmitir o movimento dos motores para as rodas, usinou-se no laboratório de usinagem da FAHOR quatro eixos (Apêndice C) a partir de barras redondas de aço 1020, de forma com que esses se ajustem ao diâmetro de acoplamento nos mancais das rodas. Como dito anteriormente para impedir a livre rotação dos eixos em relação às rodas, soldaram-se os eixos e os mancais junto as rodas. Assim os mancais perderam a sua função e os eixos ficam fixados de modo permanente as rodas, formando assim um conjunto de rodado e eixo, conforme pode ser visualizado na Figura 21 (b).

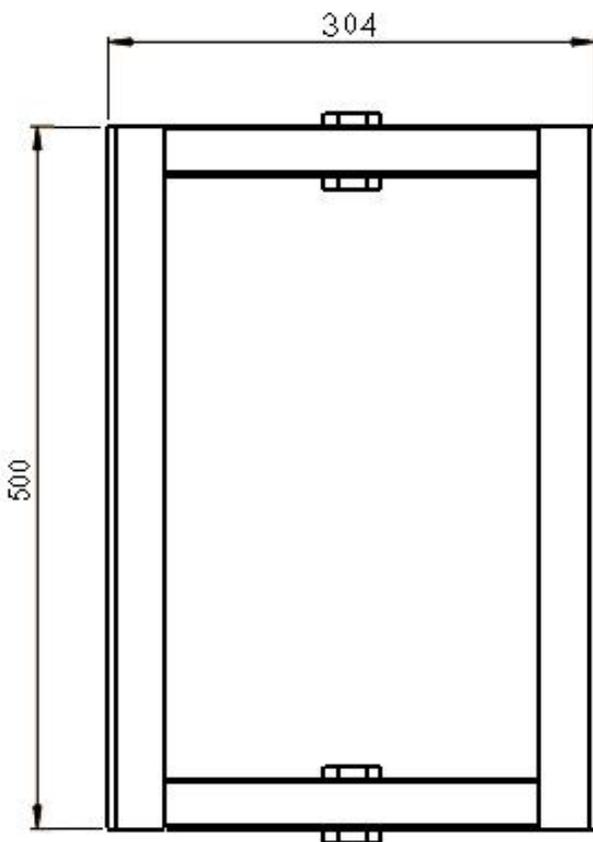
Os detalhamentos dos eixos e das rodas estão disponíveis nos Apêndices C e D, respectivamente.

#### 4.1.3 Chassi

O chassi do protótipo (Figura 23) foi desenvolvido levando em conta a robustez e as dimensões do mesmo. Segundo Fiedler (2017) o principal ponto a ser observado no chassi do protótipo são as suas dimensões, dado que protótipo deveria se deslocar no espaçamento entre linhas nas plantações de soja, que pode variar de 40 a 60 centímetros.

Para realizar a construção do chassi optou-se por utilizar cantoneiras de aço SAE 1020 de 1" de largura e tubos quadrados de 35x35 milímetros, assim desenvolvendo um chassi robusto e resistente com dimensões de 350 milímetros de largura e 500 milímetros de comprimento. O uso destes componentes se deve ao fato principal de desenvolver um protótipo com bom custo-benefício, assim utilizando esses perfis que são retalhos, encontrados na casa do autor.

Figura 222: Chassi soldado



Esses perfis foram soldados (no laboratório de soldagem da FAHOR) através do processo MAG (processo mais utilizado na união de materiais ferrosos)

de forma juntá-las formando o chassi retangular conforme as dimensões, em milímetros, especificadas na Figura 23.

Nos tubos quadrados foram soldados duas chapas de aço SAE 1020 de espessura  $\frac{1}{2}$ " (Figura 23), onde nessas chapas são o suporte do eixo da suspensão do protótipo. Em cada chapa dessas ainda foi feito um furo de 13 milímetros de diâmetro para alocar o pino de sustentação do eixo da suspensão, conforme Figura 24. Os furos foram feitos utilizando a furadeira de bancada e brocas disponíveis na FAHOR.

Nos Apêndices E, F e G seguem, respectivamente, os desenhos detalhados das peças do chassi.

#### 4.1.4 Suspensão

Para que fosse possível a fixação dos motores no eixo da suspensão do protótipo, fabricou-se um suporte (Figura 24) a partir de chapas de aço SAE 1020 espessura  $\frac{1}{4}$ ". Nesta chapa é onde o motor é fixo, desse modo, a mesma é soldada ao tubo da suspensão. Cada suporte possui um furo de 25 milímetros de diâmetro por onde passa o eixo do motor, e três furos de 7 milímetros de diâmetro para fixação dos motores com parafusos allen M6.

Figura 233: Chapas de fixação dos motores



Como eixo da suspensão, foi utilizado um tubo de perfil quadrado de 35x35 milímetros e comprimento de 500 milímetros, com um furo centralizado de 17 milímetros de diâmetro por onde passa o eixo de suporte do tubo da suspensão, conforme podemos observar na Figura 25. Em cada uma das extremidades deste tubo foram soldadas cantoneiras, que unem a chapa de suporte do motor ao tubo da suspensão.

Para dar estabilidade e limitar o curso da suspensão foi utilizado quatro molas com 35 milímetros de comprimento cada, sendo estas fixas no chassi e no eixo da suspensão (Figura 25) através de um suporte soldado aos mesmos, assim possibilitando que a suspensão trabalhe de maneira eficiente e eficaz, dando ao protótipo as características de uma suspensão dependente de eixo rígido.

Figura 244: Eixo da suspensão



Nos Apêndices H, I, J, K, L e M seguem, respectivamente, os desenhos detalhados das chapas de suporte para os motores, cantoneira de ligação, eixo da suspensão, pino de suporte do eixo, suporte da mola e a mola. Por fim, tem-se o protótipo de base robótica móvel montado e detalhado no Apêndice N.

## 4.2 REALIZAÇÃO DE TESTES PRÁTICOS

Para verificar se os componentes definidos anteriormente no trabalho fornecem ao protótipo a capacidade *off road* necessária para o protótipo de robô móvel, foi necessário realizar testes práticos com intuito de verificar sua funcionalidade em diferentes condições e terrenos.

Assim para verificar se o sistema de suspensão definido para o protótipo fornece as características e capacidade para atender aos objetivos determinados para o estudo, realizou-se testes práticos, testando o protótipo em diferentes ambientes, que serão abordados nos itens seguintes.

### 4.2.1 Análise da mobilidade do protótipo em diferentes ambientes

Conforme dito anteriormente, definiu-se testar o protótipo em diversos ambientes, buscando testa-lo em condições e ambientes extremos, para assim determinar o quão eficaz é o sistema de suspensão. Assim as condições escolhidas para que o protótipo fosse exposto são: solo com cobertura vegetal, terra úmida e irregular, solo pedregoso, solo lamacento.

#### 4.2.1.1 Ambiente plano com pedriscos

O teste inicial do protótipo deu-se em ambiente plano e com pedriscos. Em princípio, com objetivo principal testar o funcionamento do protótipo em sua primeira utilização (Figura 26) antes de iniciar os testes em ambientes adversos, com foco em detectar necessidades de ajustes ou melhorias. Assim durante esse teste o robô mostrou condições satisfatórias de mobilidade neste tipo de terreno, apresentando boa aderência ao terreno e não havendo dificuldade em mover-se.

Figura 255: Protótipo em solo plano



#### 4.2.1.2 Ambiente pedregoso

Em ambientes pedregosos de maneira geral, o protótipo apresentou capacidade de locomover-se. Quando testado na presença de grande irregularidade de desníveis, conforme pode-se observar nas Figura 27 e Figura 28, o protótipo não apresentou dificuldade em mover-se, devido ao sistema de suspensão do robô permitir manter as quatro rodas em contato com o solo mesmo em terrenos com bastante desníveis, assim propiciando o veículo ter tração para superar os desníveis e obstáculos.

Figura 266: Mobilidade em solo pedregoso



Ainda na condição de ambiente pedregoso, verificou-se que o protótipo de robô apresentou boas condições de mobilidade. Nota-se que, conforme apresenta a Figura 28 abaixo, na condição de grande desnível, mesmo que em ambiente com certa umidade, o protótipo é capaz de mover-se nesse tipo de ambiente.

O sistema de suspensão utilizado no robô demonstrou-se eficiente durante os testes, conforme pode-se ver na Figura 28, mantendo o chassi do veículo centralizado e mantendo as rodas em contato com o solo.

Figura 277: Protótipo em solo pedregoso



#### 4.2.1.3 Ambiente com cobertura vegetal

Na realização dos testes do protótipo de robô móvel em ambiente com cobertura vegetal, percebe-se que o mesmo não apresentou grandes dificuldades de locomoção quando em terreno plano. Porém, quando analisado o seu comportamento com a vegetação ligeiramente úmida em aclives com inclinação superior a 30° (Figura 29), verificou-se falta de aderência das rodas ao solo, fazendo o protótipo deslizar, resultando na redução de sua eficiência de mobilidade.

Por outro lado, ao testar o protótipo em um ambiente seco, com grandes aclives e coberto por vegetação, o veículo não apresentou dificuldades de mobilidade, assim tendo a tração necessária para se locomover sem dificuldades.

Figura 288: Mobilidade em solo com vegetação



#### 4.2.1.4 Ambiente úmido e irregular

Em testes realizados em ambientes úmidos e irregulares, os resultados obtidos foram positivos, levando em consideração a tração promovida pelo conjunto rodado, motor e suspensão utilizado no protótipo. Sendo que se encontra em condições de terreno úmido e irregular (Figura 30), o protótipo permaneceu em mobilidade sem ocorrer seu atolamento, graças a suspensão que manteve o veículo com as rodas sempre em contato com o solo.

A partir desse resultado, considera-se que o conjunto da suspensão proporciona ao protótipo a capacidade de superar terrenos desnivelados e úmidos, assim fornecendo as características definidas como objetivos do estudo.

Figura 29: (a) Mobilidade em solo úmido e (b) irregular



#### 4.2.1.5 Ambiente Lamacento

Analisando o protótipo em ambiente lamacento, não houve atolamento. Assim, nesta condição, os resultados são positivos. O robô apresentou resultados satisfatórios, graças ao conjunto motor-rodado que proporciona tração e força suficiente para superar este terreno.

Figura 290: Mobilidade em solo lamacento



## CONCLUSÃO

A partir da construção e dos resultados obtidos no desenvolvimento dos testes práticos do protótipo, em que se testou o sistema de suspensão e tração do protótipo ao extremo, pode-se concluir que os objetivos desse trabalho foram alcançados. Como pode-se observar nos resultados obtidos no capítulo anterior em que o robô apresentou bom desempenho em todos os ambientes e bem como nas situações adversas a que o mesmo foi exposto.

Conforme os resultados dos testes, nota-se que o conjunto do motor e da suspensão atenderam as necessidades do protótipo, sendo que os quatro motores disponibilizaram a força necessária para superar obstáculos uma vez que todos os rodados se encontraram em contato com o chão, graças ao sistema de suspensão que proporcionou esta capacidade ao robô.

Assim o objetivo do trabalho foi atendido, desde a elaboração do projeto em software e construção do protótipo, para a realização dos testes práticos, que nesses obteve-se resultados satisfatórios, comprovando a eficácia do sistema de suspensão de eixo rígido utilizada no protótipo de robô móvel com rodas.

## REFERÊNCIAS

4X4BRASIL. **Vitara Eixo Rígido**. Disponível em: <<http://www.4x4brasil.com.br/forum/suzuki/7323-vitara-eixo-rigido-12.html>>. Acesso em 25 out 2018.

ADAMI, L. G. S. **Análise de Amortecedores Comerciais para o Veículo Baja UCS**. Disponível em: <<https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/2087/TCC%20Leonardo%20Grandini%20da%20Silveira%20Adami.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 25 out 2018.

BOSCH. **Catálogo Digital Bosch**. Disponível em <[http://www.bosch-ibusiness.com/downloads/Catalog\\_motores\\_eletricos\\_pt\\_75420.pdf](http://www.bosch-ibusiness.com/downloads/Catalog_motores_eletricos_pt_75420.pdf)>. Acesso em: 8 set 2018.

FENDT. **Fendt puts the new robot 'Xaver' to use**. Disponível em: <<https://www.fendt.com/int/fendt-xaver.html>>. Acesso em 10 ago 2018.

FIEDLER, Vinicius A. **Protótipo de Base Robótica Móvel para Aplicação no Ramo Agrícola**. 2017. Monografia de Bacharel em Engenharia Mecânica – Faculdade Horizontina (FAHOR), Horizontina, 2017.

FREITAS Jr, L. M. P. **Estudo da dinâmica vertical de uma suspensão veicular do tipo MacPherson**. Dissertação Mestrado - Programa de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

GENTA, G.; MORELLO, L. **The Automotive Chassis: Volume 1:Components Design**. Dordrecht: Springer, 2009.

GIL, Antonio C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

GILLESPIE, T. D. **Fundamental of Vehicles Dynamics**. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, 1992.

GLOBO RURAL. **Case apresenta trator autônomo e sem cabine no Brasil**. Disponível em: <<https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Empresas-e-Negocios/noticia/2017/04/case-apresenta-trator-autonomo-e-sem-cabine-no-brasil.html>>. Acesso em: 17 ago 2018.

MATARIC, Maja J. **Introdução à Robótica**. Trad. de H.F. Filho, J.R. Silva e S.F.R. Alves. São Paulo: Unesp/Blucher, 2014.

NERVA. **UNHITEC**. Disponível em: <<https://www.unhitec-robotics.com/blank>>. Acesso em: 11 ago 2018.

NIKU, S. B. **Introdução à robótica: Análise, controle, aplicações**. 2 ed. Trad. de S. G. Taboada. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

ONU. **World Population Prospects: The 2017 Revision.** Disponível em: <[https://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/WPP2017\\_KeyFindings.pdf](https://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/WPP2017_KeyFindings.pdf)>. Acesso em 14 abr 2018.

PAZOS, Fernando. **Automação de Sistemas e Robótica.** Disponível em: <<https://sites.google.com/site/fernandoapazos/home/automacao-e-robotica>>. Acesso em 21 abr 2018.

PIERE, E. R. de. **Curso de Robótica Móvel.** Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAerIAI/robotica-movel#>> Acesso em: 21 abr 2018.

R7. **Robôs circulam pela Universidade da Califórnia fazendo entregas.** Disponível em: <<https://noticias.r7.com/tecnologia-e-ciencia/robos-circulam-pela-universidade-da-california-fazendo-entregas-20062018>>. Acesso em: 02 set 2018.

ROMANO, V. F.; DUTRA, M. S. **Introdução à Robótica Industrial.** Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAF1cAG/robotica-industrial#>>. Acesso em: 20 abr 2018.

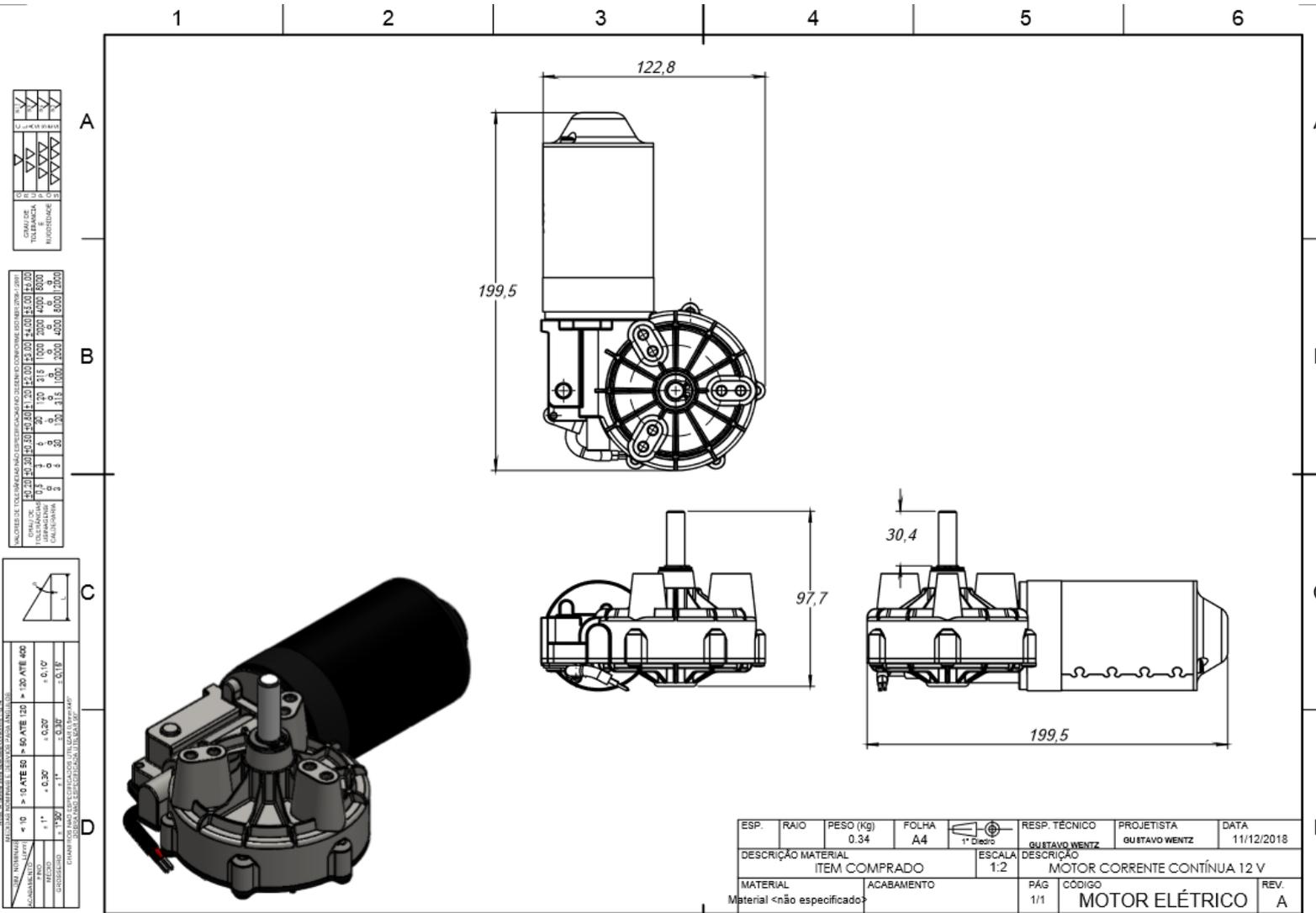
SANTOS, Alan Duarte dos. et al. **PIA Robot Concepção de um Robô Embarcado Usando Web e Arduino.** Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/41221/merged%20%284%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 15 abr 2018.

SVR. **O primeiro robô móvel.** Disponível em: <<https://svrobo.org/shakey-is-first-robot-to-recieve-ieee-milestone-award/>>. Acesso em 21 abr 2018.

TOYOTA. **Partner Robot.** Disponível em: <[https://www.toyota-global.com/innovation/partner\\_robot/robot/#link01](https://www.toyota-global.com/innovation/partner_robot/robot/#link01)>. Acesso em 10 ago 2018.

## **APÊNDICES**

# APÊNDICE A







# APÊNDICE D

1 2 3 4 5 6

A

A

B

B

C

C

D

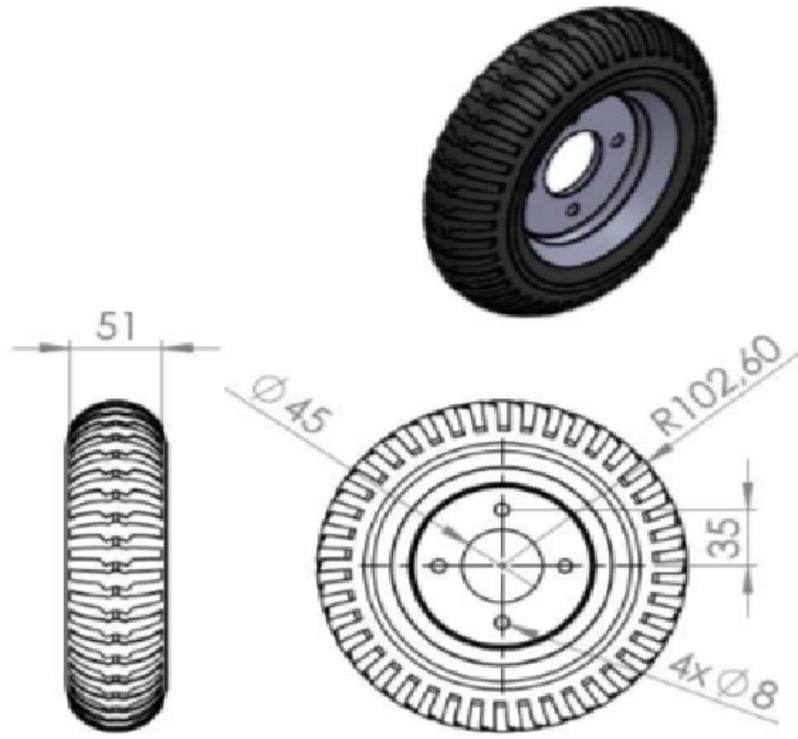
D

1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54
55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66
67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78
79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96
97	98	99	100	101	102
103	104	105	106	107	108
109	110	111	112	113	114
115	116	117	118	119	120
121	122	123	124	125	126
127	128	129	130	131	132
133	134	135	136	137	138
139	140	141	142	143	144
145	146	147	148	149	150
151	152	153	154	155	156
157	158	159	160	161	162
163	164	165	166	167	168
169	170	171	172	173	174
175	176	177	178	179	180
181	182	183	184	185	186
187	188	189	190	191	192
193	194	195	196	197	198
199	200	201	202	203	204
205	206	207	208	209	210
211	212	213	214	215	216
217	218	219	220	221	222
223	224	225	226	227	228
229	230	231	232	233	234
235	236	237	238	239	240
241	242	243	244	245	246
247	248	249	250	251	252
253	254	255	256	257	258
259	260	261	262	263	264
265	266	267	268	269	270
271	272	273	274	275	276
277	278	279	280	281	282
283	284	285	286	287	288
289	290	291	292	293	294
295	296	297	298	299	300

1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54
55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66
67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78
79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96
97	98	99	100	101	102
103	104	105	106	107	108
109	110	111	112	113	114
115	116	117	118	119	120
121	122	123	124	125	126
127	128	129	130	131	132
133	134	135	136	137	138
139	140	141	142	143	144
145	146	147	148	149	150
151	152	153	154	155	156
157	158	159	160	161	162
163	164	165	166	167	168
169	170	171	172	173	174
175	176	177	178	179	180
181	182	183	184	185	186
187	188	189	190	191	192
193	194	195	196	197	198
199	200	201	202	203	204
205	206	207	208	209	210
211	212	213	214	215	216
217	218	219	220	221	222
223	224	225	226	227	228
229	230	231	232	233	234
235	236	237	238	239	240
241	242	243	244	245	246
247	248	249	250	251	252
253	254	255	256	257	258
259	260	261	262	263	264
265	266	267	268	269	270
271	272	273	274	275	276
277	278	279	280	281	282
283	284	285	286	287	288
289	290	291	292	293	294
295	296	297	298	299	300



1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54
55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66
67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78
79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96
97	98	99	100	101	102
103	104	105	106	107	108
109	110	111	112	113	114
115	116	117	118	119	120
121	122	123	124	125	126
127	128	129	130	131	132
133	134	135	136	137	138
139	140	141	142	143	144
145	146	147	148	149	150
151	152	153	154	155	156
157	158	159	160	161	162
163	164	165	166	167	168
169	170	171	172	173	174
175	176	177	178	179	180
181	182	183	184	185	186
187	188	189	190	191	192
193	194	195	196	197	198
199	200	201	202	203	204
205	206	207	208	209	210
211	212	213	214	215	216
217	218	219	220	221	222
223	224	225	226	227	228
229	230	231	232	233	234
235	236	237	238	239	240
241	242	243	244	245	246
247	248	249	250	251	252
253	254	255	256	257	258
259	260	261	262	263	264
265	266	267	268	269	270
271	272	273	274	275	276
277	278	279	280	281	282
283	284	285	286	287	288
289	290	291	292	293	294
295	296	297	298	299	300



ESP.	RAIO	PESO (kg)	FOLHA	 1º ângulo	RESP. TÉCNICO	PROJETISTA	DATA
			A4		GU STAVO WENTZ	GU STAVO WENTZ	11/12/2018
DESCRIÇÃO MATERIAL				ESCALA	DESCRIÇÃO		
ITEM COMPRADO				2:1	RODADO PNEUMÁTICO 3,5X4		
MATERIAL		ACABAMENTO		PÁG	CÓDIGO	REV.	
				1/1	RODADO	A	

# APÊNDICE E

1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6

A

B

C

D

A

B

C

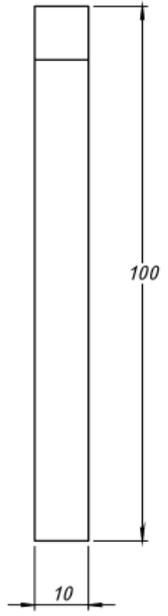
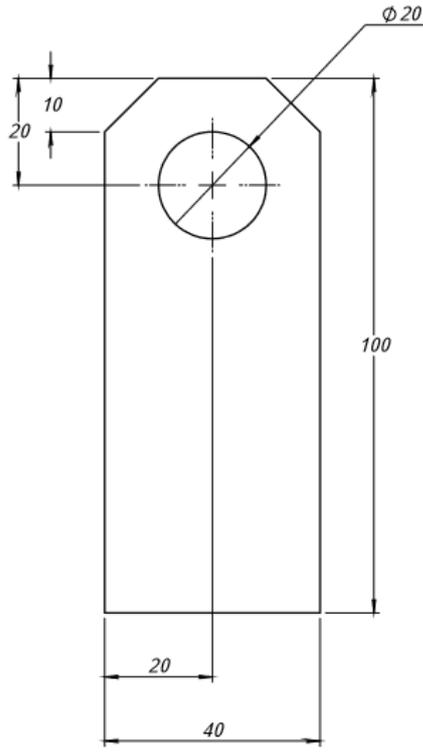
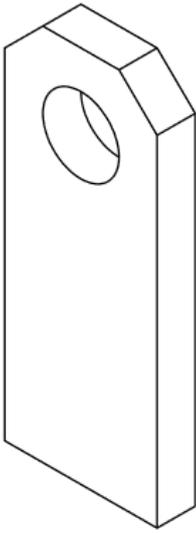
D

1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54
55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66
67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78
79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96
97	98	99	100	101	102
103	104	105	106	107	108
109	110	111	112	113	114
115	116	117	118	119	120

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----



ESP.	RAIO	PESO (kg)	FOLHA	1° Desenho	RESP. TÉCNICO	PROJETISTA	DATA
			A4		GUSTAVO WENTZ	GUSTAVO WENTZ	11/12/2018
DESCRIÇÃO MATERIAL					ESCALA	DESCRIÇÃO	
AÇO SAE 1020					1:2	SUPORTE DO TUBO DA SUSPENSÃO	
MATERIAL		ACABAMENTO			PÁG	CODIGO	REV.
					1/1	SUPORTE SUSPENSÃO	A



# APÊNDICE G

1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6

A

B

C

D

A

B

C

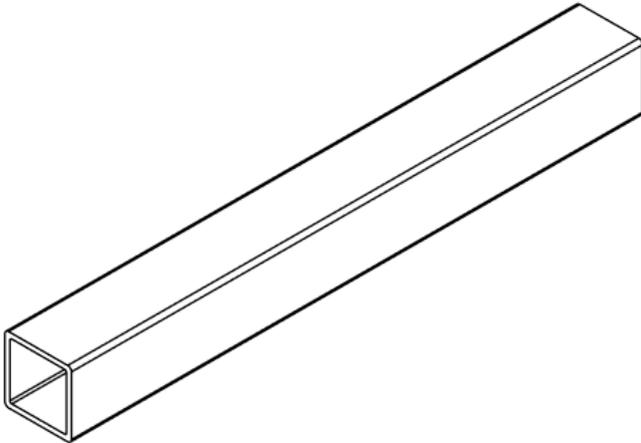
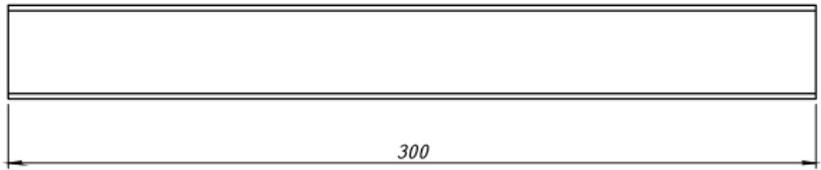
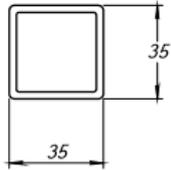
D

1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54
55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66
67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78
79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96
97	98	99	100	101	102
103	104	105	106	107	108
109	110	111	112	113	114
115	116	117	118	119	120

1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54
55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66
67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78
79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96
97	98	99	100	101	102
103	104	105	106	107	108
109	110	111	112	113	114
115	116	117	118	119	120



1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54
55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66
67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78
79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96
97	98	99	100	101	102
103	104	105	106	107	108
109	110	111	112	113	114
115	116	117	118	119	120



ESP.	RAIO	PESO (kg)	FOLHA	1° Desenho	RESP. TÉCNICO	PROJETISTA	DATA
			A4		GUSTAVO WENTZ	GUSTAVO WENTZ	11/12/2018
DESCRIÇÃO MATERIAL					ESCALA	DESCRIÇÃO	
AÇO SAE 1020					1:2	TUBO 35X35 MM	
MATERIAL	ACABAMENTO		PÁG	CODIGO	REV.		
			1/1	TUBO CHASSI	A		

# APÊNDICE H

1 2 3 4 5 6

A

A

1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54
55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66
67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78
79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96
97	98	99	100	101	102
103	104	105	106	107	108
109	110	111	112	113	114
115	116	117	118	119	120

B

B

1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54
55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66
67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78
79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96
97	98	99	100	101	102
103	104	105	106	107	108
109	110	111	112	113	114
115	116	117	118	119	120

C

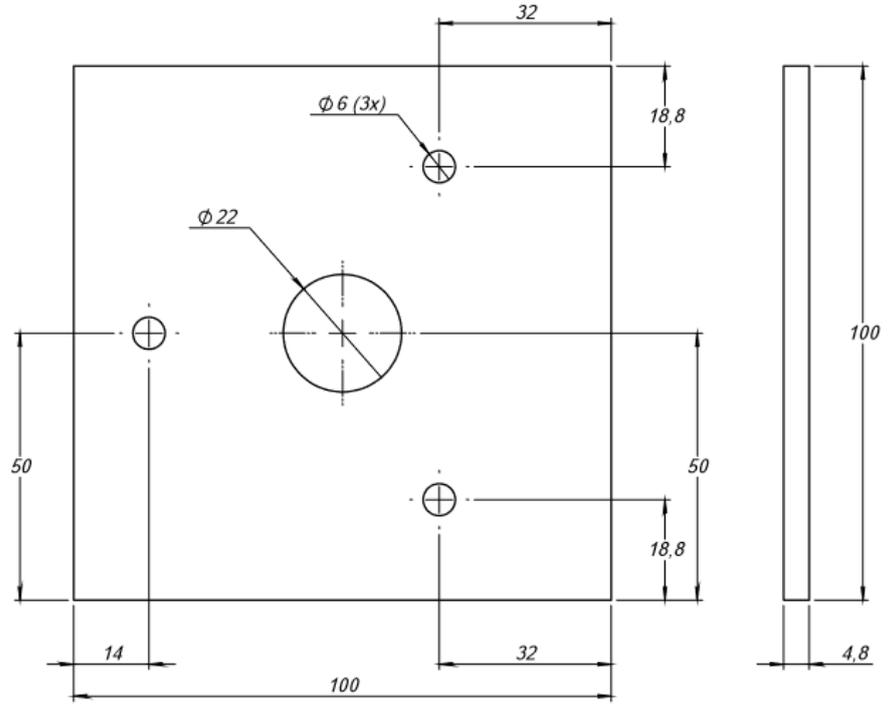
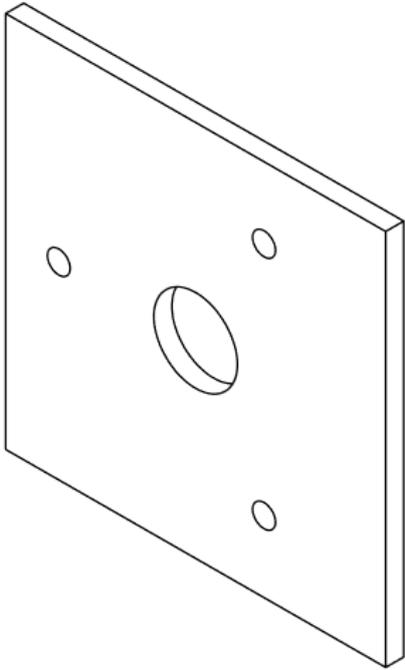
C

1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54
55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66
67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78
79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96
97	98	99	100	101	102
103	104	105	106	107	108
109	110	111	112	113	114
115	116	117	118	119	120

D

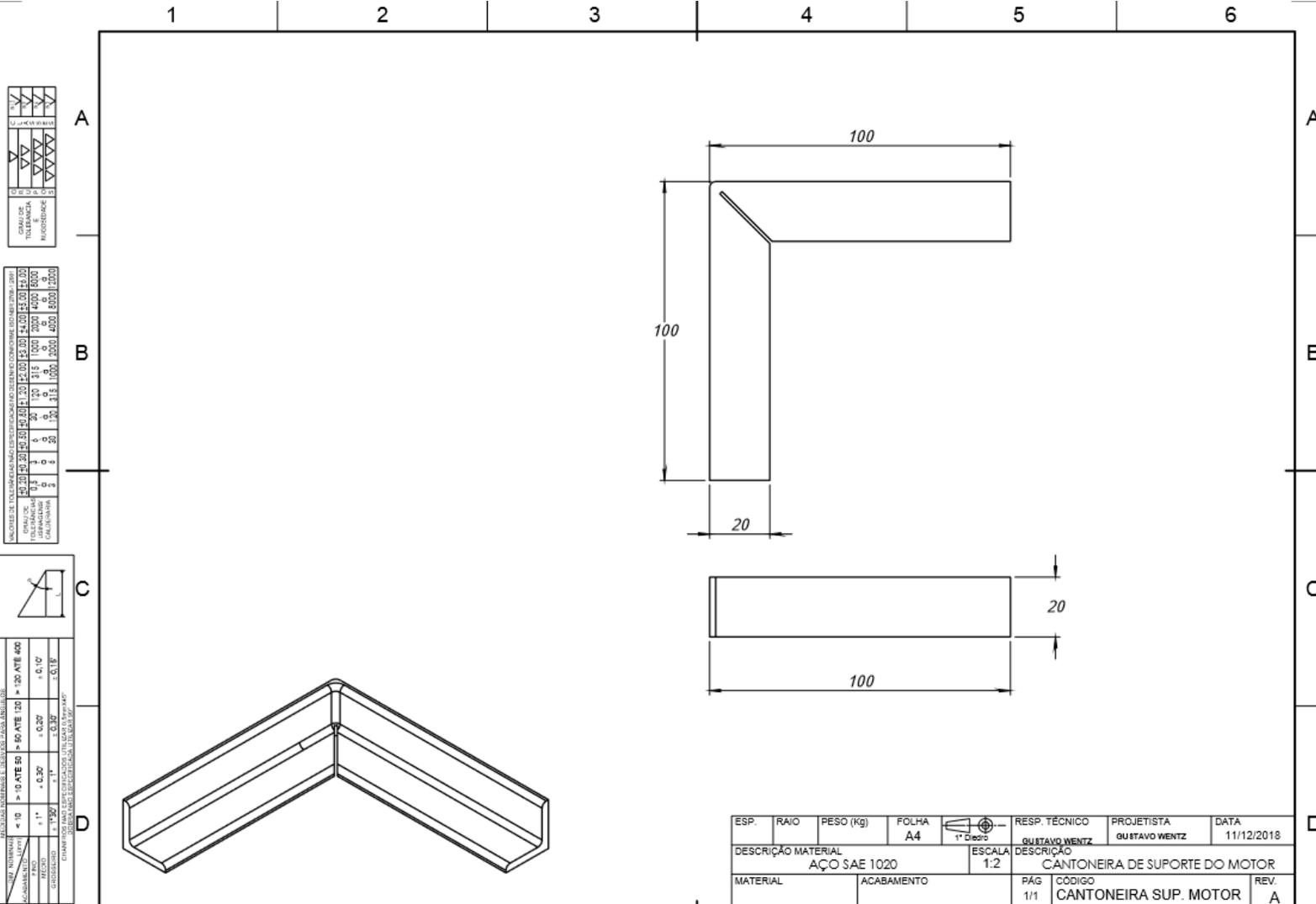
D

1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54
55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66
67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78
79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96
97	98	99	100	101	102
103	104	105	106	107	108
109	110	111	112	113	114
115	116	117	118	119	120



ESP.	RAIO	PESO (Kg)	FOLHA	1° Escala	RESP. TÉCNICO	PROJETISTA	DATA
			A4		GUSTAVO WENTZ	GUSTAVO WENTZ	11/12/2018
DESCRIÇÃO MATERIAL				ESCALA	DESCRIÇÃO		
AÇO SAE 1020				1:1	CHAPA SUPORTE DO MOTOR		
MATERIAL		ACABAMENTO		PÁG	CODIGO	REV.	
				1/1	SUPORTE MOTOR	A	

# APÊNDICE I



U	V	W	X	Y	Z
1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36

Módulo de Tolerâncias e Deslocamentos Dimensionais (ISO 2003)	
TOLERÂNCIA DIMENSIONAL	±0,01   ±0,02   ±0,03   ±0,04   ±0,05   ±0,06   ±0,07   ±0,08   ±0,09   ±0,10   ±0,12   ±0,15   ±0,20   ±0,25   ±0,30   ±0,36   ±0,45   ±0,60   ±0,75   ±1,00   ±1,50   ±2,00   ±3,00   ±4,00   ±6,00   ±8,00
TOLERÂNCIA ANGULAR	±0,5   ±1   ±1,5   ±2   ±3   ±4   ±5   ±6   ±8   ±10   ±12   ±15   ±20   ±25   ±30   ±40   ±50   ±60   ±80   ±100
QUALIDADE	IT01   IT02   IT03   IT04   IT05   IT06   IT07   IT08   IT09   IT10   IT11   IT12   IT13   IT14   IT15   IT16   IT17   IT18   IT19   IT20



RAIO	RAIO	PESO (Kg)	FOLHA	1° Direito	RESP. TÉCNICO	PROJETISTA	DATA
< 10	> 10	ATE 50	ATE 120	> 120	ATE 400		
± 0,10	± 0,20	± 0,30	± 0,40	± 0,50	± 0,60		
± 1°	± 1°	± 1°	± 1°	± 1°	± 1°		
DIMENSÕES E TOLERÂNCIAS DE FABRICAÇÃO (NUNCA EM PAREDES)							
TOLERÂNCIA DE DIMENSÃO E TOLERÂNCIA DE FORMAÇÃO (NUNCA EM PAREDES)							

ESP.	RAIO	PESO (Kg)	FOLHA	1° Direito	RESP. TÉCNICO	PROJETISTA	DATA
			A4		GUSTAVO WENTZ	GUSTAVO WENTZ	11/12/2018
DESCRIÇÃO MATERIAL					ESCALA	DESCRIÇÃO	
AÇO SAE 1020					1:2	CANTONEIRA DE SUPORTE DO MOTOR	
MATERIAL		ACABAMENTO		PÁG	CÓDIGO	REV.	
				1/1	CANTONEIRA SUP. MOTOR	A	



# APÊNDICE K

1 2 3 4 5 6

A

B

C

D

A

B

C

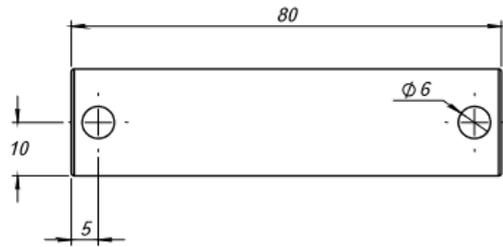
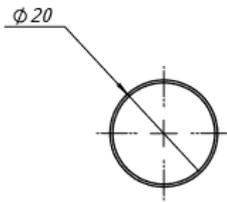
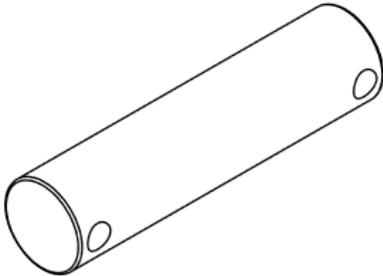
D

Q	U	V	W	X	Y	Z
0	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31	32	33	34
35	36	37	38	39	40	41
42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55
56	57	58	59	60	61	62
63	64	65	66	67	68	69
70	71	72	73	74	75	76
77	78	79	80	81	82	83
84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97
98	99	100	101	102	103	104
105	106	107	108	109	110	111
112	113	114	115	116	117	118
119	120	121	122	123	124	125
126	127	128	129	130	131	132
133	134	135	136	137	138	139
140	141	142	143	144	145	146
147	148	149	150	151	152	153
154	155	156	157	158	159	160
161	162	163	164	165	166	167
168	169	170	171	172	173	174
175	176	177	178	179	180	181
182	183	184	185	186	187	188
189	190	191	192	193	194	195
196	197	198	199	200	201	202
203	204	205	206	207	208	209
210	211	212	213	214	215	216
217	218	219	220	221	222	223
224	225	226	227	228	229	230
231	232	233	234	235	236	237
238	239	240	241	242	243	244
245	246	247	248	249	250	251
252	253	254	255	256	257	258
259	260	261	262	263	264	265
266	267	268	269	270	271	272
273	274	275	276	277	278	279
280	281	282	283	284	285	286
287	288	289	290	291	292	293
294	295	296	297	298	299	300

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----



RAIO	RAIO	PESO (kg)	FOLHA	ESCALA	RESP. TÉCNICO	PROJETISTA	DATA	
< 10	> 10 ATE 50	> 50 ATE 100	> 100 ATE 400	A4	1:1	GUSTAVO WENTZ	GUSTAVO WENTZ	11/12/2018



ESP.	RAIO	PESO (kg)	FOLHA	ESCALA	RESP. TÉCNICO	PROJETISTA	DATA
A4	1:1	GUSTAVO WENTZ	GUSTAVO WENTZ	11/12/2018	EIXO DE SUPORTE DA SUSPENSÃO		
MATERIAL	ACABAMENTO	PÁG	CÓDIGO	REV.	EIXO SUPORTE SUSPENSÃO		
AÇO SAE 1020		1/1		A			



# APÊNDICE M

1                      2                      3                      4                      5                      6

A

B

C

D

A

B

C

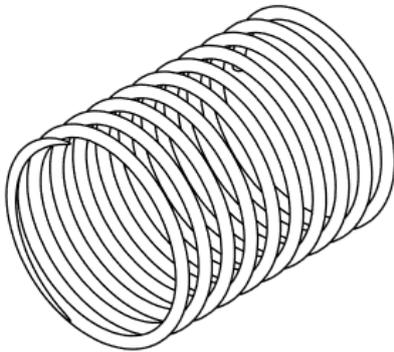
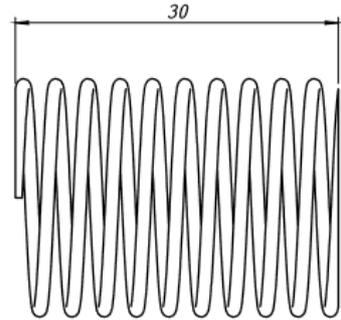
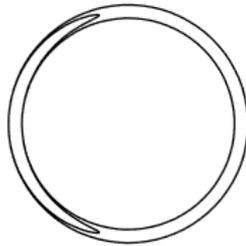
D

1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54
55	56	57	58	59	60

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----



ESP.	RAIO	PESO (Kg)	FOLHA	1° Direção	RESP. TÉCNICO	PROJETISTA	DATA
			A4		GUSTAVO WENTZ	GUSTAVO WENTZ	11/12/2018
DESCRIÇÃO MATERIAL				ESCALA	DESCRIÇÃO		
AÇO SAE 1020				1:1	MOLA DA SUSPENSÃO		
MATERIAL		ACABAMENTO		PÁG	CÓDIGO	REV.	
				1/1	MOLA	A	

