



**HELDEMAR GRAUPE JUNIOR**

**PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA DE  
VEÍCULO ROBÓTICO PARA AGRICULTURA**

HORIZONTALINA - RS

**2018**

**HELDEMAR GRAUPE JUNIOR**

**PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA DE  
VEÍCULO ROBÓTICO PARA AGRICULTURA**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em engenharia mecânica na Faculdade Horizontina, sob a orientação do Prof. Esp., Me. Adalberto Lovato e sob a co-orientação do Prof. Esp., Me. Luis Carlos Wachholz

**HORIZONTINA - RS**

2018

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

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o trabalho final de curso  
"Projeto e desenvolvimento de uma plataforma de veículo robótico  
para agricultura"**

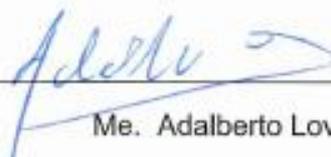
**Elaborado por:**

**Heldemar Graupe Junior**

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

Aprovado em: 20/08/2018

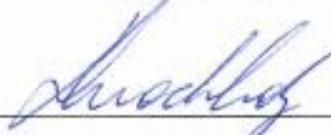
Pela Comissão Examinadora



---

Me. Adalberto Lovato

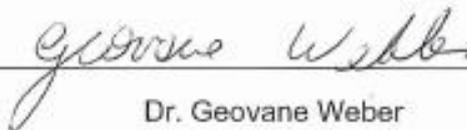
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador



---

Me. Luis Carlos Wachholz

FAHOR – Faculdade Horizontina



---

Dr. Geovane Weber

FAHOR – Faculdade Horizontina

**Horizontina - RS**

**2018**

## Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais, que sempre acreditaram em mim. Prestando seu suporte e se esforçando sempre ao máximo para me proporcionarem o melhor estudo.

## AGRADECIMENTO

Ao meu orientador, Me. Adalberto Lovato, pelas preciosas dicas e orientações sobre o desenvolvimento do trabalho.

Ao meu co-orientador, Me. Luis Carlos Wachholz, pelas horas empenhadas em orientações, dicas e auxílio na fabricação do protótipo.

Ao meu colega de graduação, Eduardo Luis Volken, por auxiliar na soldagem de alguns componentes do protótipo.

A empresa Jardinox tanques isotérmicos, por fornecerem o corte a laser e o material de alguns componentes.

A empresa Baterias Mil Léguas, pelo empréstimo das baterias do protótipo.

Aos meus professores e colegas, que participaram, junto comigo, desta caminhada de 5 anos de graduação.

“Tudo que um sonho precisa para ser realizado é alguém que acredite que ele possa ser realizado”.

(Roberto Shinyashiki)

## RESUMO

A baixa disponibilidade da mão de obra traz dificuldades, principalmente aos pequenos produtores rurais. Por isso a importância de pesquisar e desenvolver equipamentos e dispositivos acessíveis e versáteis para estes produtores, que reduzam a necessidade de mão de obra e, conseqüentemente, facilitem suas tarefas. Partindo disso, o objeto deste trabalho foi desenvolver um veículo robótico, movido por esteira que pode se locomover em diversos terrenos e inclinações, transportando podendo se adaptar por entre as linhas dos diversos cultivares. Para desenvolver o veículo, foi modelado em software 3D, e iniciado o processo de fabricação das peças e montagem dos componentes. Com o veículo pronto, foram aplicados testes avaliativos de desempenho em diferentes situações, como testes de locomoção em terrenos: lamacentos, pedregosos e secos, transportando cargas até alcançar 30 quilogramas. Também foram aplicados testes em terrenos inclinados, com uma variação de inclinação de até 45°. No último teste, somente foi analisado como o veículo se comporta ao transitar por entre os cultivares, se as plantas foram danificadas ou não. Constatou-se um desempenho satisfatório do veículo durante os testes mas, também, se observou alguns pontos de melhoria.

**Palavras-chave:** Engenharia Mecânica. Veículo robótico movido por esteiras. Agricultura.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 : Comparativos entre tipos de rodas.....                               | 19 |
| Figura 2: Independência de angulação das esteiras .....                         | 20 |
| Figura 3: Elementos de um conjunto de esteira .....                             | 21 |
| Figura 4: Previsão de evolução dos robôs na agricultura.....                    | 24 |
| Figura 5: Robô colhedor de cogumelos.....                                       | 25 |
| Figura 6: Resultados de um veículo robótico de 4 rodas em terrenos úmidos ..... | 26 |
| Figura 7: Árvore do modelo .....  | 27 |
| Figura 8: Montagem complexa .....   | 28 |
| Figura 9: Exemplo de espaçamento entre linhas .....                             | 31 |
| Figura 10: Comparação das duas possibilidades.....                              | 32 |
| Figura 11: Exemplo de disposição de talhões .....                               | 34 |
| Figura 12: Ângulo de ataque das esteiras do protótipo .....                     | 35 |
| Figura 13: Pivotamento independente em cada rodado.....                         | 36 |
| Figura 14: Modelo CAD 3D do protótipo .....                                     | 37 |
| Figura 15: Vista explodida de todo o modelo CAD 3D .....                        | 38 |
| Figura 16: Subconjuntos da montagem final .....                                 | 38 |
| Figura 17: Vista explodida do Chassi central .....                              | 39 |
| Figura 18: Escolha da unidade de medidas do dimensionador .....                 | 40 |
| Figura 19: Dados usados para as características do veículo .....                | 41 |
| Figura 20: Inclinação da superfície de trabalho.....                            | 42 |
| Figura 21: Requerimentos do motor.....  | 42 |
| Figura 22: Condições de funcionamento .....                                     | 43 |
| Figura 23: Precisão de parada e fator de segurança .....                        | 43 |
| Figura 24: Dados de especificação necessária para o motor.....                  | 44 |
| Figura 25: Gráfico de torque versus inclinação .....                            | 45 |
| Figura 26: Curva de potência do motor .....                                     | 46 |
| Figura 27: Vista explodida de 1 conjunto de rolete.....                         | 47 |
| Figura 28: Posicionamento dos roletes no chassi .....                           | 47 |
| Figura 29: Subconjuntos do chassi lateral.....                                  | 48 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 30: Ângulos da treliça do chassi.....                                      | 49 |
| Figura 31: Análise estrutural da estrutura do chassi .....                        | 49 |
| Figura 32: Soldagem do chassi central .....                                       | 51 |
| Figura 33: Lixamento após a soldagem do chassi central.....                       | 52 |
| Figura 34: Chassi central soldado e lixado.....                                   | 53 |
| Figura 35: Vulcanização das sapatas da esteira .....                              | 54 |
| Figura 36: Posicionamento da correia dentada .....                                | 55 |
| Figura 37: Fixação da correia dentada na esteira de borracha .....                | 56 |
| Figura 38: Posicionamento do tubo no torno convencional.....                      | 57 |
| Figura 39: Corte do tubo, e acabamento final dos roletes.....                     | 58 |
| Figura 40: Corte laser das peças da parte interna das rodas e do suporte do motor | 58 |
| Figura 41: Usinagem e soldagem do rolamento.....                                  | 59 |
| Figura 42: Usinagem dos eixos dos roletes .....                                   | 60 |
| Figura 43: Montagem dos roletes.....  | 61 |
| Figura 44: Montagem e soldagem do suporte do motor .....                          | 62 |
| Figura 45: Montagem do motor .....  | 63 |
| Figura 46: Montagem e tensionamento da esteira .....                              | 64 |
| Figura 47: Montagem da estrutura central e baterias.....                          | 65 |
| Figura 48: Passagem do veículo entre as plantas.....                              | 66 |
| Figura 49: Pesagem do veículo.....  | 67 |
| Figura 50: Compactação do solo.....   | 68 |
| Figura 51: Medição do ângulo de inclinação .....                                  | 69 |
| Figura 52: Teste em terreno inclinado.....  | 69 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1: Itens utilizados e seus custos..... | 50 |
|---|----|

# SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....                              | 11 |
| 1.1 TEMA .....   | 13 |
| 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....                           | 13 |
| 1.3 PROBLEMA DE PESQUISA .....                         | 13 |
| 1.4 HIPÓTESES.....                                     | 14 |
| 1.5 JUSTIFICATIVA .....                                | 14 |
| 1.6 OBJETIVOS .....                                    | 16 |
| 1.6.1 Objetivo Geral .....                             | 16 |
| 1.6.2 Objetivos Específicos .....                      | 16 |
| <b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....                   | 17 |
| 2.1 TIPOS E CARACTERÍSTICAS DE CULTIVARES E SOLOS..... | 17 |
| 2.2 SISTEMA DE LOCOMOÇÃO .....                         | 18 |
| 2.2.1 Componentes de uma esteira .....                 | 20 |
| 2.2.2 Vulcanização .....                               | 21 |
| 2.3 VEÍCULOS ROBOTIZADOS .....                         | 21 |
| 2.3.1 Vantagens e desvantagens do uso de robôs .....   | 22 |
| 2.3.2 Veículos robotizados e o ser humano .....        | 22 |
| 2.3.3 Segurança na utilização de robôs .....           | 23 |
| 2.3.4 Veículos robotizados na agricultura .....        | 23 |
| 2.4 SOFTWARES DE MODELAGEM PARAMÉTRICOS .....          | 26 |
| 2.4.1 PTC Creo 4.0 .....                               | 27 |
| 2.4.2 Árvore do modelo .....                           | 27 |
| 2.4.3 Montagens e sub montagens .....                  | 28 |
| <b>3 METODOLOGIA</b> .....                             | 29 |
| 3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS.....                 | 29 |
| 3.2 RECURSOS NECESSÁRIOS .....                         | 30 |
| <b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....   | 31 |
| 4.1 DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS.....                       | 31 |
| 4.1.1 Espaçamento entre rodados .....                  | 31 |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.1.2 Carga de trabalho.....                                      | 33        |
| 4.1.3 Tipo do rodado .....  | 33        |
| 4.1.4 Ângulo de ataque .....                                      | 35        |
| 4.1.5 Pivotamento .....   | 35        |
| 4.1.6 Velocidade de trabalho.....                                 | 36        |
| 4.2 MODELO 3D DO PROTÓTIPO .....                                  | 36        |
| 4.2.1 Modelagem em software CAD 3D .....                          | 37        |
| 4.2.2 Estrutura central .....                                     | 39        |
| 4.2.3 Motor .....   | 40        |
| 4.2.4 Roletes .....   | 46        |
| 4.2.5 Estrutura lateral .....                                     | 48        |
| 4.3 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO .....                                 | 50        |
| 4.3.1 Chassi Lateral. ....  | 51        |
| 4.3.2 Fabricação do chassi central.....                           | 52        |
| 4.3.3 Fabricação da esteira .....                                 | 53        |
| 4.3.4 Fabricação dos roletes .....                                | 56        |
| 4.3.5 Suporte do motor.....                                       | 61        |
| 4.3.6 Montagem do motor .....                                     | 63        |
| 4.3.7 Montagem da esteira.....                                    | 63        |
| 4.3.8 Montagem da estrutura central e componentes elétricos ..... | 65        |
| 4.4 TESTES DO PROTÓTIPO .....                                     | 66        |
| 4.4.1 Teste de adaptação entre diferentes culturas .....          | 66        |
| 4.4.2 Teste de desempenho em diferentes terrenos .....            | 66        |
| 4.4.3 Teste de desempenho terrenos inclinados.....                | 68        |
| <b>CONCLUSÃO .....</b>  | <b>71</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>   | <b>73</b> |
| <b>APÊNDICE A - Desenhos detalhados .....</b>                     | <b>76</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A falta de mão de obra no campo e o seu crescente encarecimento traz dificuldades, principalmente aos pequenos produtores rurais, pois normalmente necessitam de mais mão de obra. Esta maior necessidade de mão de obra, se dá pela baixa mecanização dessas pequenas propriedades, principalmente devido ao alto custo desses equipamentos. Por isso a importância de pesquisar e desenvolver equipamentos e dispositivos acessíveis e versáteis para estes produtores, que reduzam a necessidade de mão de obra e conseqüentemente facilitem suas tarefas.

Atualmente o alto custo dos alimentos orgânicos advém, em grande parte, do alto custo de sua produção, pois necessitam de um acompanhamento quase que diário da planta, para definir o momento da adubação, realizar o controle das pragas, observar o desenvolvimento da planta, determinar o momento correto da colheita, etc. Por isso, criar um veículo robótico, que possa se deslocar entre diferentes cultivares, é o primeiro passo para, futuramente equipar esse protótipo com sensores e equipamentos, e assim criar soluções que monitorem e cuidem dessas culturas para o produtor, diminuindo o custo de produção dos alimentos orgânicos.

Um dos grandes problemas da produção de alimentos, é o controle de pragas e doenças. Atualmente este controle, é feito ostensivamente, aplicando agrotóxicos em todas as plantas, inclusive nas plantas saudas. Então excluindo os alimentos orgânicos, todos os outros alimentos recebem uma carga de agrotóxicos enorme, até chegar ao consumidor final, refletindo diretamente na saúde de quem o consome, além de contaminar o meio ambiente.

Poder identificar essas plantas doentes, ou acometidas de pragas, pode ser difícil, mas identificar o problema na fase inicial é mais complicado ainda, pois necessita de uma vistoria e um acompanhamento minucioso do cultivar. Por isso ter um veículo que possa transitar por entre estas culturas, abre a possibilidade de monitorar essas culturas mais adequadamente permitindo uma ação mais rápida, para controlar as pragas.

Conjuntos de esteiras de pequeno porte, são difíceis de encontrar e tem um custo elevado, além de possuir restrições de acoplamento, normalmente padronizadas para aplicações em equipamentos industriais. Por isso, é um desafio importante inovar, desenvolvendo e fabricando um conjunto de esteiras, que seja eficiente, nas dimensões da necessidade e de fácil fabricação.

Soluções robóticas já foram e estão sendo estudadas pelo mundo todo. Alguns exemplos são os robôs para monitoramento e colheita de cogumelos. O *Mushroom Picking Robot* em desenvolvimento pela universidade de *Warwick* no Reino Unido (YAGHOUBI, 2013), que utiliza um braço robótico equipado com câmeras e uma ventosa em sua extremidade, permitindo realizar a colheita do cogumelo no período correto.

Também há o “*Slugbot*”, robô movido por rodas, com um braço mecânico que recolhe lesmas e caracóis que atacam as culturas, e usam elas para gerar energia para o robô, que está sendo desenvolvido pelo Dr. Ian Kelly na Universidade do Leste Europeu, UWE Bristol (YAGHOUBI, 2013).

Veículos robóticos pequenos estão sendo desenvolvidos para monitorar culturas de milho e soja, como é o caso do *Ag-Ants* desenvolvido por Tony Grift da Universidade de Illinois Estados Unidos (YAGHOUBI,2013). O qual um robô movido por rodas, que transita entre as plantas cultivadas através de sensores, identificando pragas e problemas com as plantas, quando necessário emite um sinal com a localização, para que outros robôs ataquem essas pragas, com pesticidas.

São exemplos disso, alguns trabalhos de conclusão de curso, como o trabalho feito por Fiedler (2017), o qual desenvolveu uma base robótica movida por rodas para aplicação agrícola.

Através da visualização dos resultados de outros trabalhos, observou-se que poucos deles adotaram a utilização de esteiras de borracha, a maioria restringiu-se a utilizar rodas em seus projetos. E nenhum deles desenvolveu algo que permitisse aumentar ou diminuir a distância entre os rodados, para possibilitar que o veículo se adapta-se a diferentes cultivares sem danificá-los. A grande maioria dos trabalhos, traz robôs movidos por rodas, em dimensões reduzidas, para que possam deslocar-se entre duas linhas de plantio.

O capítulo 1 deste trabalho, contém toda a introdução, traz o tema e o delimita, mostra o problema da pesquisa e oferece as hipóteses para solucionar o problema, a partir daí se define os objetivos. Já no Capítulo 2 é onde se realiza a revisão de literatura, para embasar o trabalho com conhecimentos e pesquisas de outros autores. No capítulo 3 se define como é feito o desenvolvimento do trabalho, através da definição da metodologia a se utilizar. Já no capítulo 4 se transcreve e analisa-se os resultados do trabalho, toda a parte de definição do modelo 3D, fabricação e testes do protótipo.

## 1.1 TEMA

Projeto do protótipo de um veículo robótico movido por motores elétricos, que utiliza esteiras para se locomover entre as plantas cultivadas.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Este trabalho delimita-se na pesquisa de informações sobre distâncias de plantio dos cultivares mais comuns. Na fabricação de um protótipo de um veículo robótico, movido por esteiras, que possa se deslocar transportando cargas, entre estes cultivares e pelos diversos solos com diferentes inclinações, que estes por ventura estejam plantados.

## 1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

A escassez e o alto custo da mão de obra na agricultura são alguns dos grandes fatores que limitam a produção, principalmente para a agricultura familiar, que possui menos recursos financeiros e a mecanização é algo caro e não tão frequente nessas propriedades.

Também a quantidade de área disponível para o plantio é reduzida, e fica mais restrita ainda, quando se pensar na grande diversidade de culturas cultivadas nessas propriedades. O grande desafio de pequenas propriedades é reduzir as despesas, aumentar a produtividade e a margem de lucro.

A chave para ter um bom rendimento com baixas quantidades e grande variedade, é investir na qualidade dos produtos. Como produtos orgânicos que possuem um valor de venda mais elevado, mas em contrapartida é muito mais trabalhoso de cultivar. Pois a não utilização de produtos químicos, exige um monitoramento maior da cultura, seja no combate de pragas, ou no acompanhamento do desenvolvimento das plantas. Isso traz maiores despesas com mão de obra.

Tendo em vista, como limitantes de produção, os seguintes fatores: Disponibilidade de mão de obra, equipamentos mecanizados, recursos financeiros e a área disponível. Seria possível utilizar um veículo robótico com esteiras movido por motores elétricos, para circular entre estes cultivares em uma pequena área de terra?

## 1.4 HIPÓTESES

Um veículo robótico que possa:

- Se locomover em vários terrenos;
- Se locomover entre diferentes cultivares;
- Transportar cargas;
- Ter as dimensões adequadas para a agricultura familiar.

## 1.5 JUSTIFICATIVA

A agricultura desempenha um papel de grande importância e que é fundamental à vida, pois dela provém o alimento para o ser humano. Com o crescente aumento populacional e o crescimento ainda previsto, é imprescindível que se tenha o melhor aproveitamento possível do alimento disponível, e a capacidade de produzi-los com mais eficiência e sustentabilidade.

Sabe-se que, atualmente, grande parte do alimento que se consome, como os alimentos orgânicos, provém quase que exclusivamente da agricultura familiar, pois requerer o acompanhamento e um cuidado maior da cultura, com relação a fertilização e o controle de pragas.

A agricultura familiar é pouco mecanizada e com baixo uso de tecnologia, se comparada com os grandes latifúndios. Isso requer o grande uso de mão de obra, que nos últimos anos teve um aumento contundente no seu custo. Além disso, houve uma grande baixa na disponibilidade dessa mão de obra, principalmente por conta do êxodo rural, migração da população da zona rural para a urbana, nas últimas décadas. Influenciada pelo baixo interesse dos jovens, que saem do campo para as cidades em busca de um emprego com um salário melhor, ou em busca de qualificação profissional. E desses que se qualificam, poucos retornam para a agricultura familiar, principalmente pela falta de recursos, atratividade, tecnologias e soluções voltadas para estas pequenas propriedades.

Doravante se torna indispensável disponibilizar tecnologias e soluções para as pequenas propriedades, que sejam compatíveis com a dimensão da unidade rural. Pois de acordo com o censo agrícola de 2017 (IBGE, 2017), 60% dos agricultores têm entre 30 e 60 anos de idade, 34% possuem mais de 60 anos, enquanto somente 5% da população rural possui menos de 30 anos. Além do nível de escolaridade, onde de acordo com o (IBGE, 2017) somente 5,5% dessa

população possui um ensino superior, sendo que 15,44% nunca frequentou uma escola.

Tornando atrativo o retorno dos jovens à agricultura familiar, para aplicarem o que aprenderam nas universidades, com o auxílio destas tecnologias, propiciando renda e sustento para a sua família.

Alimentos orgânicos, em seu cultivo, não utilizam nenhum tipo de produto químico, como agrotóxicos e fertilizantes químicos. São utilizados, somente, defensivos e fertilizantes naturais, tornando estes alimentos muito mais saudáveis. Como são produzidos em consórcio e com respeito a natureza, fazem um bem enorme ao meio ambiente. A produção desses alimentos orgânicos se concentra normalmente em pequenas unidades rurais, em sua grande maioria de agricultura familiar. Pois demandam um cuidado muito maior, com pragas e infestações de insetos. A tecnologia precisa atender essas pequenas propriedades, auxiliando no monitoramento e cuidado desses cultivares.

Normalmente as culturas agrícolas, são bem diversificadas nas pequenas propriedades rurais. Isso se deve à rotação de culturas, também, para atender as demandas do mercado e para o seu próprio consumo. Justamente o contrário de grandes propriedades, onde a plantação é pouco diversificada, normalmente uma ou duas culturas e com enorme extensão e padronização. Este é justamente o ponto em que as pequenas propriedades não são bem atendidas pelas tecnologias disponíveis atualmente, pois os equipamentos são pensados para uma ou duas culturas, o que obrigaria os pequenos produtores a comprarem um equipamento para cada uma de suas culturas.

Essa dificuldade é encontrada principalmente no espaçamento de plantio e a morfologia das plantas, uma particularidade de cada cultura e tipo ou variedade de planta. Por isso é indispensável um veículo robótico, que varie a distância entre as suas esteiras, podendo monitorar e desempenhar outras atividades se locomovendo entre essas culturas sem destruí-las ou danificá-las.

O fato de esteiras de pequeno porte não estarem disponíveis no mercado, até pela baixa demanda, necessita que se desenvolva uma estrutura e todo o conjunto de esteiras. Isso atenderá a demanda de um veículo robótico de pequeno porte, à um custo acessível.

Através de uma integração entre a cadeia de produção orgânica e a tecnologia, pode-se melhorar o poder econômico e social destes pequenos

agricultores familiares, além de colaborar com o meio ambiente e com os consumidores desses alimentos.

## 1.6 OBJETIVOS

### 1.6.1 Objetivo Geral

Construir o protótipo de um veículo robótico, que possa ajudar a suprir a necessidade de mão de obra no campo. Que possa realizar várias atividades no campo se locomovendo com agilidade e facilidade em diversos terrenos e por diversas culturas.

### 1.6.2 Objetivos Específicos

- a) Definir os requisitos que o veículo robótico deve atender;
- b) Identificar o melhor tipo de esteira;
- c) Definir quais as dimensões do protótipo do robô e do conjunto de esteiras;
- d) Desenhar o modelo 3D do protótipo do robô em software CAD;
- e) Fabricar o protótipo do robô;
- f) Realizar testes de validação do projeto.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão de literatura é o ponto chave para o embasamento técnico/científico de um trabalho, é através de que pode se definir o ponto de partida, bem como para justificar a sua importância. É neste ponto que é pesquisado grande parte do que já existe para o assunto que será abordado pelo trabalho, para não correr o risco de dedicar o tempo em algo que já foi feito e corroborado anteriormente por outro autor.

### 2.1 TIPOS E CARACTERÍSTICAS DE CULTIVARES E SOLOS

Uma vez que o protótipo irá circular entre diversas culturas agrícolas e diversos tipos de solo e terrenos precisando adaptar-se a cada um, para não danificar as plantas e para aumentar sua agilidade. É necessário para a construção do protótipo do robô, saber todas as características das culturas agrícolas mais cultivadas. Obter essas informações torna-se um requisito crucial, para a escolha das funcionalidades e das características indispensáveis para a concepção do protótipo.

Para a concepção deste projeto, o espaçamento entre linhas pode ser considerado uma das informações mais relevantes. Sabendo o espaçamento padrão entre linhas das principais culturas, poderão ser definidas as dimensões do protótipo, além de poder ser definida qual a amplitude de dimensão lateral, que o mesmo precisará variar para poder adentrar entre determinada cultura.

Sabe-se que o espaçamento entre as culturas de inverno, como trigo, aveia branca arroz e outros grãos finos varia normalmente de 130 mm à 250 mm.

No cultivo do arroz por exemplo, é recomendado o espaçamento entre linhas de 13 à 20 mm para plantio convencional irrigado (SOUSA apud EMBRAPA, 1995).

Porém há estudos que utilizam outros espaçamentos no arroz para melhorar a produtividade, depende da variedade do cultivar e da técnica empregada, por exemplo para algumas variedades é possível ter um espaçamento de até 250 mm com uma produtividade melhorada (SOUSA, 1995).

Para o trigo sabe-se que o espaçamento ideal varia de 170 mm à 200 mm, mas há estudos que comprovam que há uma melhor produtividade com espaçamento de 200 mm (HENRIQUES, 2004).

Para outras culturas, normalmente de verão, como milho, soja, feijão e algodão, normalmente variam de 300 mm à 1000 mm.

No plantio da soja considera-se uma variação de espaçamento de 300 mm à 500 mm, podendo variar de acordo com a variedade, mas estudos comprovam que a maior produtividade se dá quando o espaçamento utilizado no plantio é de 400 mm (HOLTZ, 2014).

Para cultivar o milho é recomendável utilizar um espaçamento entre linhas entre 450 mm e 900 mm, onde é possível constar-se uma maior produtividade em espaçamentos de 900 mm (TORRES, 2013).

Sobre todas estas informações dos espaçamentos entre linhas, deve-se tomar cuidado para não as generalizá-las, uma vez que não é só o tipo de cultura que influencia no espaçamento, mas sim as variedades, que podem diferir a morfologia entre plantas de uma mesma cultura, alterando o seu espaçamento ideal entre linhas para alcançar a melhor produtividade.

Também é importante destacar que o tipo de solo, o clima de cada região, alteram a produtividade, e conseqüentemente a melhor configuração de espaçamento entre linhas de cada cultura.

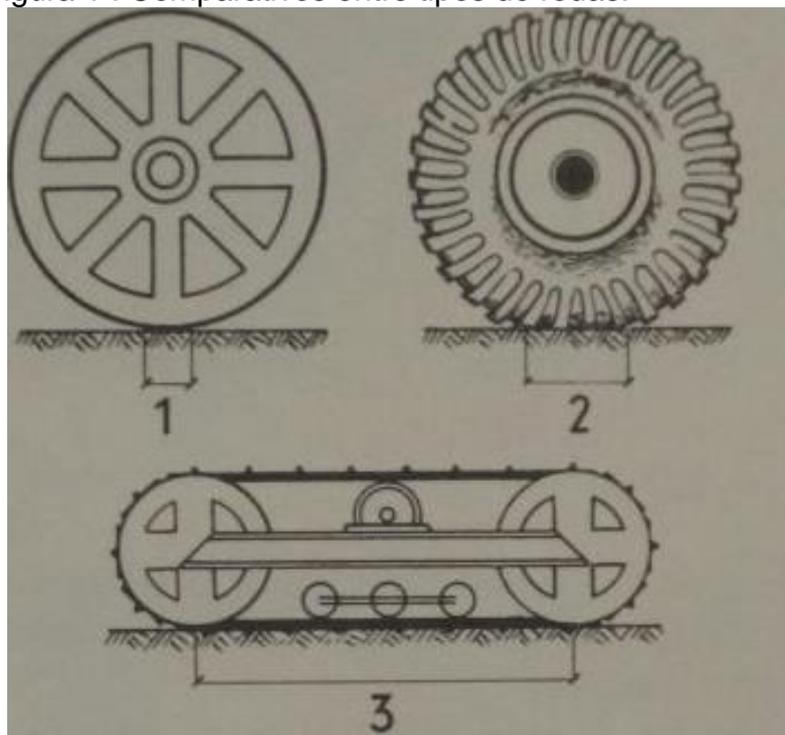
Como, para a concepção do protótipo, o que mais interessa é a amplitude de espaçamento entre esteiras, que o mesmo precisará variar para circular entre as culturas, a informação mais importante é o espaçamento máximo e mínimo entre linhas.

## 2.2 SISTEMA DE LOCOMOÇÃO

O sistema de locomoção do protótipo será constituído de esteiras, com o intuito de diminuir a compactação do solo, melhorar a tração e conseqüentemente a estabilidade sobre solos acidentados, que serão os mais enfrentados pelo protótipo.

A esteira (3) possui uma área de contato com o solo muito maior que uma roda rígida (1) ou que um pneu (2), como pode ser visto na figura 1, isso dá ao equipamento que estiver utilizando uma esteira, uma tração mais eficiente, pois se adere ao solo e permite ao equipamento realizar um maior esforço sobre o solo. E também se adapta melhor em solos macios e lamacentos, se comparados a pneus e rodas rígidas (CISNEROS, 1974).

Figura 1 : Comparativos entre tipos de rodas.



**Fonte:** Cisneros, 1974.

Essa situação de maior contato com o solo, é determinante para evitar a compactação do mesmo, algo que é fundamental para a agricultura. Como a compactação do solo se dá por uma pressão ( $P$ ) que é a razão da força ( $\vec{F}$ ) que é aplicada sobre o solo, pela área ( $A$ ) em que é aplicada a força ( $\vec{F}$ ) (Equação 1).

$$P = \frac{\vec{F}(N)}{A(m^2)} (Pa) \quad (1)$$

Então, comparando duas forças peso sobre o solo idênticas, que neste caso é o peso do veículo, a pressão de compactação será inversamente proporcional ao aumento da área de aplicação dessa força. Assim a menor pressão se encontrará na maior área de contato, que é a área encontrada na esteira.

Para a vantagem de adesão sobre o solo ser efetiva, é preciso que o conjunto de esteiras não seja rígido entre si, ou seja, é necessário que uma realize o pivotamento em relação a outra. Isso se deve ao fato de que se um lado precisar realizar um movimento diferente do outro seja possível, por exemplo, para superar uma elevação no terreno que só atingiu um lado da esteira, conforme a figura 2. Isso melhora a adesão ao solo, sempre permitindo a maior área de contato possível (CISNEROS, 1974).

Figura 2: Independência de angulação das esteiras



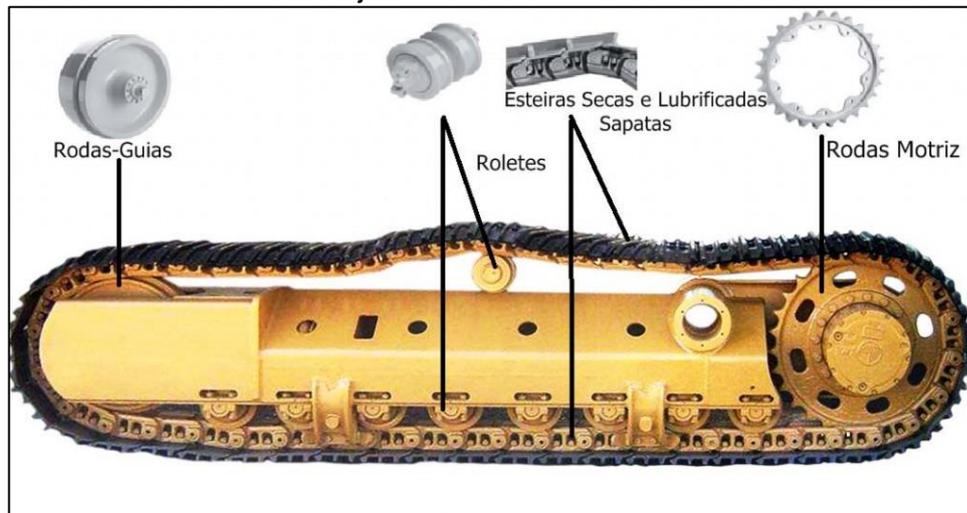
**Fonte:** Cisneros, 1974.

### 2.2.1 Componentes de uma esteira

Um conjunto de esteiras é composto, por alguns componentes essenciais, ao qual todo conjunto de esteiras, de uma ou outra forma precisam possuir. São eles:

- Roda motriz, ou engrenagem motriz, é responsável por transmitir o movimento do eixo do motor para a corrente da esteira. Rodas guia, são as responsáveis por guiar o conjunto da sapata da esteira e corrente, para mantê-los alinhados, evitando o seu descarrilamento (GRUPOMPG, 2015).
- Roletes que são os responsáveis, por transmitir a carga, ou peso, de toda a máquina, para a sapata da esteira, que por sua vez a transmite para o solo, além de ser responsável, por permitir o movimento de todo o conjunto e da própria máquina, conforme esquematizado na figura 3.

Figura 3: Elementos de um conjunto de esteira



**Fonte:** GrupoMPG, 2015.

- A sapata é a parte da esteira que entra em contato com o solo. E pode ser composta, normalmente, de aço ou de borracha.

### 2.2.2 Vulcanização

Quando a esteira é composta de borracha, necessita de um processo chamado de vulcanização, que resumidamente, se trata da fusão da borracha em um determinado molde, para adquirir o formato desejado para a esteira.

A vulcanização utiliza calor e pressão para realizar a ligação química entre os componentes de um composto de borracha. Este processo pode ser feito de duas maneiras, tanto pelo uso de autoclave, onde o calor é aplicado na forma por convecção, quanto pelo uso de prensa, onde o calor é aplicado por condução. (OLIVEIRA, 2016)

### 2.3 VEÍCULOS ROBOTIZADOS

Já existem muitos veículos robotizados sendo utilizados em prol da sociedade, pesquisas e exploração, e partem desde os veículos utilizados em exploração de outros planetas, passam por veículos utilizados para transportes nas ruas e até na produção de alimentos no campo, por isso dá importância de pensar, pesquisar e desenvolver soluções nesse ramo.

### 2.3.1 Vantagens e desvantagens do uso de robôs

Os robôs, em geral, têm grande vantagem para utilização em atividades repetitivas, insalubres aos seres humanos, que necessitem demasiada precisão, ou que sejam de alto risco. Apesar do custo inicial elevado de um robô, ele representa grande vantagem econômica a longo prazo, principalmente pela padronização e redução do tempo de realização de tarefas.

Robôs são ferramentas eficazes para a utilização na indústria, pois podem ser aplicados em atividades repetitivas e de extrema precisão (GONZALEZ, 2015).

Os robôs são muito utilizados, principalmente em grandes montadoras de automóveis, onde a qualidade alcançada pela utilização de um robô é extremamente necessária para garantia de qualidade.

O campo mais vasto de aplicação de robôs na indústria hoje, talvez seja robos de solda, principalmente pela necessidade de garantia de qualidade e repetitividade.

Porém uma desvantagem dos robôs, é que ainda não possuem inteligência própria, precisam ser previamente programados por um ser humano para executar determinadas atividades, ou considerar determinadas variáveis.

### 2.3.2 Veículos robotizados e o ser humano

A utilização de robôs ou veículos robotizados entre as pessoas, é em grande parte muito benéfica, pelo fato de que o robô está ali para executar uma tarefa que, para o ser humano, não está agregando muito conhecimento, normalmente insalubres. Isso permite dizer que o robô facilita a vida do ser humano.

Por outro lado, o robô está sim ocupando postos de trabalho, que antes eram de pessoas. E isso gera um desconforto, pelo fato de que essas tarefas padronizadas, em um futuro bem próximo, talvez sejam todas ocupadas por robôs, principalmente pela qualidade do trabalho e maior quantidade produzida sem encargos trabalhistas, retornando o investimento rapidamente.

Isso força os trabalhadores a se qualificarem para permanecerem no mercado de trabalho, ocupando outros postos de trabalho, que exijam raciocínio e não trabalho repetitivo e braçal. Como por exemplo, a programação desses robôs, ou o concerto dos mesmos.

“A tecnologia pode desempregar, mas também, em outro projeto social, pode facilitar o trabalho e aumentar a produção. Assim, há necessidade de um controle hegemônico das tecnologias, para que se possa ter uma sociedade onde a terra, o trabalho, a técnica e os seus frutos possam ser socializados.” (HACKENHAAR, 2015)

### 2.3.3 Segurança na utilização de robôs

Os robôs em geral são projetados e programados, para não oferecerem risco a seres humanos, propiciando segurança na utilização de robôs para tarefas em ambientes com pessoas. Essa segurança vai desde sensores de identificação de presença e movimento até simples dispositivos de interrupção de funcionamento, que visam sempre proteger a integridade das pessoas.

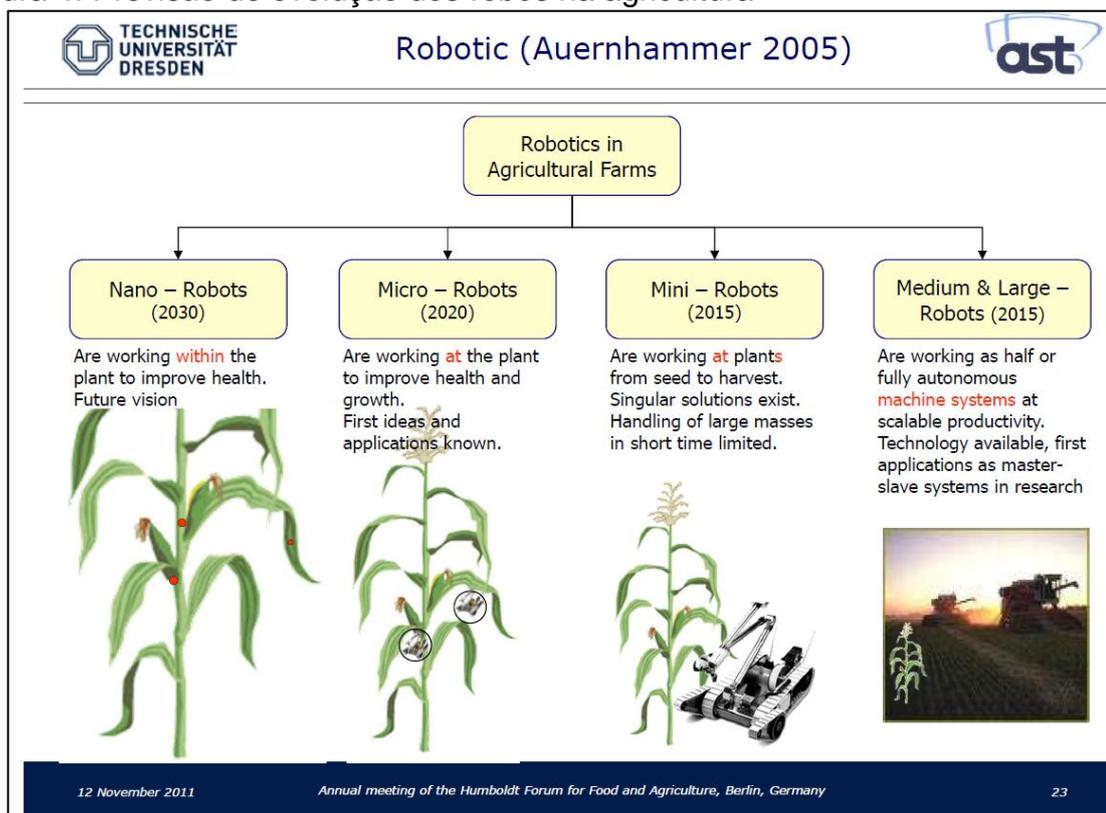
Como os sensores de raios laser KUKA LaserSpy<sup>®</sup>, que impedem que raios laser, como os usados em um robô de solda a laser, venham a atingir pessoas ou qualquer coisa que estiver ao seu redor, através de uma barreira de proteção criada por esses sensores (KUKA, 2018).

Um outro exemplo de segurança aplicada a veículos robotizados, são os carros da Tesla, como o Model 3, que já iniciou a sua produção e comercialização, e que possuem itens de segurança, como travagem de emergência automática e prevenção de acidentes. Onde através de diversos sensores identifica a presença de objetos, outros veículos e pessoas, diminuindo muito o risco de acidentes. Além de ser movido por motores elétricos e alimentados por baterias (TESLA, 2018).

### 2.3.4 Veículos robotizados na agricultura

Os robôs, ou veículos robóticos estão em evolução constante na agricultura. Já se previa em 2005 que em 2015 robos de médio e grande porte estariam funcionando semiautônomos ou totalmente autônomos. E mini robôs estariam desde o plantio até a colheita da cultura. Também era previsto que micro robôs estariam trabalhando para aumentar a saúde e o crescimento das plantas. E em 2030 nano robôs estariam dentro das plantas, para melhorar a saúde delas, como pode ser visto na figura 4 (HERLITZIUS, 2013).

Figura 4: Previsão de evolução dos robôs na agricultura



Fonte: Herlitzius, 2013.

Outra grande aplicação dos robôs na agricultura é o seu uso para atividades mais inóspitas ao ser humano, como atividades repetitivas ou insalubres. Um exemplo é na colheita e manipulação de cogumelos, onde já estão sendo estudadas e testadas soluções com braços robóticos sobre mesas móveis, que possui uma câmera e uma ventosa em sua extremidade para identificar, e colher os cogumelos que atingiram o tamanho adequado (Figura 5).

Figura 5: Robô colhedor de cogumelos



Fonte: Yaghoubi, 2013.

Tudo isso mostra o atraso do Brasil em relação a evolução dos robôs na agricultura, uma vez que a única aplicação mais difundida no Brasil é a de médias e grandes máquinas semi-automatizadas. Isso também amplia muito as oportunidades e mostra a grande capacidade de crescimento desse nicho de aplicação dos robôs, mas ainda há muito a ser trabalhado, para disponibilizar e ampliar a utilização de robôs na agricultura.

Já existem várias iniciativas de desenvolvimento de plataformas robóticas, inclusive na região noroeste do Rio Grande do Sul, como o robô desenvolvido por Fiedler (2017). Após testar sua plataforma robótica movida por rodas, encontrou alguns resultados que foram importantes para futuras pesquisas, como o mau desempenho em terrenos úmidos ou lamacentos, devido ao tipo de rodado utilizado, motivando a pesquisa por novas soluções para resolver esse problema (Figura 6).

Figura 6: Resultados de um veículo robótico de 4 rodas em terrenos úmidos



Fonte: Fiedler, 2017

## 2.4 SOFTWARES DE MODELAGEM PARAMÉTRICOS

Um software de modelagem 3D, é considerado paramétrico, quando é necessário definir todas as dimensões das configurações do modelo, no momento da modelagem. E todos estes parâmetros, como: chanfros, extrusões, etc. ficam disponíveis na árvore do projeto e lá podem ser modificados a qualquer momento. (GUIA CAD, 2018)

A modelagem paramétrica, muito utilizada na engenharia, é mais complexa e demorada no início, se comparada a modelagem livre. Mas é também muito mais rápida e prática quando necessário alguma alteração de parâmetros, o que a modelagem livre não permite.

### 2.4.1 PTC Creo 4.0

O Creo é uma solução de CAD 3D que ajuda na criação de produtos melhores com mais rapidez, acelerando a inovação de produtos, reutilizando o melhor dos seus projetos e substituindo as suposições por fatos. Partindo das primeiras fases de design do produto até um produto inteligente e conectado com o Creo. Pode ser adicionado realidade aumentada para compartilhar uma visualização que todos entendam. No mundo em rápida mudança da Industrial como a Internet das coisas (*Internet of Things – IoT*) (PTC, a, S.D.).

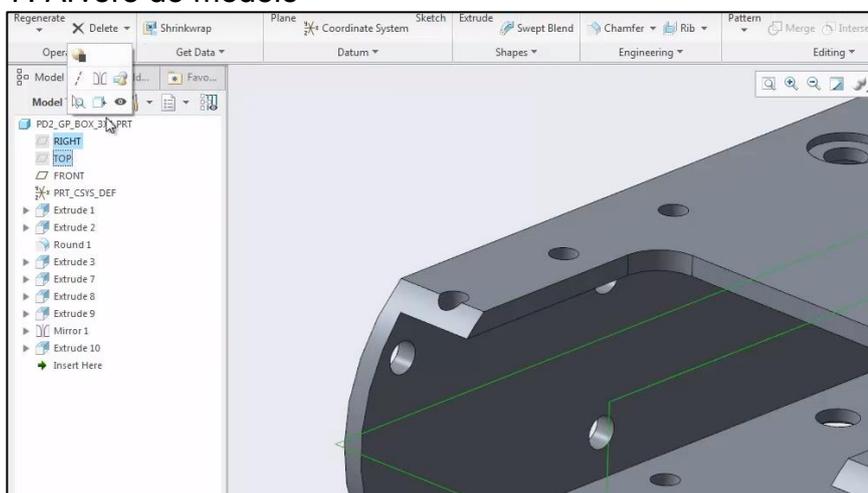
Outra vantagem da utilização do Creo, se dá pelo fato do software utilizar a memória RAM para armazenar temporariamente os modelos abertos durante a seção de trabalho. Isso possibilita que após uma vez carregado o modelo na seção, ele pode ser fechado e reaberto mais rapidamente, independentemente de sua complexidade e tamanho.

### 2.4.2 Árvore do modelo

A árvore do modelo é a lista de comandos aplicados ao modelo ou montagem, sempre dispostos em ordem cronológica de aplicação do recurso. Na árvore do modelo, também é possível ocultar ou reexibir um componente ou recurso do modelo (PTC, b, S.D.).

Na figura 7 pode ser visualizado um exemplo de como funciona a disposição da árvore do modelo, e como pode ser ocultado, ou reexibido um componente ou recurso.

Figura 7: Árvore do modelo



Fonte: PTC, b, S.D.



## 3 METODOLOGIA

### 3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

No desenvolvimento deste projeto foi necessário, no primeiro momento, a realização de um levantamento dos principais solos presentes na região noroeste do estado do rio grande do sul. Além de uma análise morfológica dos principais cultivares, para se obter a variação dos espaçamentos entre as linhas de plantio, mais adotados e o perfil dessas plantas. Estes dados foram obtidos, através de pesquisa bibliográfica.

Ainda nesta fase inicial, logo após este levantamento de dados topográficos do solo e morfológicos dos cultivares, foi usada a vivência do autor do trabalho na agricultura, e com uma abordagem dialética, através de questionamentos com produtores agrícolas e técnicos da EMATER/ASCAR, onde foi possível elencar as principais demandas dos agricultores e identificar as demandas que o robô poderá atender

Com todas as informações adquiridas até este ponto, foi realizada uma lista com todas as demandas, requisitos e restrições, ou seja, todas as condições que o robô precisa atender. E com isso foi definido a morfologia e aparência funcional do robô através de rascunhos, esboços e conversas com os orientadores e demais envolvidos.

Após a definição da aparência do veículo robótico, foi iniciado o projeto do protótipo em software CAD 3D, e em paralelo à esta atividade, foram adquiridos os componentes elétricos (motores e baterias) e a matéria prima para os itens que precisam ser manufaturados, como chassis e esteira.

Com a conclusão do projeto 3D, foram realizados alguns cálculos estruturais e simulações de elementos finitos. Para definir a carga que a estrutura irá suportar. Após essa avaliação o projeto 3D e os desenhos detalhados foram ajustados para atender aos esforços que o protótipo irá sofrer.

Com o final dessa etapa se deu início a fabricação dos componentes e peças do, para então realizar a montagem do protótipo. Após o término da fabricação, o veículo robótico, foi então encaminhado para testes funcionais.

Através dos dados recolhidos no teste de campo, foi elaborada uma tabela com os dados dos testes de carga e tração, com uma abordagem quantitativa. Para mensurar se o protótipo atendeu ou não o que foi estabelecido no início da pesquisa.

Para este trabalho o método dedutivo será utilizado, pois será, ao final do trabalho, descoberto se a solução proposta atenderá ou não o problema (GIL, 2007).

Além de se fazer uso de uma abordagem quali-quantitativa, pois os resultados se traduzirão em números e através da subjetividade, isso se dará na avaliação do cumprimento ou não dos requisitos, esperados e da forma esperada, do veículo robótico, objeto deste estudo (LAKATOS, 2001)

Será ainda usada a técnica de pesquisa exploratória, para solucionar o problema proposto (LAKATOS, 2001).

### 3.2 RECURSOS NECESSÁRIOS

Para a realização deste trabalho foi necessário utilizar vários recursos, que partirão desde recursos humanos, para obtenção de informações até recursos mecânicos, como máquinas e ferramentas. Na lista abaixo, podem ser identificados os materiais que foram utilizados:

- a) Componentes;
- b) Materiais de consumo;
- c) Ferramentas;
- d) Máquinas;
- e) Softwares;
- f) Bibliografia digital ou impresso.

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS

Primeiramente, antes da construção do protótipo, alguns parâmetros e requisitos, foram elencados para que o design do protótipo pudesse atender esses requisitos.

#### 4.1.1 Espaçamento entre rodados

O primeiro requisito a ser levado em conta, antes da definição do design do protótipo, foi definir a forma que o mesmo iria circular entre as plantas, sem danificá-las. Para isso foi levado em conta o menor e o maior espaçamento entre linhas das principais culturas (Figura 9). Espaçamento este encontrado, que variou de 170mm à 1 metro, dependendo da cultura.

Figura 9: Exemplo de espaçamento entre linhas



Fonte: O autor, 2018

Após a definição da amplitude de variação entre linhas constatou-se que, para o protótipo ser uma plataforma que também possa transportar cargas e conter dispositivos. Não poderia ter somente 190 mm de largura, então foi decidido que cada um de seus rodados terá aproximadamente 190 mm de largura, e que sua estrutura iria transpor as linhas de plantio, pelo topo da cultura, posicionando cada um de seus rodados em uma linha de plantio diferente, mantendo a capacidade do robô e não danificando as plantas (Figura 10).

Figura 10: Comparação das duas possibilidades



Fonte: O Autor, 2018

Mesmo assim, também foi necessário considerar, que nem sempre o veículo poderá manter a mesma largura, pois em uma cultura diferente, mesmo transpondo

linhas, seria necessário adaptar a largura entre seus rodados para não danificar as plantas. Então, a partir disso, foi considerada a possibilidade de variar a distância entre os eixos, possibilitando ao mesmo protótipo transitar entre diferentes tipos de cultivares.

#### 4.1.2 Carga de trabalho

Estipulou-se, em um primeiro momento, que o veículo precisaria suportar uma carga em sua estrutura, de aproximadamente 30~40 kg. Com isso o robô poderia carregar este peso, por entre as culturas, auxiliando o agricultor a regar plantas, ou esparramar adubo. Seria somente uma carga para um primeiro teste do protótipo.

Além disso, considerou-se a possibilidade de trabalho do robô 24 horas por dia. Algo possível, desde que se utilize baterias mais potentes, associada a painéis solares, para recarga das baterias durante o dia, ou associadas à uma troca automática de baterias em um local determinado da plantação.

#### 4.1.3 Tipo do rodado

A partir da visualização dos resultados obtidos em outro trabalho final de curso, apresentado em 2017 na FAHOR, mais especificamente por Fiedler (2017) já mencionado no tópico 2.3.4 deste trabalho, foi possível constatar alguns problemas, justamente com relação ao patinamento dos rodados em terrenos úmidos, por falta de aderência ao solo. A partir dessa informação, considerou-se testar o uso de esteiras, ao invés de rodas, para aumentar a área de contato e a aderência com o solo.

A esteira também, diminui a compactação do solo, em relação a um pneu, pois como sua área de contato com o solo é maior, a força peso de sua carga é distribuída por uma área maior do solo. Evitando assim, o problema de falta de nitrogênio para as plantas, por compactação do solo e também evitando o atolamento, ou patinamento em solos arenosos, ou lamacentos. Em uma visão geral, aumentando o desempenho do robô.

A esteira consegue superar obstáculos de forma mais eficiente que rodas, pois transmite as imperfeições do solo, ou dos obstáculos, ao chassi, de uma forma mais suave. Por exemplo, se a esteira cruzar sobre um trecho com alguns buracos

que forem menores do que a sua área de contato com o solo, a reação desse impacto na estrutura do chassi será muito menor do que se fosse um pneu.

Isso ocorre porque o pneu tem uma área de contato com o solo muito menor, do que a de uma esteira, e um mesmo buraco, que para a esteira não representaria 30% de sua área de contato com o solo, para o pneu poderia representar quase 100%, fazendo com que caia por completo dentro do buraco, e transmita um impacto muito maior a estrutura do chassi, além de ocasionar um desnivelamento horizontal do veículo.

Também foram considerados, alguns pontos negativos pela utilização da esteira, como por exemplo: a danificação das plantas por achatamento, no momento de realizar a curva, se essa for feita em meio as plantas. Mas Como a maioria dos plantios, são feitos em talhões (grandes canteiros separados), o problema pode ser contornado, se o veículo sair do talhão de plantio realizar a curva de retorno fora dele, e só então retornar ao talhão (Figura 11).

Figura 11: Exemplo de disposição de talhões



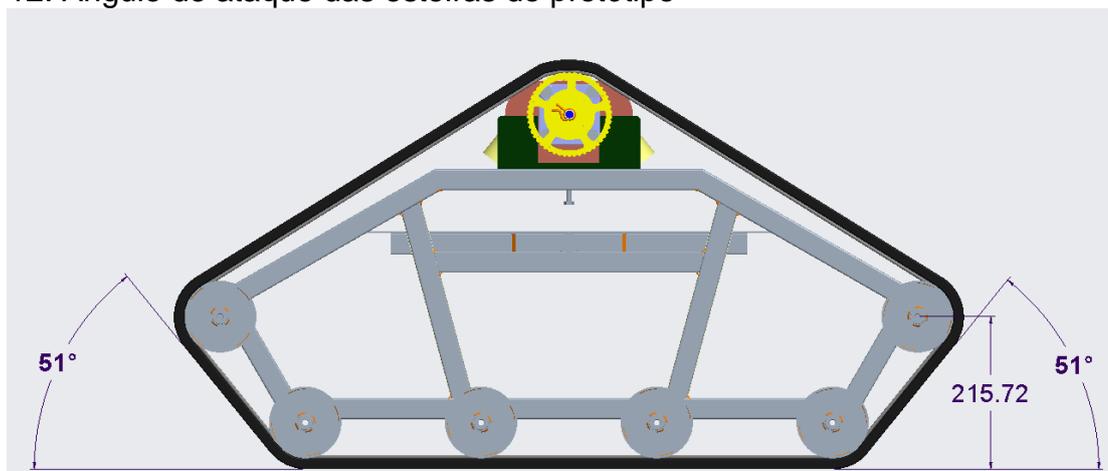
**Fonte:** GEODATA, 2018

O conjunto de sapatas da esteira, pode ser composto, tanto de sapatas feitas de aço, quanto também pode ser composto de borracha. Para a aplicação deste veículo, foi escolhido construir toda a banda da esteira utilizando borracha, por ser mais flexível e mais leve, trará maior eficiência ao protótipo.

#### 4.1.4 Ângulo de ataque

Durante a fase inicial também foi considerado, que o protótipo precisaria transpor obstáculos enquanto circula dentre as plantações, como por exemplo, pedras, buracos, desníveis de solo, dentre outros. Assim sendo, foi definido um ângulo de ataque para as esteiras de  $51^\circ$ , facilitando a transposição de possíveis obstáculos pelo veículo, conforme figura 12.

Figura 12: Ângulo de ataque das esteiras do protótipo



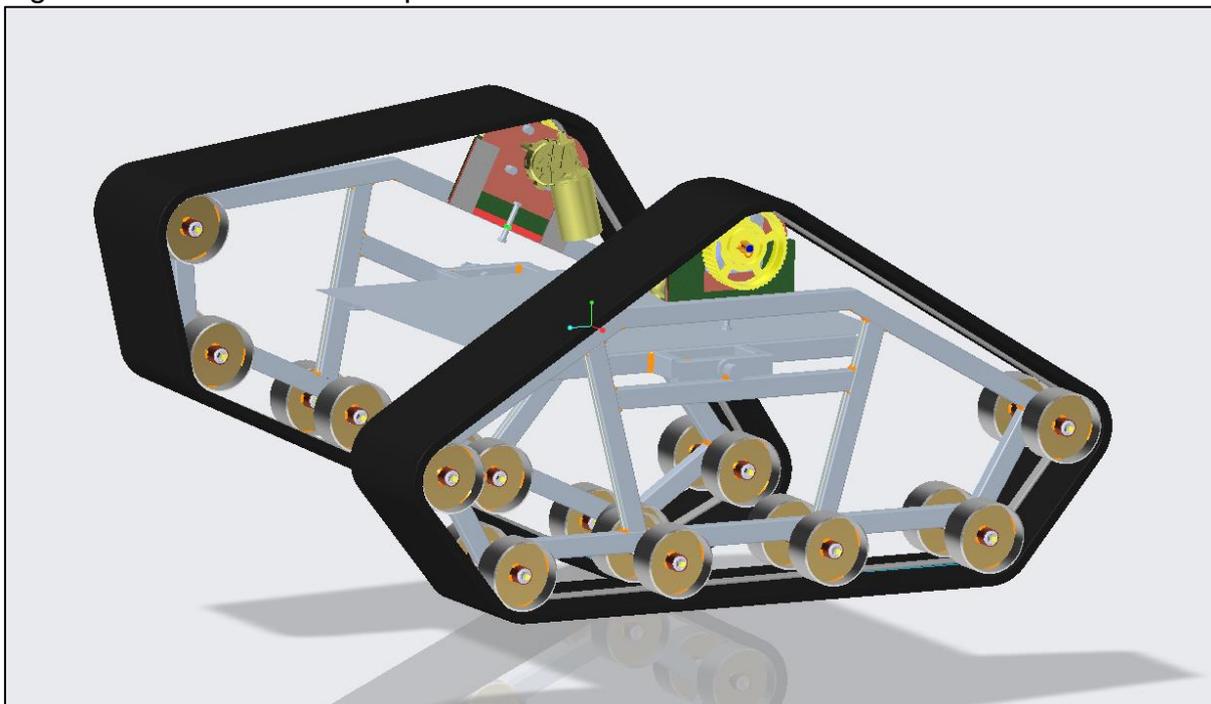
**Fonte:** O autor, 2018

Este ângulo de  $51^\circ$  com o solo e a inclinação de ataque da esteira, foi utilizado tanto na parte frontal, quanto na parte traseira do veículo, pois assim o protótipo poderá superar obstáculos se locomovendo em ambos os sentidos. Além disso a distância do centro do rolete de ataque com o solo se dá em torno de 215 mm, o que permite dizer que o veículo terá eficiência superior para superar obstáculos até essa altura.

#### 4.1.5 Pivotamento

Seguindo o mesmo pressuposto de que o robô precisará enfrentar obstáculos. Além do que, devido ao seu tamanho, cada um dos rodados de esteira do robô podem enfrentar diferentes obstáculos ao mesmo tempo, para isso torna-se necessário que cada conjunto de esteiras, tenha a capacidade de girar em torno de seu próprio eixo independentemente, para que sempre se mantenha o maior contato possível com o solo, trazendo uma maior estabilidade e aderência ao solo para o protótipo (Figura 13).

Figura 13: Pivotamento independente em cada rodado



Fonte: O autor, 2018

#### 4.1.6 Velocidade de trabalho

A velocidade de trabalho do protótipo, ficou limitada entre a capacidade máxima e mínima de rotação do motor escolhido, que pode variar de 1 RPM á 51 RPM, e devido a utilização de uma engrenagem motora de 120 mm de diâmetro que transmite o movimento do eixo do motor, para o conjunto de esteiras. Pode se estimar a partir disso, que a velocidade do protótipo será de 1,15 km/h.

Está é uma velocidade reduzida, uma vez que para fins de testes, se priorizou um maior torque em detrimento a elevadas rotações para o motor. Mas, que poderá ser alterada, de acordo com o andamento dos testes, através da troca dos motores, ou da engrenagem motora.

#### 4.2 MODELO 3D DO PROTÓTIPO

A partir de todos os requisitos elencados, anteriormente, foram elaborados alguns esboços e então elaborado o modelo 3D, com a intenção de reunir e harmonizar todos os requisitos elencados, em um único veículo. Alguns desenhos detalhados podem ser encontrados no apêndice A.

#### 4.2.1 Modelagem em software CAD 3D

Foi elaborado um modelo CAD 3D do protótipo do robô com o intuito de facilitar a análise suas dimensões, aparência e ajustes, bem como o posicionamento de seus componentes. Para produzir as peças e partes corretamente, facilitando a sua fabricação e prevenindo possíveis interferências e erros. Como pode ser visualizado na figura 14.

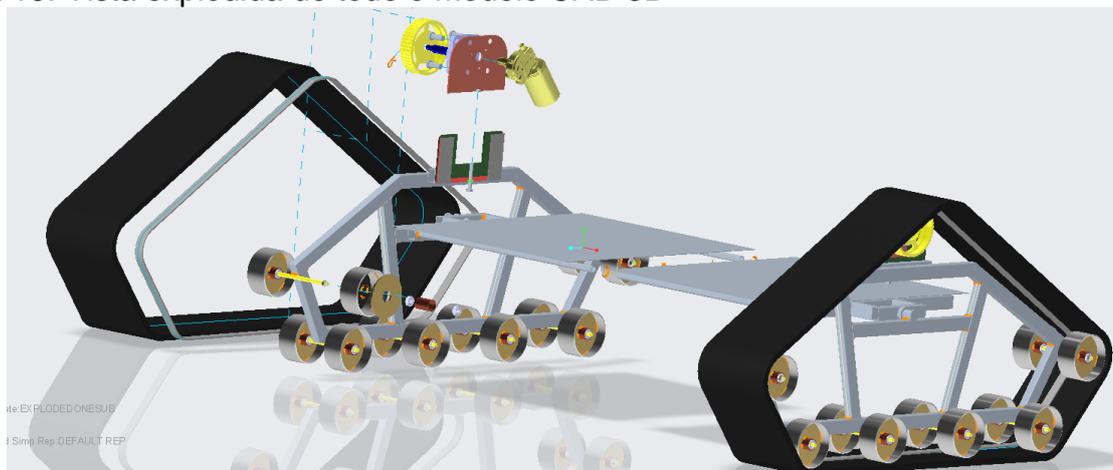
Figura 14: Modelo CAD 3D do protótipo



**Fonte:** O autor, 2018

Para o melhor entendimento da montagem dos componentes foi criada uma vista explodida do modelo, mostrando os componentes e subcomponentes de cada conjunto. Que pode ser visualizado na figura 15.

Figura 15: Vista explodida de todo o modelo CAD 3D

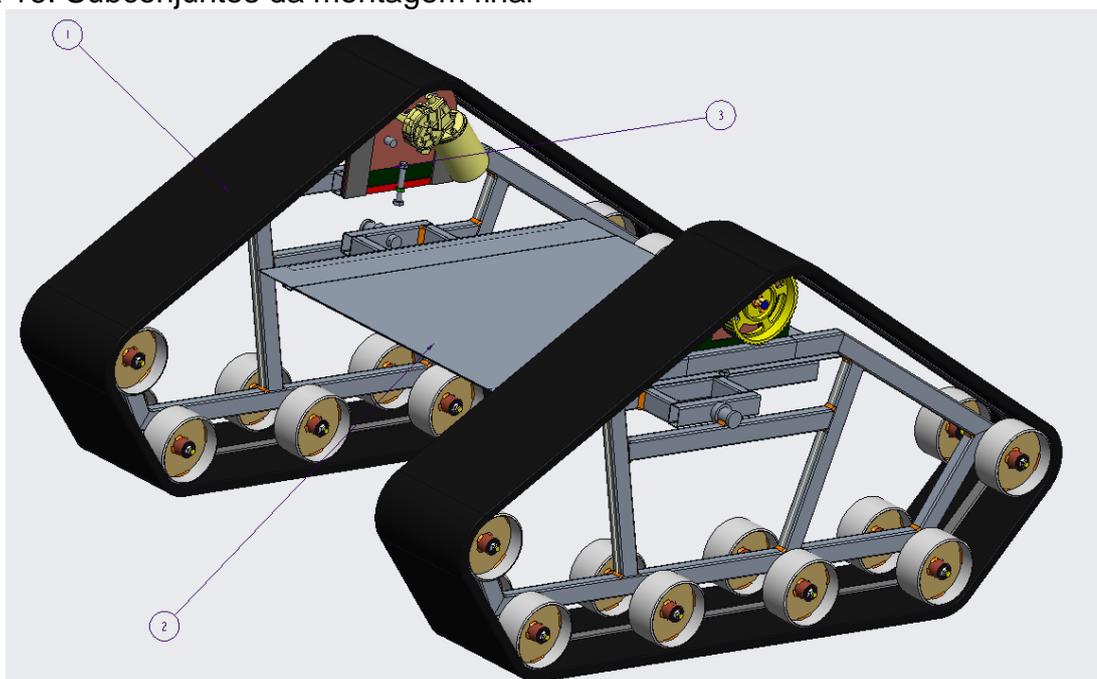


**Fonte:** O Autor, 2018

Este tipo de vista, facilita a identificação dos componentes, que em outras vistas poderiam estar ocultos por outras peças ou conjuntos. Ela também auxilia a localização do local de montagem de uma peça em uma sub montagem. Muitas vezes, uma única vista explodida não é suficiente para representar todos os componentes de um projeto, então se torna pertinente a criação de vistas explodidas para cada subconjunto, tornando-a mais simplificada e entendível.

Já na figura 16 estão indicados os subconjuntos da montagem final do veículo robótico. Que contém o conjunto da esteira mais o chassi lateral (1), o subconjunto do motor (3) e o subconjunto da central (2).

Figura 16: Subconjuntos da montagem final



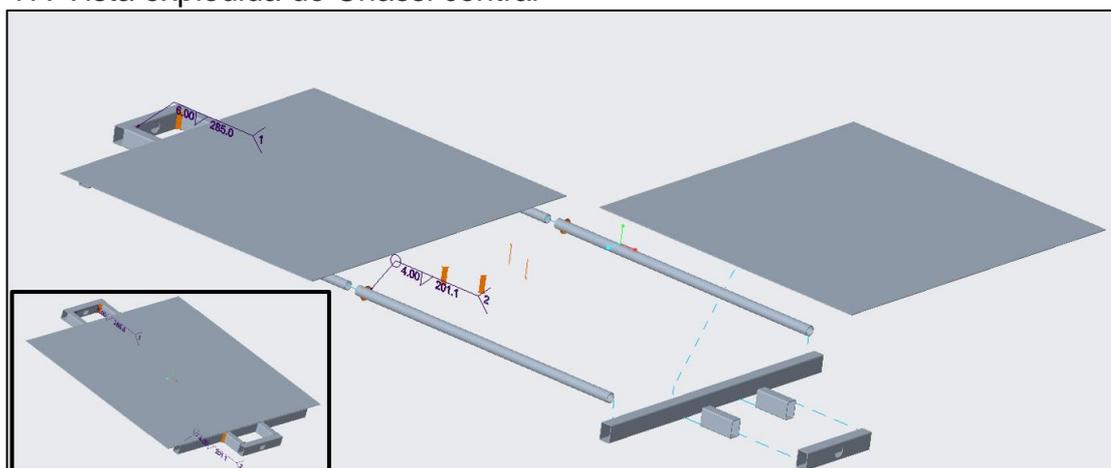
**Fonte:** O autor, 2018

Para a definição dos módulos do veículo robótico, foi levado em consideração a funcionalidade, a fabricação e a forma de montagem. Por isso o veículo foi separado em subconjuntos anteriormente citados e visualizados.

#### 4.2.2 Estrutura central

Para formar o subconjunto da estrutura central, foram considerados todos os componentes pertencentes a parte central do veículo, que são basicamente as duas chapas que forma a mesa de apoio, a estrutura de abertura, que permitem a alteração da distância entre as esteiras e largura do veículo, além da parte estrutural que irá se encaixar com o pino e a mola da estrutura lateral para permitir o pivotamento relativo entre as duas esteiras. Como pode ser visto na figura 17.

Figura 17: Vista explodida do Chassi central



**Fonte:** O autor, 2018

A estrutura de abertura, é a parte mais importante do chassi central, principalmente por sua importância funcional em todo o robô, ela funciona com dois conjuntos de deslizamento de tubos redondos, um na parte frontal e outro na parte traseira do protótipo.

Cada um desses dois conjuntos, possui dois tubos com diâmetros diferentes, um encaixado dentro do outro, usando pó de grafite como lubrificante, permitindo o deslizamento entre eles, para aumentar ou diminuir a largura do veículo, evitando que o mesmo danifique as plantas por onde está circulando.

### 4.2.3 Motor

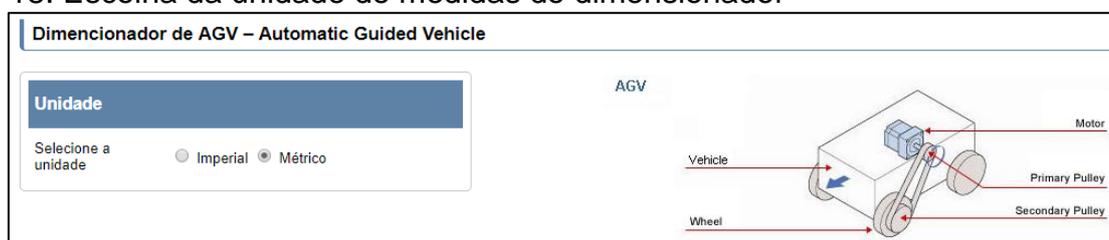
O conjunto do motor engloba todo o seu suporte, mancal com rolamento, eixo e engrenagem de transmissão do movimento do motor para a correia da esteira, além de funcionar como tensionador da esteira.

Primeiramente, foi estimado qual o motor necessário para o protótipo. Assim sendo, reuniu-se algumas informações sobre as características do protótipo e quais os requisitos a serem atendidos, tais como: peso do veículo e da carga a ser transportada, tamanho da roda motriz, quantidade de rodas, inclinação do terreno que o protótipo será submetido, entre outras informações.

Com essas informações, foi utilizada a ferramenta online Dimensionador de AGV – Automatic Guided Vehicle, da fabricante Oriental Motor, para estimar as especificações dos motores que o protótipo iria necessitar para realizar suas tarefas.

Para obter-se os dados do motor necessário, foi necessário seguir alguns passos. O primeiro passo, foi escolher o sistema métrico de unidades de medida, e entender quais eram os parâmetros a se considerar no veículo, através da imagem demonstrativa, conforme figura 18.

Figura 18: Escolha da unidade de medidas do dimensionador



**Fonte:** Oriental Motors, 2018

Pelo fato deste dimensionador, não se tratar de um veículo de esteiras, foi necessário fazer algumas adaptações nas informações sobre o veículo. No peso do veículo foi considerado o peso de 95 Kg, para o diâmetro da roda, foi necessário considerar o diâmetro da engrenagem motriz da esteira que está ligada diretamente ao motor, somando a espessura da borracha da esteira, alcançando 135 milímetros de diâmetro.

Já para o peso das rodas, se considerou o peso de todo o conjunto de esteira, chassi lateral, roletes e sapata de borracha e para o peso da roda. Também foi necessário indicar o número de rodas, ou no caso, a quantidade de conjuntos de

esteira, assim como o coeficiente de atrito entre a esteira e o solo, que considerou-se o atrito entre asfalto e borracha igual a 0,003.

Como o veículo não possui nem um carro anexo, ou reboque, a opção de carros adicionais foi deixada em branco. Após especificar as características do protótipo, foi necessário indicar a eficiência esperada para o sistema, e como forma de evitar sub dimensionamento dos motores, foi utilizada uma eficiência global do sistema de 70%, sendo que motores elétricos, normalmente possuem eficiência entre 94% e 95%.

Todas as informações referentes a essas características físicas do veículo, podem ser visualizadas na figura 19.

Figura 19: Dados usados para as características do veículo

| Veículo   |  |
|---|--|
| Peso do Veículo   | $m_1 = 95$ kg (desconsidere o peso das rodas)                                       |
| Diâmetro externo das rodas  | $D_1 = 135$ mm   |
| Peso das Rodas  | $m_{D1} = 14$ kg/pc  |
| Número de Rodas   | $n_1 = 2$ pcs  |
| Coeficiente de Fricção entre as Rodas e a superfície                | $\mu_1 = 0.03$   |
| <b>Referência:</b>  | Rodas do carro no concreto: 0.010 até 0.015<br>Aço no Aço: 0.02<br>Aço na Madeira: 0.22<br>Roda do Carro no asfalto: 0.030 até 0.035<br>Alumínio no Aço: 0.10 até 0.15 |
| Carros Adicionais (Deixe em branco caso não haja carros adicionais) |  |
| Número de Carros  | $N =$ <input type="text"/> carros  |
| Eficiência do sistema   |  |
| Eficiência do sistema   | $\eta = 70$ %  |

**Fonte:** Oriental Motors, 2018

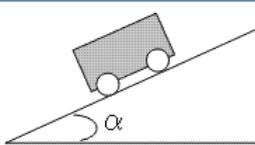
A opção de transmissão por polia com diferentes diâmetros, foi deixada em branco, pois se considerou que o veículo irá utilizar uma transmissão direta da redução do motor para a engrenagem.

Com as características físicas do veículo e sua eficiência definidas, foi necessário informar as condições de trabalho do veículo, como o ângulo máximo de inclinação do solo em que o protótipo irá atuar, para isso selecionou-se 45°, conforme figura 20.

Figura 20: Inclinação da superfície de trabalho.

Inclinação da superfície

Angulo máximo de inclinação da superfície  $\alpha$  =  °



**Fonte:** Oriental Motors, 2018

Foram selecionados alguns parâmetros necessários para o robô, além dos especificados, como freio eletromagnético para manter a carga após a parada do motor, algo que julgo necessário, para o protótipo não perder o controle em um terreno inclinado, caso ocorra o descarregamento da bateria, conforme figura 21.

Figura 21: Requerimentos do motor

Outro(s) requerimento(s)

- É necessário manter a carga mesmo após a alimentação ser desligada.  
→ Você precisa de um freio eletromagnético.
- É necessário manter a carga após o paragem do motor, mas não é necessário segurar depois que a fonte de alimentação é desligada.

**Fonte:** Oriental Motors, 2018

Também foi possível escolher entre algumas condições de funcionamento, nas quais, poderia se escolher 1 entre 3 opções: operação de velocidade fixa, operação de velocidade variável e operação de posicionamento. Foi escolhida a opção de operação de velocidade fixa e indicado um valor de velocidade de operação de 166m/min, que corresponde aproximadamente à 10Km/h, e o tempo para alcançar a velocidade foi definido em 10 segundos (Figura 22).

Figura 22: Condições de funcionamento

Condições de funcionamento

Operação de velocidade fixa

Velocidade de operação  $V_1 =$   m /min

Aceleração / desaceleração  $t_1 =$   s

Operação de velocidade variável

Velocidade de operação

Aceleração / desaceleração

Operação de posicionamento (preencha os campos, se necessário) i

**Fonte:** Oriental Motors, 2018

Também foi definida a precisão de parada necessária, foi escolhido um valor de 50 milímetros e para o fator de segurança, optou-se por um valor de 1.75, como pode ser visualizado na figura 23.

Figura 23: Precisão de parada e fator de segurança

Precisão de parada

Precisão de parada  $\pm$   mm

Fator de segurança

Fator de segurança

**Fonte:** Oriental Motors, 2018

Através dos dados adicionados sobre as características da aplicação, foi possível extrair as seguintes informações para especificar o motor necessário para atender as funções do protótipo, foram elas: Momento de inércia  $J_L$  em  $\text{Kg.m}^2$ , velocidade necessária no motor  $V$  em  $\text{r/min}$ , torque necessário  $T$  em  $\text{N.m}$ , torque de aceleração  $T_a$  em  $\text{N.m}$ , torque de carga  $T_L$ , precisão de parada necessária  $\Delta\theta$  em graus, de acordo com a figura 24.

Figura 24: Dados de especificação necessária para o motor

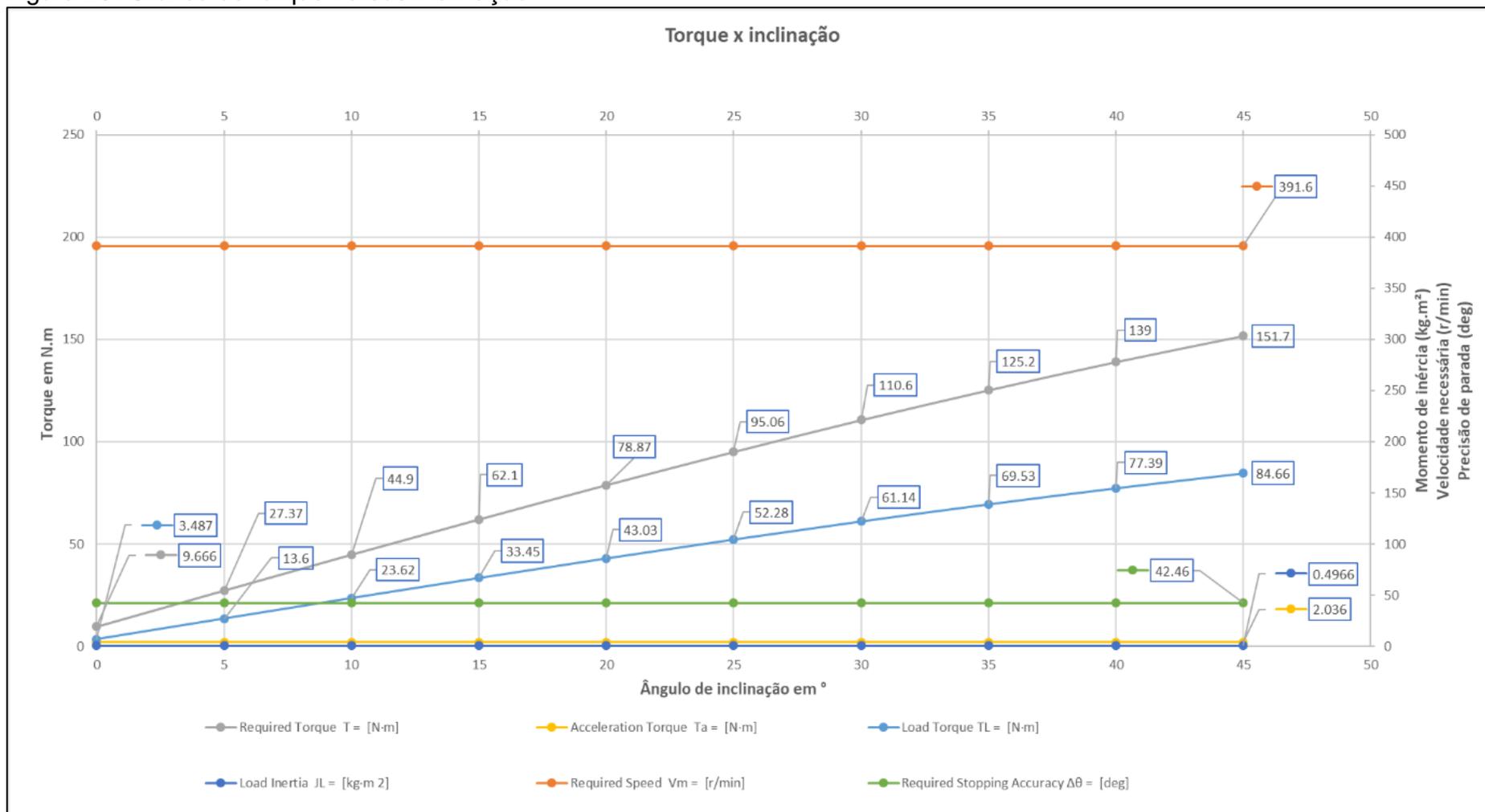
| Sizing Results             |                       |                             |
|----------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| Load Inertia               | $J_L =$               | 0.4966 [kg·m <sup>2</sup> ] |
| Required Speed             | $V_m =$               | 391.6 [r/min]               |
| Required Torque            | $T =$                 | 139.0 [N·m]                 |
| Acceleration Torque        | $T_a =$               | 2.036 [N·m]                 |
| Load Torque                | $T_L =$               | 77.39 [N·m]                 |
| Required Stopping Accuracy | $\Delta\theta =$      | 42.46 [deg]                 |
| Other Requirement(s)       | ElectroMagnetic Brake |                             |

**Fonte:** Oriental Motors, 2018

Como o site de dimensionamento dos motores permitia, somente a utilização de 1 motor no dimensionamento, e o protótipo terá dois motores. Foi necessário considerar que a soma das especificações dos dois motores deveriam atingir o valor extraído.

Foram também extraídas as informações do motor para diferentes inclinações. E a partir dessas informações, foi possível elaborar um gráfico, com a variação das especificações de motor requeridas para cada inclinação de terreno (Figura 25).

Figura 25: Gráfico de torque versus inclinação



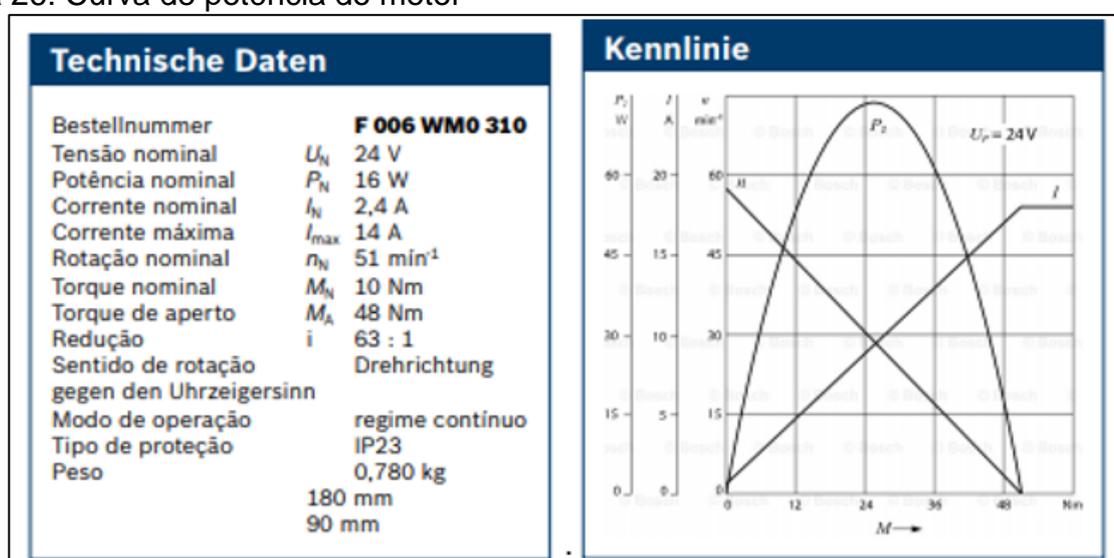
Fonte: O Autor, 2018

Através dessas informações extraídas sobre o motor, é possível localizar em um catálogo de motores, um motor adequado às necessidades do protótipo. Mas devido aos recursos limitados e o fato de um motor com velocidade e torque elevados iria encarecer muito o projeto. Para fins de testes, optou-se por definir o torque como a especificação prioritária do motor no momento da sua escolha.

Consultando vários catálogos, inclusive de outras marcas, foi definido pela utilização de 1 motor BOSCH CEP F006 WMO 310 para cada conjunto de esteira. Motor que opera à 24 Volts e possui um torque máximo de 48 Nm, considerando as 2 unidades, um torque final de 96 Nm de torque, girando à uma rotação máxima de 51 RPM. Através dessa escolha do motor, se considerou que ainda faltaria 55 N.m de torque para atingir a especificação necessária para 45° de inclinação, por isso para o veículo obter a performance desejável, deverá de atuar somente até uma inclinação de 25°, conforme o gráfico da figura 25 mostrado anteriormente.

Já na figura 26 é possível visualizar o gráfico que mostra curva característica de potência do motor adquirido para o protótipo, como a sua rotação, respectivo torque e corrente.

Figura 26: Curva de potência do motor



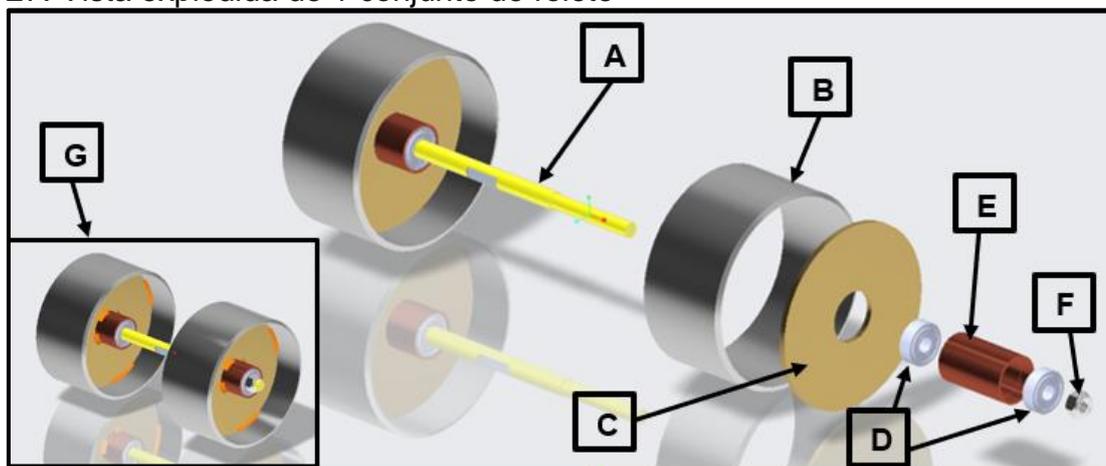
Fonte: BOSH, 2018.

#### 4.2.4 Roletes

O rolete é o subconjunto responsável por transmitir a carga peso do robô para a esteira e também permitir que a esteira se movimente, por isso é composto por uma parte externa de perfil circular (Figura 27 B) e uma parte interna, composta por

um raio (figura 27 C), um tubo porta rolamentos (figura 27 E), contendo 2 rolamentos cada rolete (figura 27 D). Que é fixado em pares em um eixo central (figura 27 A), por uma porca autofrenante em cada extremidade (figura 27 F).

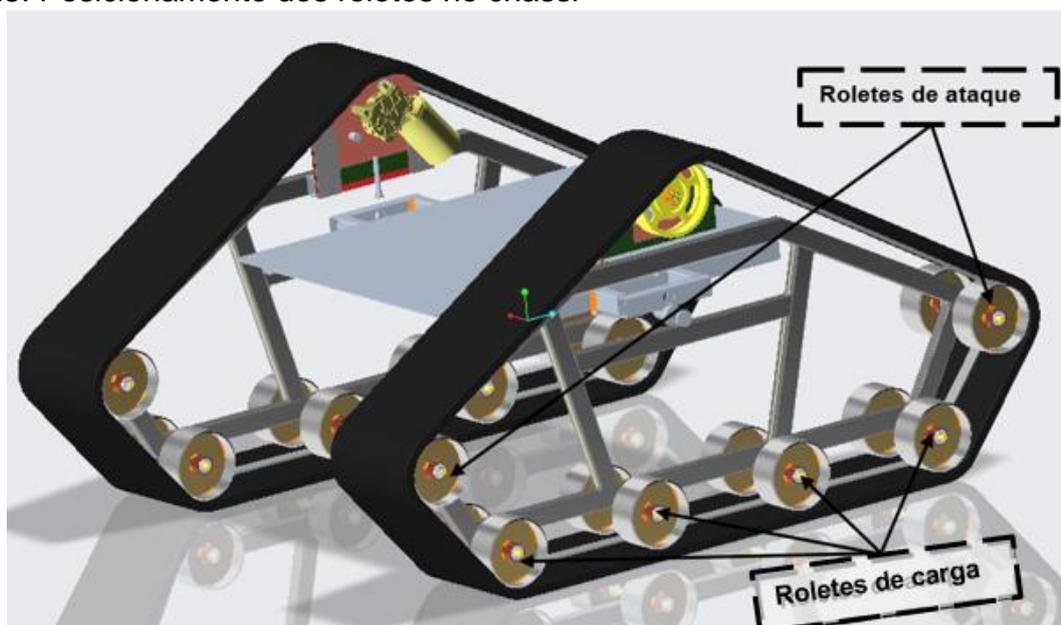
Figura 27: Vista explodida de 1 conjunto de rolete



Fonte: O autor, 2018.

Ao todo são 24 roletes em 12 conjuntos, como o da figura 27 G. Destes 8 conjuntos de roletes estão soldados na parte inferior do chassi, e são responsáveis por suportar a carga peso do veículo em terreno plano. Já os outros 4 conjuntos de roletes estão posicionados mais acima e só entram em contato, quando o veículo precisa transpassar um obstáculo, ou há uma variação na inclinação do terreno. Conforme figura 28.

Figura 28: Posicionamento dos roletes no chassi

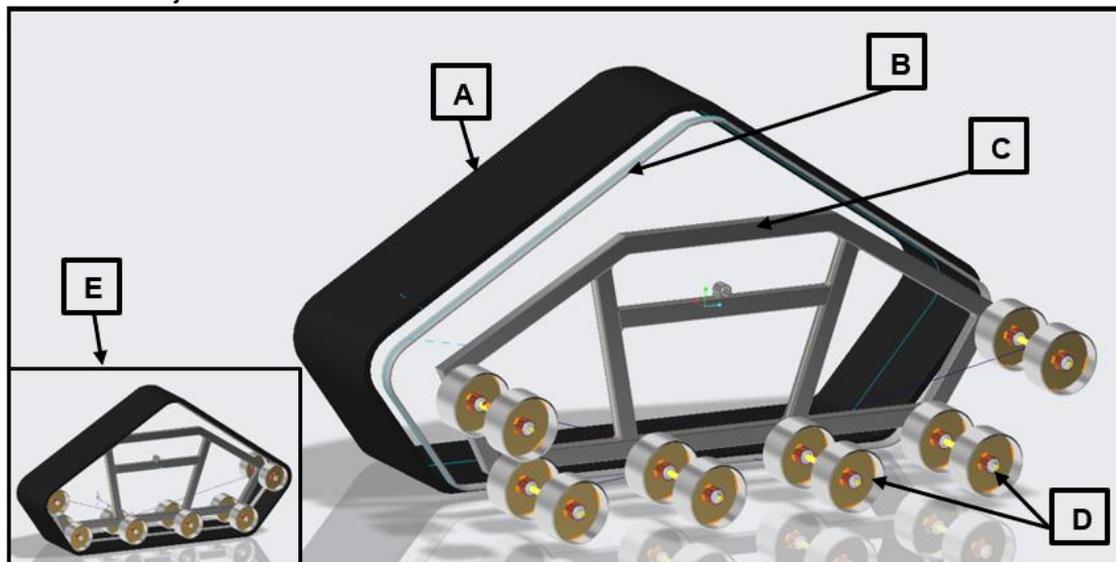


Fonte: O Autor, 2018.

#### 4.2.5 Estrutura lateral

Já na estrutura lateral, é considerado toda a treliça, composta de tubos retangulares de aço, como também os seus subconjuntos de roletes, (figura 29).

Figura 29: Subconjuntos do chassi lateral

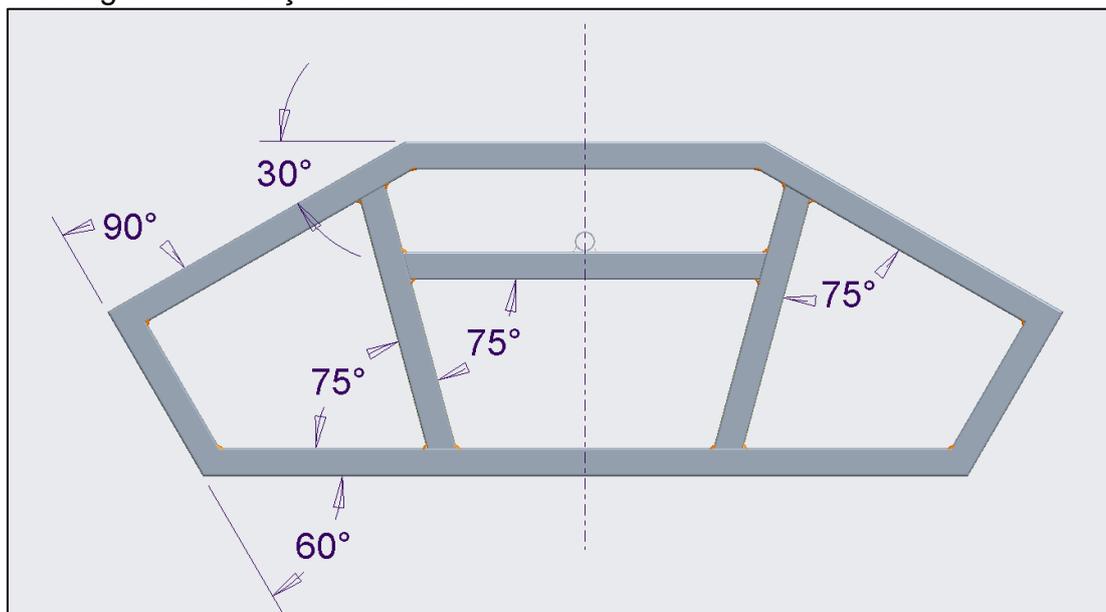


Fonte: O autor, 2018.

Este é o conjunto principal do veículo, uma vez que concentra nele a maior parte dos componentes e funções, é também é o mais complexo e por isso possui subconjuntos associados a ele. Além de ser usado duas vezes na estrutura do veículo, um em cada lado.

A parte estrutural do chassi lateral, foi treliçada, com a intenção de suportar melhor os esforços de carga que irá sustentar e distribuir entre os 4 roletes de carga e os possíveis esforços vindos dos roletes de ataque. Os ângulos de cada parte da estrutura do chassi lateral foram definidos conforme a figura 30.

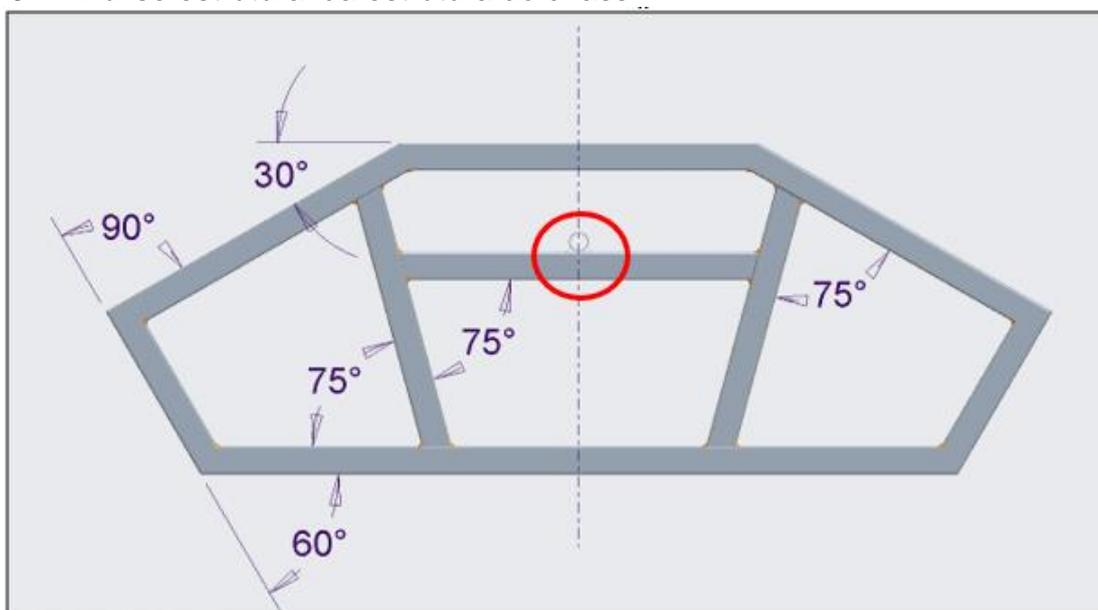
Figura 30: Ângulos da treliça do chassi



Fonte: O autor, 2018.

Por uma questão de validação do chassi para fins de teste do protótipo, foi realizada uma simulação em software para identificar os pontos críticos e monitorá-los, como pode ser visualizado na figura 31.

Figura 31: Análise estrutural da estrutura do chassi



Fonte: O autor, 2018.

A partir da simulação identificou-se que os pontos mais críticos, é o ponto de ligação com a mesa central, local, onde ocorre o pivotamento e na figura 31. Que necessitam de mais atenção e observação durante os testes para identificar uma possível necessidade de reforço desses pontos.

### 4.3 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

Primeiramente, foi necessário realizar a aquisição dos materiais e componentes do robô, que podem ser visualizados na tabela 1, com sua respectiva quantidade e preço.

Tabela 1: Itens utilizados e seus custos

| Descrição  | Quantidade         | Custo Total         |
|--|--------------------|---------------------|
| Tubo retangular 20x30x1.2                              | 12m                | R\$ 82.40           |
| Tubo redondo 4 pol x 3mm                               | 1.4m               | R\$ 80.00           |
| Tubo redondo 1 pol x 1.5 mm                            | 2m                 | R\$ 15.00           |
| Tubo redondo 22mm x 1.5 mm                             | 2m                 | R\$ 15.00           |
| Tubo redondo 1 pol x 3mm                               | 1.4m               | R\$ -               |
| Barra circular 9,5 mm                                  | 3m                 | R\$ 25.00           |
| Chapa 3 mm   | 1.2m <sup>2</sup>  | R\$ 55.00           |
| Chapa 2,5 mm   | 0,5 m <sup>2</sup> | R\$ -               |
| Bateria 12V 60 Ah                                      | 2un                | R\$ -               |
| Motor Elétrico BOSCH CEP F006 WMO 310                  | 2un                | R\$ 380.00          |
| Mancal Quadrado F204 +rolamento Uc203 Eixo 17mm Ucf203 | 2un                | R\$ 84.00           |
| Rolamentos Abec5 608 Zz                                | 100un              | R\$ 80.00           |
| Mola de tração 1.50x12.30x50mm                         | 2un                | R\$ 8.00            |
| Fio Cabo Flexível 6mm                                  | 4m                 | R\$ 14.00           |
| Porca sextavada C.10 MA 8mm - Autofrenante             | 24un               | R\$ 4.80            |
| Banda de recapagem 190mm                               | 5m                 | R\$ 250.00          |
| Engrenagem comando de válvulas                         | 2un                | R\$ -               |
| Correia dentada automotiva                             | 5m                 | R\$ -               |
| Interruptor de corrente                                | 2un                | R\$ -               |
| Cabo de bateria automotiva                             | 2un                | R\$ -               |
| Parafuso M12 x 25mm                                    | 8un                | R\$ 7.00            |
| Porca M12 autofrenante                                 | 8un                | R\$ 5.00            |
| Parafuso M4 x 25mm                                     | 75un               | R\$ 7.50            |
| Porca M4   | 75un               | R\$ 3.75            |
| Tarugo de aço 5 pol x 30mm                             | 1un                | R\$ 12.00           |
| Parafuso M6  | 6un                | R\$ 3.00            |
|  |                    | <b>R\$ 1,131.45</b> |

**Fonte:** O Autor, 2018.

Conforme pode ser visualizado na tabela 1 o custo final do protótipo, sem considerar os itens doados, ou emprestados e a mão de obra, o custo do protótipo é de aproximadamente R\$ 1.130,00 reais.

Para a fabricação do protótipo, foi necessário seguir a separação em módulos realizada anteriormente, para ser mais rápido e assertivo no método de fabricação. Assim sendo, é possível identificar cada módulo e como se procedeu para sua construção e fabricação.

#### 4.3.1 Chassi Lateral.

Para a construção da estrutura do chassi lateral, foi necessário a utilização do tubo retangular 30x20x1.2 mm. Também foram necessários algumas ferramentas e equipamentos, como: lixadeira, paquímetro, goniômetro, fita métrica, esquadro, além de um aparelho de solda MIG/MAG, mesa de solda, grampos de fixação, lápis, etc.

Primeiramente, com o auxílio de um goniômetro, um paquímetro e uma fita métrica, foram marcados os ângulos e dimensões estipuladas em projeto. E então com a utilização de uma lixadeira equipada com disco de corte os tubos foram cortados.

Após realizar o corte dos tubos necessários para as duas unidades do chassi, foi realizado o desbaste das rebarbas de corte e arredondamento de cantos, com a utilização da mesma lixadeira, mas equipada com um disco de desbaste.

Como o chassi lateral possui vários ângulos diferentes e os tubos foram cortados com uma menor precisão, foi necessário imprimir em uma folha de papel, a vista frontal do chassi em escala 1:1, para facilitar a montagem e soldagem nas dimensões e ângulos corretos.

Com o auxílio desta folha, foram posicionados os tubos do chassi sobre o desenho e realizado o processo de ponteamento com solda, somente para fixar os tubos na posição correta. Após isso, foi removido a folha de papel e realizada a soldagem completa do chassi. Conforme figura 32.

Figura 32: Soldagem do chassi central



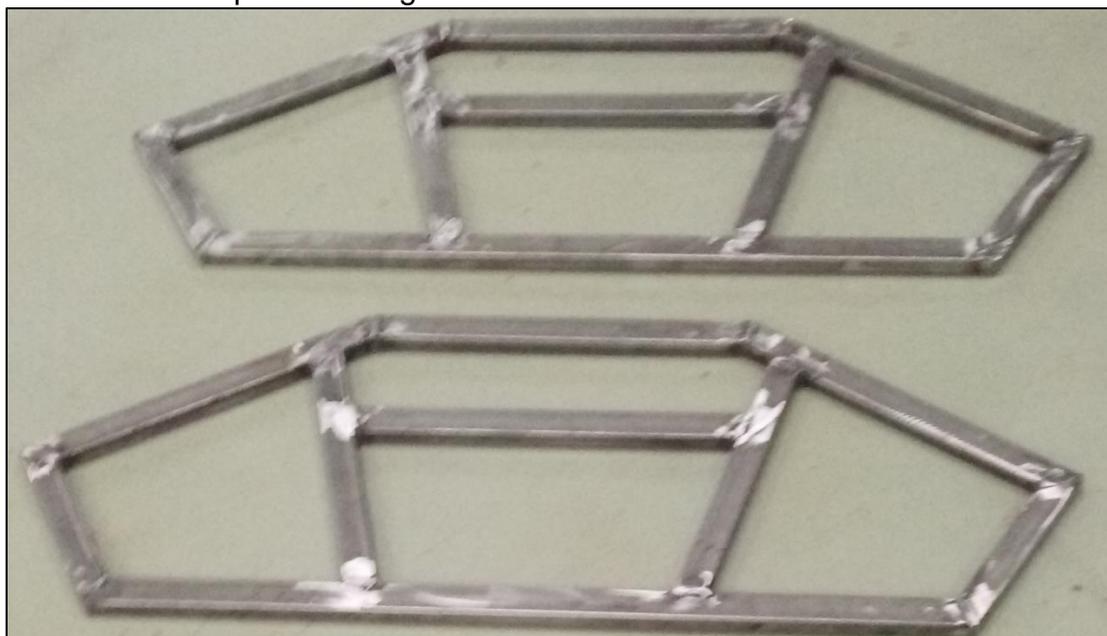
**Fonte:** O Autor, 2018.

Durante a soldagem completa, foi necessário fixar o chassi sobre a mesa de solda com grampos de fixação, para evitar o empenamento da estrutura, devido ao aquecimento pelo processo de soldagem. Como também foi necessário, soldar uma

face primeiro, aguardar a mesma esfriar presa nos grampos, para somente depois realizar a soldagem da outra face.

Com toda a estrutura soldada, foi necessário realizar o lixamento do excesso de solda e de alguns respingos, com a finalidade de melhorar a aparência estética da estrutura. Na figura 33, é possível visualizar a aparência das duas unidades do chassi lateral após o término de sua fabricação.

Figura 33: Lixamento após a soldagem do chassi central



**Fonte:** O Autor, 2018

#### 4.3.2 Fabricação do chassi central

Para realizar a fabricação do chassi central foram necessários alguns materiais, como o tubo retangular 30mmx20mmx1,5mm e os tubos redondos 1polx1.5mm e 22mmx1,5mm. Além de algumas ferramentas e equipamentos, como: lixadeira, paquímetro, fita métrica, esquadro, além de um aparelho de solda MIG/MAG, mesa de solda, grampos de solda, etc.

Como o chassi central só possui peças com cortes em 90°, foi necessário somente, um esquadro, um paquímetro, uma fita métrica e um lápis, para marcar os locais de corte definidos em projeto. E então realizar os cortes, com a utilização de uma lixadeira equipada com disco de corte.

Após o corte, foi realizado o desbaste das rebarbas de corte e arredondamento de cantos, com a utilização da mesma lixadeira, mas equipada com um disco de desbaste.

Foram então posicionadas as peças do chassi central sobre a mesa de solda, conforme posições em projeto. Como o chassi central possui menos componentes que o lateral e todos posicionados em ângulos retos, não foi necessário imprimir um desenho em escala 1:1 para realizar o posicionamento, somente foi utilizado uma fita métrica e um esquadro para definir as posições e com o equipamento de solda realizado o processo de ponteamento.

Após o ponteamento, as medidas foram aferidas novamente, e o chassi foi fixado na mesa de solda para realizar o processo de solda completo, primeiro em uma face e após esfriar em outra.

Após o término da solda, também foi necessário realizar o lixamento de respingos e excessos de solda, para melhorar a aparência da estrutura. Conforme figura 34.

Figura 34: Chassi central soldado e lixado



**Fonte:** O autor, 2018

#### 4.3.3 Fabricação da esteira

Para a fabricação da esteira de borracha, foram necessários alguns materiais, como: banda de recapagem a frio, correias dentadas automotivas, parafusos e porcas M6. Além de alguns equipamentos e ferramentas, como: aparelho de solda MIG/MAG e lixadeira para fabricar o gabarito, facão de corte para cortar a borracha, furadeira para furar e rebaixar os furos na correia dentada e fita métrica, esquadro e lápis para marcações.

Primeiramente, foi realizado o corte de 2 unidades da banda de recapagem, no comprimento de 2,5 metros de acordo com a definição do projeto. A partir disso, foram cortadas também as correias dentadas para somarem dois conjuntos de 2,5 metros.

A borracha de recapagem foi emendada com o uso de vulcanização, onde se adicionou uma cinta de reparo e posicionou-se as duas pontas de cada pedaço da borracha de recapagem unidas por grampos, para manter a proximidade. Após cada banda de recapagem, foi posicionada sobre uma mesa de aquecimento, e aquecida de 75 à 100 graus centígrados e ao mesmo tempo pressionada sobre a mesa, com o auxílio de uma prensa manual de parafuso.

Assim as duas borrachas de recapagem foram unidas e formaram cada uma um conjunto de sapata de esteiras, conforme figura 35. Onde é possível visualizar na figura 35 A a vista lateral da união, na figura 35 B a vista interna da união e na figura 35 C a vista externa da união da borracha.

Figura 35: Vulcanização das sapatas da esteira



**Fonte:** O autor, 2018

Como a correia dentada precisava ser posicionada exatamente no centro da esteira, para transmitir o movimento de forma mais homogênea, foi fabricado um gabarito (figura 36 A) para posicionar a correia dentada no local correto (figura 36 B e C), durante o processo de fixação da mesma na esteira, conforme figura 36.

Figura 36: Posicionamento da correia dentada



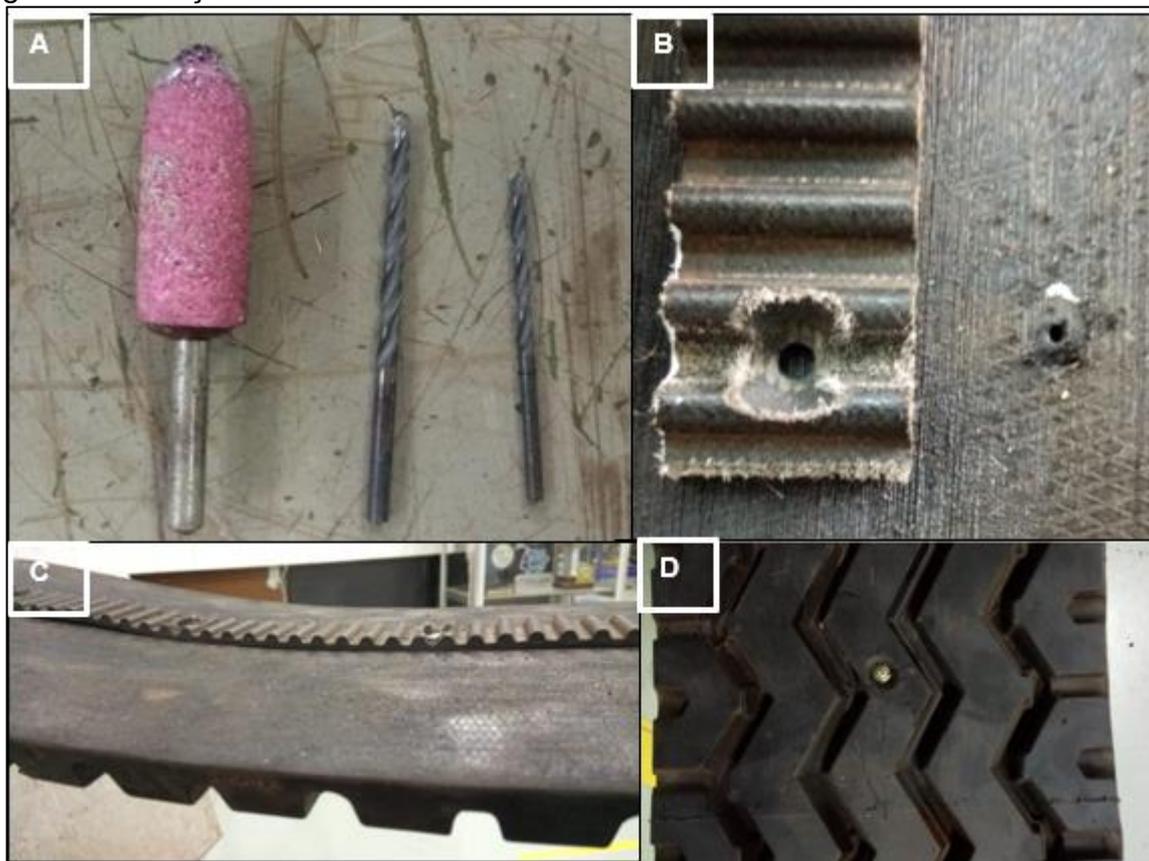
**Fonte:** O autor, 2018

Para a fixação da correia dentada na banda de recapagem, foi utilizado parafusos e porcas M6, onde foi realizado um furo passante na correia dentada e na banda de recapagem, a cada 50 milímetros de distância, e adicionados os parafusos para fixação. Para evitar o contato entre os parafusos e a engrenagem da correia dentada, foram realizados pequenos rebaixos na correia dentada, para que o parafuso ficasse abaixo da linha de contato com o dente da engrenagem, evitando descarrilamento da sapata. Como pode ser visto na figura 37 B.

Para fazer isso, foram utilizadas 2 brocas para aço, primeiro para ser o furo guia, com uma broca menor, após a broca com o diâmetro do parafuso e só então foi feito um rebaixo com o rebolo cilíndrico, figura 37 A

Feito isso, a correia dentada foi parafusada nos locais dos furos e fixada na sapata da esteira, conforme a vista lateral figura 37 C e a vista superior inferior, figura 37 D.

Figura 37: Fixação da correia dentada na esteira de borracha



Fonte: O Autor, 2018

#### 4.3.4 Fabricação dos roletes

Para a fabricação dos roletes, foi utilizado tubo redondo 1"x3mm, tubo redondo 4" x 3mm chapa de aço 2,5mm, barra de aço redonda 9,5mm, rolamentos Abec5 608 Zz e porcas autofrenantes M8. Além disso foi necessário o uso de: torno convencional, equipamento de solda MIG/MAG, cociente M8, além de 1 lixadeira equipada com disco de corte e desbaste. E equipamentos de medição, como paquímetro, nível e trena.

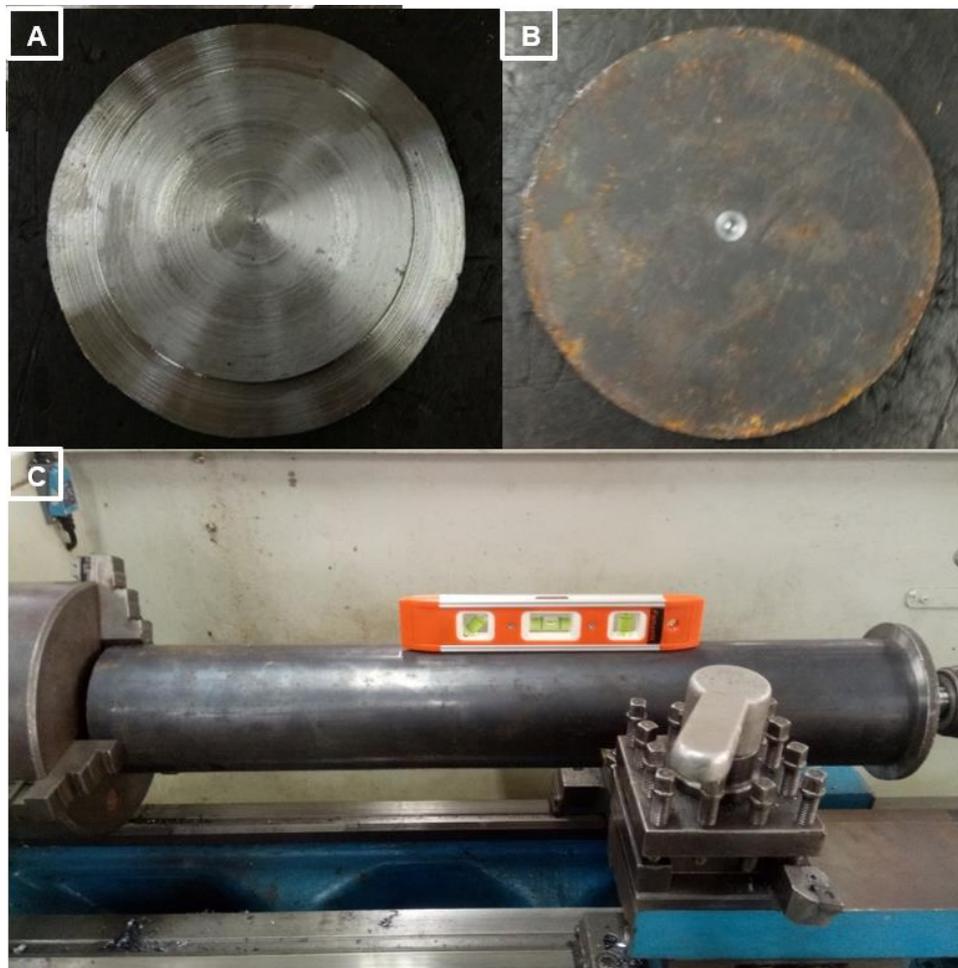
Para realizar o corte dos 24 pedaços de tubo, devido a limitação de comprimento do trono convencional disponível, foi necessário dividir o tubo em 2 pedaços 600 milímetros de comprimento, com o auxílio de uma lixadeira equipada com um disco de corte.

Para posicionar o tubo no torno convencional com o contraponto, foi necessário fabricar uma contra peça que encaixava entre uma das extremidades do tubo (figura 38 A) e a ponteira de centralização do contraponto (Figura 38 B).

Com a contra peça fabricada, o tubo foi fixado no torno convencional, em uma das extremidades pela placa de fixação do torno. Na outra extremidade foi fixado

pela contra peça e o contraponto. Para realizar o último alinhamento antes do aperto final, foi utilizado um nível de bolha, conforme pode ser visto na figura 38 C.

Figura 38: Posicionamento do tubo no torno convencional



**Fonte:** O autor, 2018

Após o posicionamento, foi realizado o pré corte do tubo no torno convencional, onde foi retirado 2 milímetros de material da espessura do tubo a cada 50 milímetros de extensão conforme figura 39 A. Após o término desse procedimento, foi realizado o corte final de cada pedaço do tubo, retirando-se mais 1 milímetro da espessura, com o auxílio de uma lixadeira equipada com um disco de corte.

Os 24 pedaços do tubo, foram então faceados, para retirar as rebarbas residuais do corte e dar um melhor acabamento a peça, figura 39 B. Com o acabamento finalizado, foi feito um rebaixo interno em cada pedaço, para facilitar a montagem do raio central, figura 39 C.

Figura 39: Corte do tubo, e acabamento final dos roletes



Fonte: O Autor, 2018

Para o raio dos roletes, foi utilizado uma chapa de 2,5 milímetros de espessura, cortada em máquina laser, figura 40 A. Essa chapa foi cortada em formato circular, com o intuito de encaixá-la internamente em cada pedaço de tubo (figura 40 B). Também contém um furo circular em seu centro, para encaixar o porta rolamentos.

Figura 40: Corte laser das peças da parte interna das rodas e do suporte do motor



Fonte: O Autor, 2018

Para o tubo porta rolamentos, foram cortados 24 pedaços de 40 milímetros de 1 tubo com diâmetro externo de 25,4 polegada, realizado um rebaixo interno de 8 milímetros de profundidade e 22 milímetros de diâmetro, em cada face para acoplamento dos dois rolamentos. Como pode ser visualizado na figura 41 A.

Foi usinado, também, um gabarito para posicionar o porta rolamento e o raio da peça no tubo, durante a soldagem do rolete. conforme figura 41 C. Já na figura 41 B é possível visualizar o rolete após a soldagem, ainda sobre o gabarito.

Figura 41: Usinagem e soldagem do rolamento



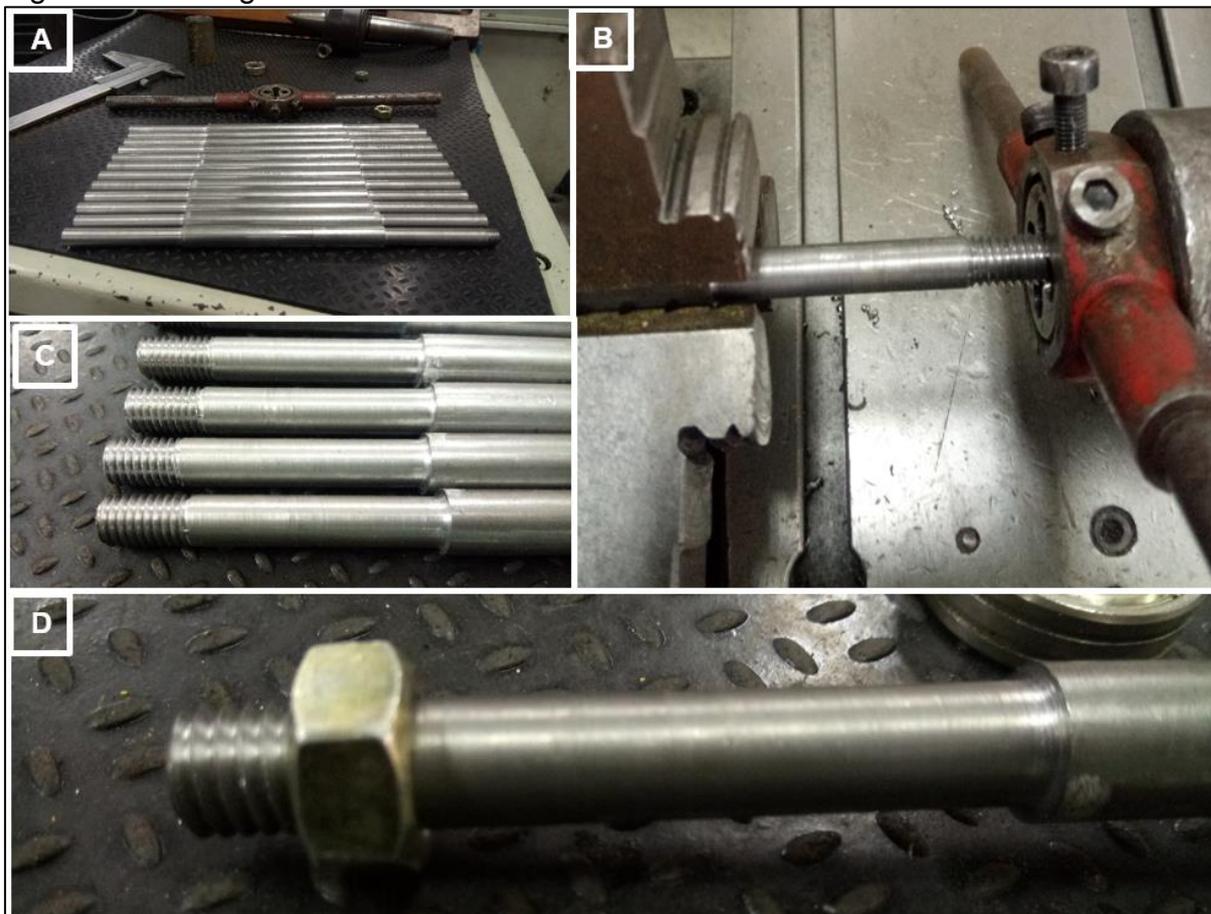
Fonte: O autor, 2018

Assim os 24 roletes foram fabricados, faltando somente realizar a montagem dos rolamentos em suas posições e do rolete sobre o eixo.

Já para a fabricação do eixo dos roletes, foi necessário cortar 12 pedaços da barra maciça 3/8" com 190 milímetros de comprimento. Essa foi usinada no torno, onde foram feitos dois rebaiços em cada extremidade, com diâmetro de 8mm e

extensão de 50 milímetros (figura 42 A), onde em cada uma das pontas foi feito rosca do tamanho M8 (figura 42 B), para comportar uma porca autofrenante, que irá fixar o rolete e os rolamentos na posição de trabalho.

Figura 42: Usinagem dos eixos dos roletes



Fonte: O autor, 2018

Feito isso, os 12 eixos usinados foram então soldados no chassi, conforme disposição de projeto (figura 43 A), 6 em cada lado. Só então foi realizada a montagem dos 24 roletes nos eixos. Para a montagem dos roletes, primeiramente foi adicionando um rolamento no eixo, com isso foi encaixando o rolete com o porta rolamentos sobre este primeiro rolamento (figura 43 C), foi então adicionado o último rolamento (figura 43 D) e então fixado o conjunto com uma porca autofrenante (figura 43 E).

Figura 43: Montagem dos roletes



**Fonte:** O Autor, 2018

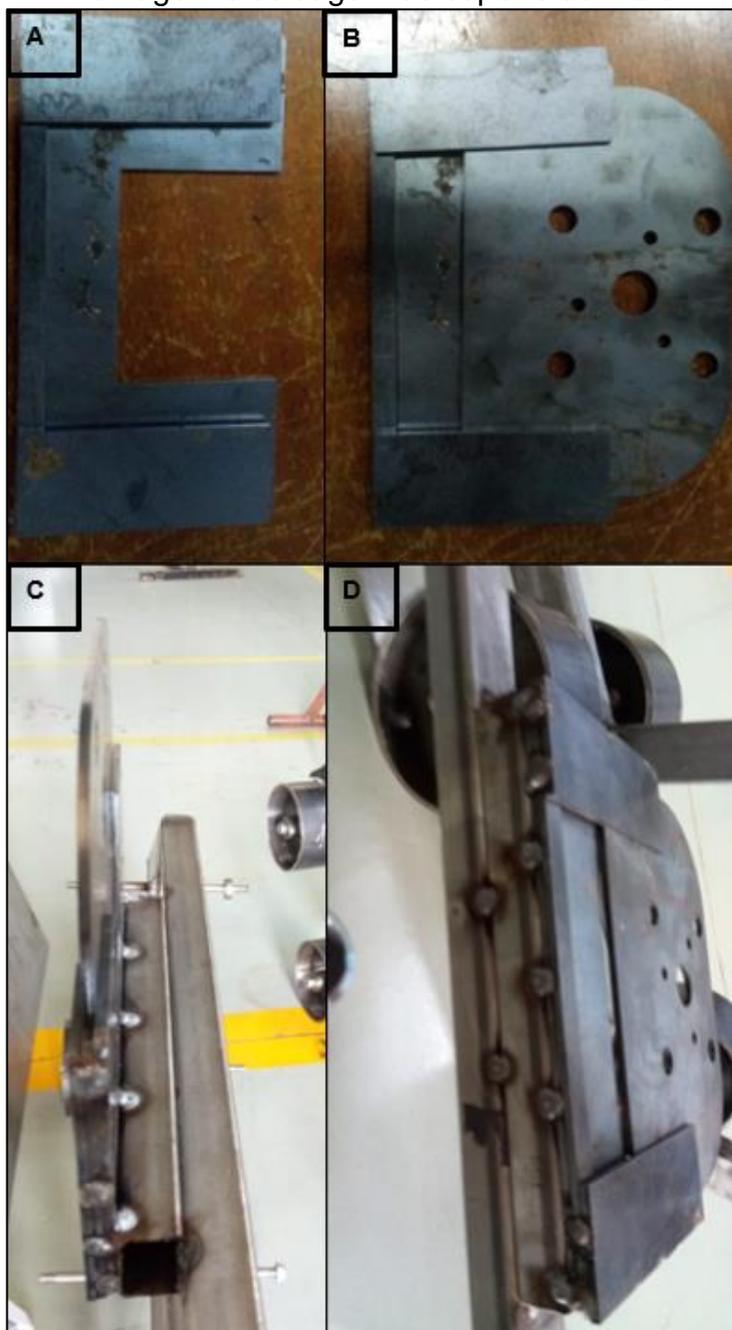
#### 4.3.5 Suporte do motor

Para a fabricação do suporte do motor, foi necessário: 0,5m<sup>2</sup> de chapa de aço 2,5 milímetros, parafusos e porcas. Além da utilização de serviço de corte laser, equipamento de solda MIG/MAG e lixadeira para desbaste, bem como ferramentas de medição como paquímetro e esquadro, além de grampos de fixação para a solda.

Primeiramente, foi terceirizado o corte laser das peças, para isso foi extraído os arquivos DXF do modelo 3D. A partir da obtenção das peças cortadas nas dimensões solicitadas de acordo com a figura 44 A e B. Foi então realizada a soldagem dos componentes do suporte do motor e a montagem da parte móvel do suporte como pode ser visualizado na figura 44 B.

Com isso feito, foi realizada a soldagem do suporte do motor no chassi central, que pode ser visualizado na figura 44 C e D.

Figura 44: Montagem e soldagem do suporte do motor



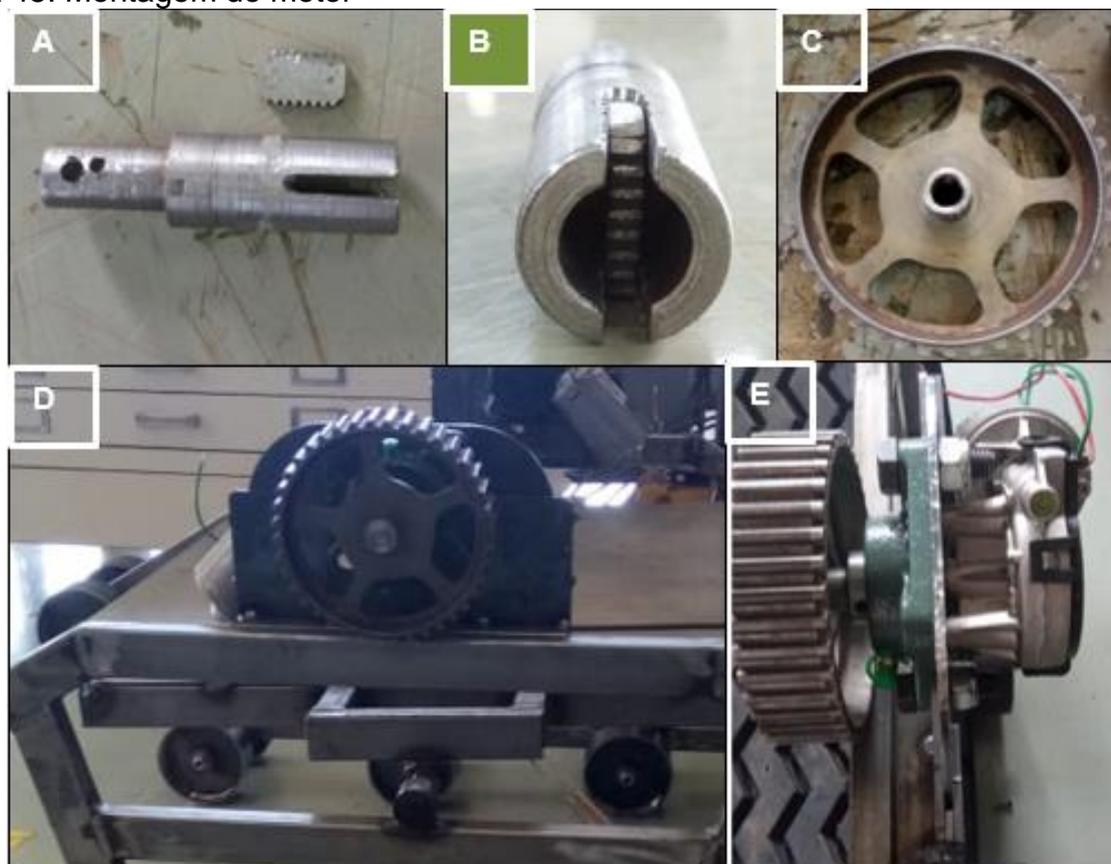
Fonte: O Autor, 2018

#### 4.3.6 Montagem do motor

Para a montagem do motor foram utilizados parafusos M6 e M12, porcas autofrenantes M12, mancal com rolamento, bem como chaves de aperto para fixar os parafusos.

Com o suporte do motor soldado, foi realizada a montagem do mancal de rolamento e do extensor do eixo do motor (figura 45 B), junto com a engrenagem de transmissão (figura 45 C), sobre a parte móvel do suporte do motor, onde foram usadas chavetas de fixação (figura 45 A) para travar o extensor do eixo com eixo do motor. Na figura 45 D é possível visualizar a vista externa do suporte com o motor, e na figura 45 E é possível visualizar a vista superior do conjunto.

Figura 45: Montagem do motor



Fonte: O Autor, 2018

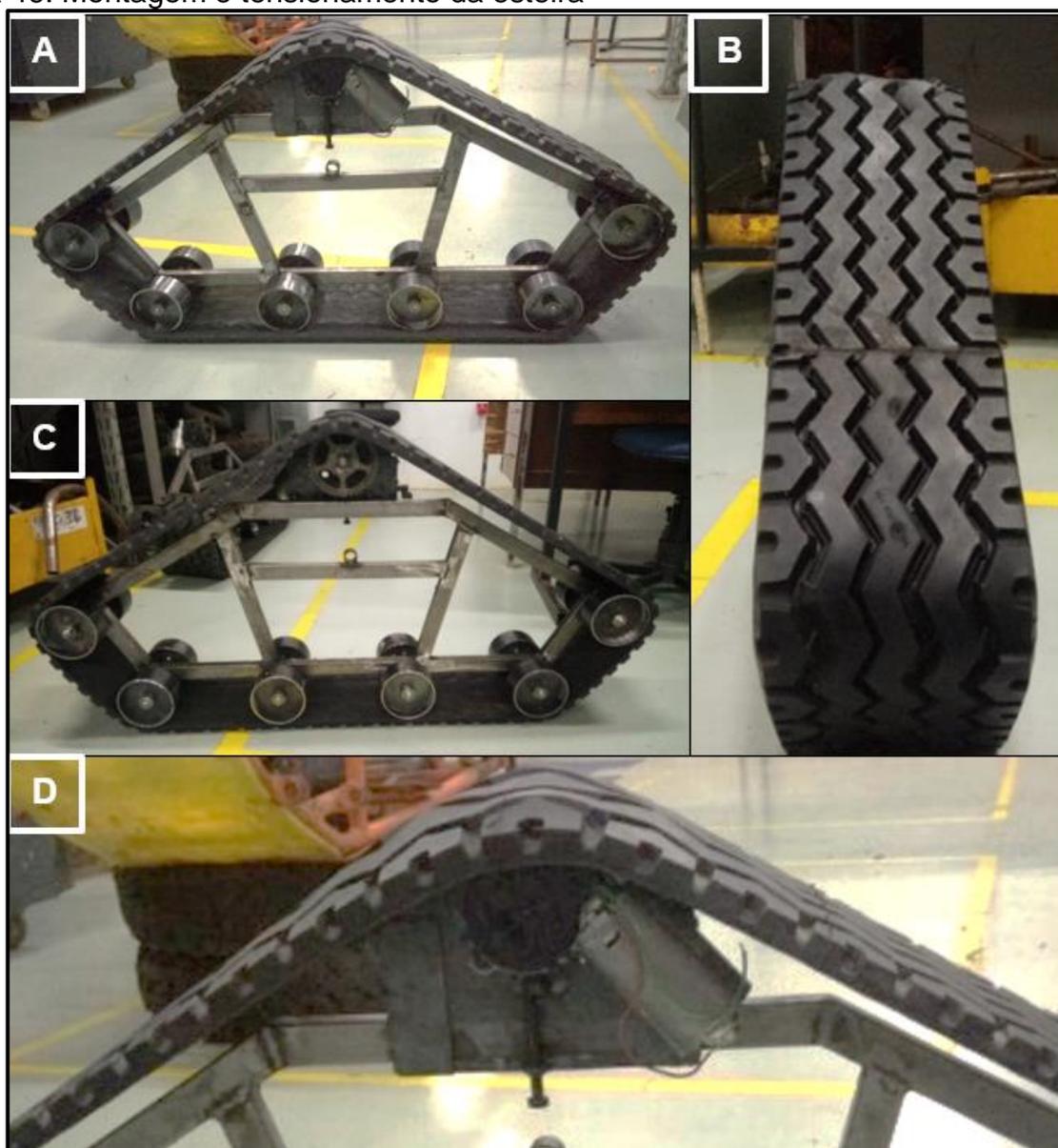
#### 4.3.7 Montagem da esteira

Para a montagem da esteira, foi necessário somente encaixá-la sobre os roletes e alinhar a parte central, sobre a engrenagem de transmissão. Com a

finalidade de facilitar a realização de esforço para encaixe da esteira de borracha sobre os roletes, foi deixada a lateral no chão e realizada pressão sobre a borracha.

Com a sapata montada sobre os roletes e o chassi, se realizou o aperto do parafuso de tensionamento da correia (Figura 46 D), localizado no conjunto do motor. Propiciando um maior tensionamento da sapata, e melhor aderência a engrenagem de transmissão sobre a borracha. Conforme figura 46.

Figura 46: Montagem e tensionamento da esteira



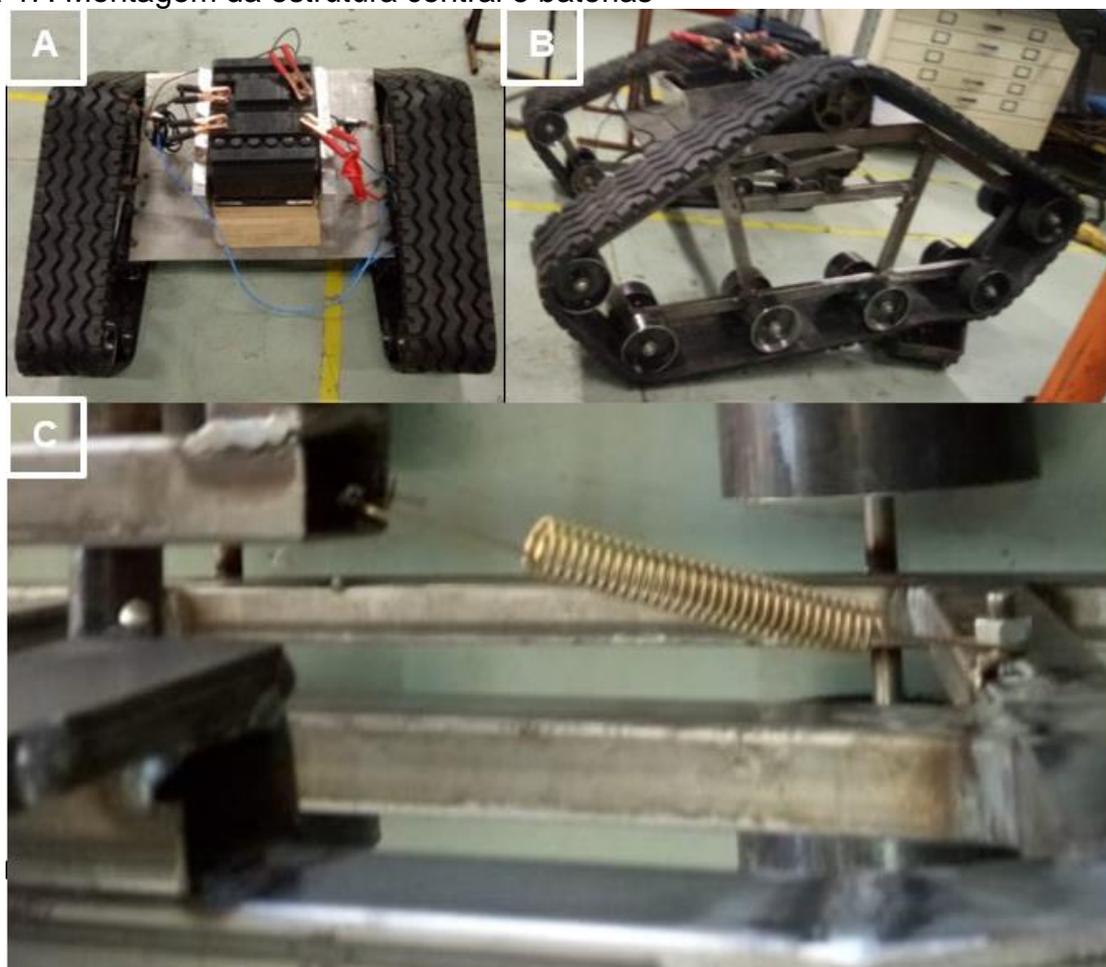
Fonte: O Autor, 2018

#### 4.3.8 Montagem da estrutura central e componentes elétricos

Foram utilizadas molas de tração, baterias e cabos, parafusos, além de interruptores, para ligar o sistema elétrico do veículo e fixar a mesa central do veículo.

Após a montagem da esteira, foi possível realizar a montagem da estrutura central do chassi, através do encaixe dos pinos e das molas tensoras, no local de pivotamento e das molas tensoras, de acordo com a figura 47 C. Com a estrutura central posicionada no local correto, foram adicionadas as baterias sobre a mesa de abertura, de acordo com a figura 47 A.

Figura 47: Montagem da estrutura central e baterias



**Fonte:** O Autor, 2018

Durante o processo de montagem da estrutura central foi realizada a ligação elétrica para os motores, onde se utilizou as duas baterias associadas em série, para atingir 24 volts de tensão. Foram utilizados dois interruptores de corrente, para ligar e desligar cada motor separadamente.

#### 4.4 TESTES DO PROTÓTIPO

Para verificar se o protótipo atendeu aos requisitos elencados neste trabalho, foi necessário a realização de alguns testes, que estão listados e descritos a seguir:

##### 4.4.1 Teste de adaptação entre diferentes culturas

Como a intenção do projeto, foi criar uma plataforma de veículo robótico para se locomover no campo entre diferentes cultivares, se adaptando a eles para não os danificar. Foi necessário realizar os testes de locomoção da plataforma robótica entre cultivares. Para isso, foi registrado, através de fotos, no trigo (figura 48 A) e após (figura 48 B) a passagem do veículo por entre as plantas, para comparar as fotos e identificar os danos causados as plantas.

Figura 48: Passagem do veículo entre as plantas

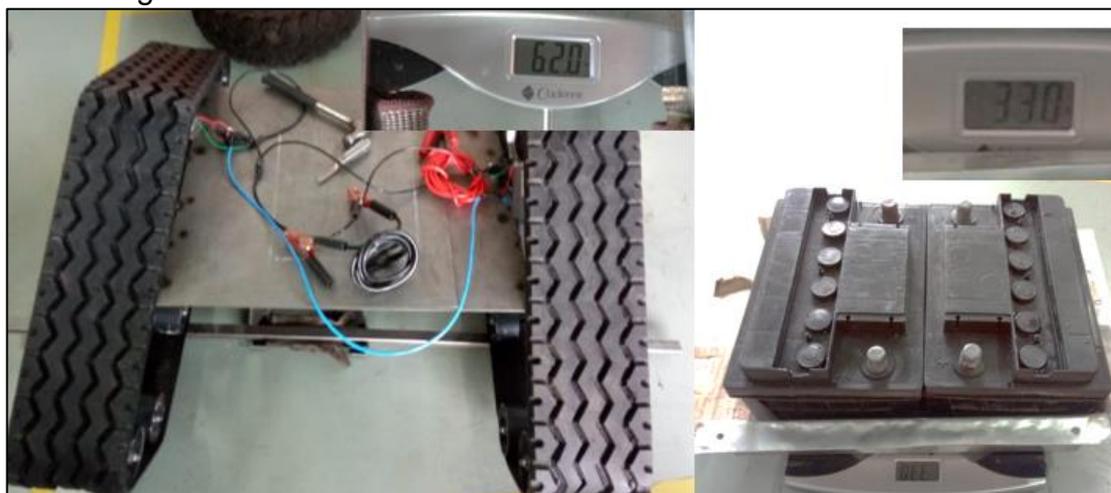


**Fonte:** O Autor, 2018

##### 4.4.2 Teste de desempenho em diferentes terrenos

Para o teste de desempenho em diferentes terrenos, foram considerados 3 tipos de terrenos: pedregoso, argiloso e seco. A partir da escolha dos terrenos, foram realizados os testes, com a variação de carga gradativa em frações de 10 kg, numa variação total de 0 kg à 30 kg. O peso do veículo mensurado foi de 62 kg e 33 kg de baterias, conforme figura 49.

Figura 49: Pesagem do veículo



**Fonte:** O Autor, 2018

Para o peso final de 30 Kg, as baterias que estavam num carro separado, foram adicionadas sobre a mesa central, uma vez que pesam 33 Kg. E na proposta do veículo, ele deveria funcionar com baterias de lítio, mais leves, que estariam fixadas no chassi lateral, não influenciando no esforço da mesa central.

Com a carga máxima de 33 kg, peso aproximado das baterias, somado com os 62 Kg de peso do veículo, o esforço exercido sobre o solo pelo veículo é de 95 kg. Como as esteiras possuem uma área de contato com o solo, que foi determinada da seguinte maneira, multiplicando-se a largura da banda de borracha, pelo comprimento da parte inferior da esteira ( $0,19m \times 0,8m \times 2 = 0,304m^2$ ), encontrando-se  $0,304m^2$  de área de contato do solo com as duas esteiras.

Com esses dados, foi determinado a pressão de compactação que o veículo exerce sobre o solo. Multiplicando-se a massa do veículo pela gravidade da terra ( $95 Kg \times 9,807 m/s^2 = 931 N$ ), encontrou-se a força peso exercida sobre o solo, a qual foi dividida pela área de contato das sapatas com o solo ( $931N / 0,304m^2 = 3062,5 N/m^2$ ), obtendo-se uma pressão de  $3062,5 N/m^2$ .

A partir dos números obtidos, foram realizados testes para observar como essa pressão exercida, se comportaria no afundamento das sapatas sobre o terreno, seco (figura 50 A), pedregoso (figura 50 B) e úmido (figura 50 C).

Figura 50: Compactação do solo



**Fonte:** O Autor, 2018

Com os dados recolhidos verificou-se um comportamento semelhante em todos os terrenos, o que permite dizer que o veículo possui uma boa adaptabilidade em diferentes terrenos em decorrência da sua esteira composta por sapatas de borracha.

#### 4.4.3 Teste de desempenho terrenos inclinados

Para o teste de desempenho em aclive, foi primeiramente realizada a medição do ângulo do aclive em terreno, com o auxílio de um nível, duas réguas de madeira e um goniômetro, conforme figura 51. Assim sendo procurou-se encontrar diferentes ângulos de inclinação no terreno, variando de  $0^\circ$  até  $45^\circ$ .

Figura 51: Medição do ângulo de inclinação



**Fonte:** O Autor, 2018

Com o ângulo de aclive medido, foi posto o veículo robótico para subir o aclive e verificou-se nesse momento, como ele se comportou, transportando diferentes cargas da mesma maneira do teste em diferentes terrenos, escalonadas de 10 em 10 kg até um total de 30 Kg, conforme o primeiro teste. O teste pode ser visualizado na figura 52

Figura 52: Teste em terreno inclinado



**Fonte:** O Autor, 2018

Para avaliar o seu desempenho, foram mensurados os tempos para superar o aclave, onde o robô demorou 10 segundos para percorrer 1 metro (figura 52 A). Também foi observado como o veículo se comportou em relação ao patinamento das esteiras, neste quesito, até pela baixa velocidade e o peso da estrutura, obteve-se uma boa aderência da esteira com o solo (figura 52 B).

Analisando os dados recolhidos, os resultados poderiam ser melhorados com a utilização de motores mais potentes.

## CONCLUSÃO

Conforme exposto nos resultados obtidos, concluída a construção do protótipo, foram realizados os primeiros testes do protótipo, como planejado no início da pesquisa.

O objetivo geral de construir um protótipo de um veículo robótico, que possa transitar entre diferentes cultivares, nos diferentes terrenos que estas estiverem cultivadas, seja em terrenos pedregosos, lamacentos, secos ou inclinados. E ainda sem danificar as plantas pelo qual ele transitou foi alcançado com êxito. Além dos objetivos específicos de elencar os requisitos do veículo, identificar o melhor tipo de esteira e as dimensões mais adequadas para o protótipo, desenhá-lo em um software CAD 3D, fabricar o protótipo e testá-lo. Que também foram todos atingidos.

Foi comprovado através de testes, que o veículo robótico pode se locomover em vários terrenos, como o terreno pedregoso, lamacento e seco, com eficiência. Seja em terrenos inclinados, ou não, pois as suas esteiras favoreceram esse deslocamento.

O deslocamento do veículo robótico por entre diferentes cultivares, sem danificá-los, foi executado com êxito. Isso graças a sua capacidade de variação da distância entre as esteiras, permitindo que as esteiras se posicionassem entre as linhas de plantio, mesmo que essas fossem diferentes de um cultivar para o outro.

Todos esses deslocamentos, foram realizados com uma carga de até 30 quilogramas, isso permitiu comprovar que o veículo poderá receber equipamentos, e transportar diferentes capacidades de carga com

O veículo robótico, com suas dimensões de 1 metro de comprimento, largura variável de 0,7 metros a 1,5 metros, e altura de 1 metro, podendo transportar cargas de até 30 quilogramas, além de sua versatilidade de circular entre diversos cultivares. Comprovou que o veículo pode ser útil para a agricultura familiar, e possui as dimensões adequadas para isso.

Em uma avaliação geral, foram elencados alguns fatores limitantes no protótipo, um deles foram as baterias, as quais foram utilizadas baterias de chumbo, onde um melhor desempenho seria alcançado usando uma bateria de Lítio, mais potente, mais leve e mais eficiente.

A velocidade do robô, foi limitada pelos seus motores a uma velocidade de 1 quilometro por hora, devido aos recursos disponíveis, foi priorizado o torque no momento da aquisição dos motores.

Para um trabalho futuro, seria proveitoso alterar o protótipo, para o mesmo poder realizar a variação da altura da parte central do chassi e controlar sua inclinação de acordo com o terreno, para mantê-la sempre plana. Também poderia ser feito com que a abertura lateral, fosse automática, controlada por sensores, realizando a variação da distância entre as esteiras de acordo com a distância entre as linhas da cultura.

## REFERÊNCIAS

- BOSCH. **Catálogo.** Disponível em: <<https://www.baudaeletronica.com.br/Documentos/CEP-F-006-WMO-310-24V-51RPM.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2018.
- CISNEROS, Luis Gimenez De; BATESTTINI, Nicolás. **Máquinas para obras.** 3. ed. – Barcelona: Editorial Blume, 1974.
- FIEDLER, Vinicius Alberto. **Protótipo de base robótica móvel para aplicação no ramo agrícola.** Disponível em: <[http://www.fahor.com.br/images/Documentos/Biblioteca/TFCs/Eng\\_Mecanica/2017/ViniciusAlbertoFiedler.pdf](http://www.fahor.com.br/images/Documentos/Biblioteca/TFCs/Eng_Mecanica/2017/ViniciusAlbertoFiedler.pdf)>. 2017
- GEODATA, **Agricultura de precisão. A Importância da Elaboração do Croqui na Agricultura de Precisão.** Disponível em: <<http://www.geodataap.com.br/a-importancia-elaboracao-do-croqui-agricultura-de-precisao/>>. Acesso em: 26 Out. 2018.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- GONZALEZ, Juan Jairo Vaca; PENA CARO, Cristhian Andrés; VACCA GONZALEZ, Harold. **Cinémática inversa de robot serial utilizando algoritmo genético baseado em MCDS.** Tecnura, Bogotá, v. 19, n. 44, p. 33-45, Abr. 2015. Disponível em: <[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-921X2015000200003&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2015000200003&lng=en&nrm=iso)>.
- GRUPOMPG. **Materiais rodantes.** Disponível em: <<https://www.grupompg.com.br/noticias/materiais-rodante/>>. 28 Mai. 2015.
- GUIA CAD. **Modelagem 3D paramétrica e Livre, entenda a diferença.** Disponível em: <<https://guiacad.com.br/blog/modelagem-3d-parametrica-e-livre-entenda-diferenca/>>. Acesso em: 15 Set. 2018.
- HACKENHAAR, Neusa Maria; HACKENHAAR, Celso; ABREU, Yolanda Vieira de. **Robótica na agricultura.** Interações (Campo Grande), Campo Grande, v. 16, n. 1, p. 119-129, Jun 2015.
- HENRIQUES NETO, Diolino et al. **Tamanho de parcelas em experimentos com trigo irrigado sob plantio direto e convencional.** Pesq. agropec. bras., Brasília, v. 39, n. 6, p. 517-524, Jun. 2004. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-204X2004000600001&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2004000600001&lng=en&nrm=iso)>.
- HERLITZIUS, Thomas. **Chair Agricultural Systems and Technology.** Disponível em: <<http://docplayer.net/32689611-Robotics-in-agriculture.html>>. Acesso em: 14 set. 2018.
- HERLITZIUS, Thomas. **Robotics in Agriculture.** Disponível em: <<http://docplayer.net/32689611-Robotics-in-agriculture.html>>. Acesso em: 14 set. 2018.

HOLTZ, Vandoir et al . **Deposição de calda de pulverização e produtividade da soja cultivada em diferentes arranjos espaciais.** Cienc. Rural, Santa Maria , v. 44, n. 8, p. 1371-1376, 2014. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782014000801371&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782014000801371&lng=en&nrm=iso)>.

IBGE. **Senso Agro 2017.** Disponível em: <[https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo\\_agro/resultadosagro/produtores.html](https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/produtores.html)>. Acesso em 09 Dez. 2018.

KUKA. **Máxima segurança de laser com o KUKA LaserSpy®.** Disponível em: <<https://www.kuka.com/pt-br/produtos-servi%C3%A7os/instala%C3%A7%C3%B5es-de-produ%C3%A7%C3%A3o/produtos-padr%C3%A3o-para-a-automa%C3%A7%C3%A3o/laserspy%C2%AE>>. Acesso em: 15 set. 2018.

LAKATOS, Eva Maria e MARCONI, Marina de Andrade. **Metodologia do Trabalho científico.** 6. ed. – São Paulo: Atlas, 2001.

OLIVEIRA, Maria Aparecida de Souza et al . **Influência do método de vulcanização nas propriedades mecânicas e na densidade de ligações cruzadas da borracha natural.** Polímeros, São Carlos , v. 26, n. spe, p. 43-48, 2016 Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-14282016000700007&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282016000700007&lng=en&nrm=iso)>.

ORIENTAL MOTORS. **Dimencionador de AGV – Automatic Guided Vehicle.** Disponível em: <<https://www.orientalmotor.com.br/dimensionador-de-motor/dimencionador-de-agv-automatic-guided-vehicle.html#QuickReport>>. Acesso em: 05 Ago 2018.

PTC, a. **Creo Topology Optimization Extension** . Disponível em: <[https://www.ptc.com/-/media/Files/PDFs/CAD/Creo-5/Creo-Topology-Optimization-Extension\\_DS.ashx](https://www.ptc.com/-/media/Files/PDFs/CAD/Creo-5/Creo-Topology-Optimization-Extension_DS.ashx)>. Acesso em: 5 Set. 2018.

PTC, b. **Tips & Tricks: Controlling Model Tree Visibility in Creo 4.0.** Disponível em: <<https://www.ptc.com/en/cad-software-blog/tnt-controlling-visibility-in-creo4>>. Acesso em: 8 Set. 2018.

PTC, c. **Simplify Large Assembly Modeling.** Disponível em: <<https://www.ptc.com/en/products/cad/3d-design/assembly-management-and-performance>>. Acesso em: 18 Set. 2018.

SOUSA, Rogério O et al. **Densidade de semeadura e espaçamento entre linhas para arroz irrigado no sistema plantio direto.** Rev. Bras. de AGROCIÊNCIA, v.1, nº 2, 69-74, Mai.-Ago., 1995. Disponível em: <<https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/CAST/article/download/121/119>>. Acesso em 9 Abr. 2018.

TESLA. **Model 3.** Disponível em: <[https://www.tesla.com/pt\\_PT/model3](https://www.tesla.com/pt_PT/model3)>. Acesso em: 15 set. 2018.

TORRES, Francisco E. et al. **Desempenho de híbridos de milho cultivados em diferentes espaçamentos na região do cerrado brasileiro.** Rev. de Ciências

Agrárias, Lisboa , v. 36, n. 4, p. 411-416, out. 2013. Disponível em: <[http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0871-018X2013000400004&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871-018X2013000400004&lng=pt&nrm=iso)>.

YAGHOUBI, Saijad; et. al. **Autonomous Robots for Agricultural Tasks and Farm Assignment and Future** Trends in Agro Robots. Publicado em 2013. Disponível em: <[http://ijens.org/Vol\\_13\\_I\\_03/134301-1303-8989-IJMME-IJENS.pdf](http://ijens.org/Vol_13_I_03/134301-1303-8989-IJMME-IJENS.pdf)>.

## APÊNDICE A - DESENHOS DETALHADOS

