

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

GUSTAVO CAPALBO DE OLIVEIRA

Projeto mecânico de uma plataforma robótica usada em culturas de soja

São Carlos  
2019



# GUSTAVO CAPALBO DE OLIVEIRA

Projeto mecânico de uma plataforma robótica usada em culturas de soja

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecatrônica, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Mecatrônico.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Becker

VERSAO CORRIGIDA

São Carlos  
2019

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,  
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS  
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da  
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

O48p Oliveira, Gustavo Capalbo de  
Projeto mecânico de uma plataforma robótica usada  
em culturas de soja / Gustavo Capalbo de Oliveira;  
orientador Marcelo Becker. São Carlos, 2019.

Monografia (Graduação em Engenharia Mecatrônica)  
-- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade  
de São Paulo, 2019.

1. Agricultura de precisão. 2. Robótica móvel.  
3. Projeto mecânico. I. Título.

## FOLHA DE AVALIAÇÃO

**Candidato:** Gustavo Capalbo de Oliveira

**Título:** Projeto mecânico de uma plataforma robótica usada em culturas de soja

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Escola de Engenharia de São Carlos da  
Universidade de São Paulo  
Curso de Engenharia Mecatrônica.

### BANCA EXAMINADORA

Professor Dr. Marcelo Becker  
(Orientador)

Nota atribuída: 9,0 (Nove)

Marcelo Becker  
(assinatura)

Professor Dr. Daniel Varela Magalhães

Nota atribuída: 9,0 (Nove)

Daniel Varela Magalhães  
(assinatura)

Mateus Valverde Gasparino

Nota atribuída: 9,0 (Nove)

Mateus V.  
(assinatura)

Média: 9,0 (Nove)

Resultado: APROVADO

Data: 19 / 06 / 2019

Este trabalho tem condições de ser hospedado no Portal Digital da Biblioteca da EESC

SIM  NÃO  Visto do orientador

Marcelo Becker  
(assinatura)



## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pelos conselhos, pelos exemplos, pelo apoio incondicional independente de minhas escolhas e por terem fornecido todo o suporte necessário para minha formação.

Ao restante da minha família, por todo o carinho, motivação e exemplos que me fortaleceram durante as etapas da vida.

Aos meus professores, em especial, meus orientadores Prof. Dr. Marcelo Becker, Prof. Dr. Daniel Varela Magalhães e Prof. Dr. Adriano Almeida Gonçalves Siqueira, por toda ajuda e conselhos que possibilitaram a realização deste trabalho e a minha formação como engenheiro.

Ao Dr. Andres Eduardo Baquero Velasquez, ao doutorando Vitor Akihiro Hisano Higuti e ao mestrandoo Mateus Valverde Gasparino e aos outros membros do Laboratório de Robótica Móvel – LabRom da Escola de Engenharia de São Carlos, pelos conselhos, ensinamentos e trabalhos em conjunto.

Aos funcionários da Escola de Engenharia de São Carlos, em especial, o técnico José Carlos Risardi, pelos ensinamentos práticos, pela paciência e pela dedicação empregada neste projeto.

A todos os meus amigos da faculdade, que sempre me acompanharam e tornaram esses anos de graduação inesquecíveis.

A todos vocês, meus sinceros agradecimentos.



## RESUMO

**OLIVEIRA, G. C. Projeto mecânico de uma plataforma robótica usada em culturas de soja.** 2019. 54 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

O presente trabalho tem por objetivo apresentar as etapas de desenvolvimento de projeto mecânico de uma plataforma robótica utilizada em culturas de soja para análises de solo *in loco*. A plataforma robótica descrita aqui é classificada como um Rover de quatro rodas, desenvolvido para uma aplicação *outdoor* e tendo por principais características de locomoção: a suspensão independente passiva, esterçamento independente e tração nos quatro conjuntos de roda. A plataforma também é fonte de outros trabalhos, como a sua automação de navegação em lavouras de soja, a transmissão dos dados coletados, bem como a coleta de dados feitas por um sistema pioneiro de análise de solo baseado em espectro luminoso, tais projetos adjacentes são desenvolvidos dentro da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC USP) e do Instituto de Física de São Carlos (IFSC USP). O desenvolvimento do presente trabalho é dado da seguinte forma: primeiramente se introduz o universo da Agricultura de Precisão, dos Rovers e das atividades que englobam tais assuntos através dos capítulos de Introdução, Objetivos e Revisão Bibliográfica. Posteriormente são expostas as metodologias de desenvolvimento da plataforma, primeiramente explicando os requisitos de projeto e exibindo os componentes mecânicos, posteriormente, expõe-se a primeira montagem da plataforma, as alterações necessárias e a montagem final. As últimas seções do presente trabalho, mostram as conclusões obtidas e as referências bibliográficas do mesmo.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão. Robótica Móvel. Projeto Mecânico.



## ABSTRACT

OLIVEIRA, G. C. **Mechanical project of a robotic platform used in soybean crops.** 2019. 54 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

The present work aims to present the development of mechanical design and dynamic simulation of a robotic platform used in soybean cultures for local soil analysis. The robotic platform described here is classified as a four-wheeled Rover, developed for an outdoor application and having the following main characteristics of locomotion: passive independent suspension, independent steerage and traction in the four wheel assemblies. The platform is also the source of other works, such as its navigation automation in soybean fields, the transmission of collected data, as well as the collection of data made by a pioneering system of soil analysis based on light spectrum, such adjacent projects are developed within the School of Engineering of São Carlos (EESC USP) and the Institute of Physics of São Carlos (IFSC USP). The development of the present work is given as follows: first, the universe of Precision Agriculture, the Rovers and the activities that encompass these subjects are introduced through the Introduction, Objectives and Bibliographic Review chapters. Subsequently, the platform development methodologies are explained, firstly explaining the design requirements and exhibiting the mechanical components, after which the first assembly of the platform, the necessary alterations and the final assembly are exposed. The last sections of the present work show the conclusions obtained and the bibliographical references of the same.

Keywords: Precision Agriculture. Mobile Robot. Mechanical Project.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Lunokhod I enviado à Lua pelos russos.....	21
Figura 2 – Rover americano Lunar Roving Vehicle.....	22
Figura 3 – Lunokhod II.....	22
Figura 4 – Spirit MER-A e Opportunity MER-B.....	23
Figura 5 – Plataforma robótica para detecção de ervas daninhas.....	24
Figura 6 – Agribot em demonstração em São Carlos.....	25
Figura 7 – CAD 3D do Helvis 3.....	26
Figura 8 – Representação do cenário de trabalho do Helvis 3.....	26
Figura 9 – Plataforma R2A.....	27
Figura 10 – Configuração em que o robô navega entre duas fileiras de plantas.....	29
Figura 11 – Configuração em que o robô navega entre três fileiras de plantas.....	29
Figura 12 – Configuração em que o robô navega entre quatro fileiras de plantas.....	30
Figura 13 – Perfil comercial de alumínio.....	34
Figura 14 – Vista isométrica do quadro.....	35
Figura 15 – Vista lateral do Rover destacando o sistema de suspensão.....	36
Figura 16 – Vista isométrica da traseira do Rover.....	36
Figura 17 – Vista em corte do sistema de esterçamento.....	39
Figura 18 – Vista isométrica parcial do conjunto de propulsão.....	40
Figura 19 – Exemplo de correia sincronizadora.....	41
Figura 20 – Exemplo de roda semelhante à usada no projeto.....	42
Figura 21 – Vista em corte do sistema de propulsão montado.....	45
Figura 22 – Peças usinadas.....	46
Figura 23 – Peças usinadas e componentes eletrônicos.....	47
Figura 24 – Vistas frontais da montagem no CAD e montagem real.....	48
Figura 25 – Vistas traseiras da montagem no CAD e montagem real.....	48
Figura 26 – Rover montado com as novas alterações no sistema de suspensão passiva.....	50
Figura 27 – Montagem final do Rover.....	51



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais características de culturas de soja no Brasil.....	28
Tabela 2 – Possibilidades de dimensões da plataforma.....	30
Tabela 3 – Porcentagem de fecho entre fileiras para 0,4 m de espaçamento entre fileiras....	31
Tabela 4 – Porcentagem de fecho entre fileiras para 0,5 m de espaçamento entre fileiras....	31
Tabela 5 – Classificação do potencial de mecanização de lavouras.....	33
Tabela 6 – Especificações do Motor elétrico EC 90 Flat da Maxon.....	37
Tabela 7 – Especificações do Redutor GP 52C da Maxon.....	38
Tabela 8 – Especificações do Encoder MILE 512 da Maxon.....	38



## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	19
2 OBJETIVOS.....	20
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
3.1 Rovers.....	21
3.2 Rovers agrícolas.....	23
3.3 Rovers agrícolas no Brasil.....	24
4 DESENVOLVIMENTO.....	28
4.1 Requisitos de projeto.....	28
4.1.1 Requisitos estáticos.....	28
4.1.2 Requisitos dinâmicos.....	33
4.2 Descrição da plataforma robótica.....	34
4.2.1 Quadro.....	34
4.2.2 Suspensão.....	35
4.2.3 Sistema de esterçamento.....	37
4.2.4 Sistema de propulsão.....	39
4.2.5 Usinagem de peças e montagem.....	45
4.3 Resultados e alterações.....	49
4.3.1 Testes e Resultados parciais.....	49
4.3.2 Alterações propostas.....	49
4.3.3 Montagem final.....	50
5 CONCLUSÕES.....	52
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53



## 1 INTRODUÇÃO

Segundo prognósticos da FAO (Food Agriculture Organization of United Nations), tomando como base os índices de produção de 2009, para o ano 2050 será preciso incrementar em média 70% a produção agrícola com o intuito de alimentar a população crescente. Tal exigência leva o setor agroindustrial a buscar maior produtividade e eficiência, visando em conjunto à redução de custos. Nesse cenário, o monitoramento minimamente invasivo se destaca como uma das principais estratégias, para a melhora do rendimento da produção de alimentos agrícolas por área (sejam grãos, frutas, etc.). Em culturas de grãos como soja, milho, algodão a dificuldade do monitoramento das plantações se dá pela extensão das propriedades, desta forma as pragas só conseguem ser percebidas depois de espalhadas por uma área considerável. Visando um melhor monitoramento das plantações, podem ser usados robôs que consigam se locomover de forma eficiente em terrenos irregulares e façam a coleta de amostras (sejam elas amostras de solo, folhas, etc.).

Um dos grandes desafios atuais da agricultura de precisão é que pragas e déficit de nutrientes no solo sejam identificados antes desses causarem considerável dano aos cultivos. O setor agrícola sofre com diagnóstico tardio de tais não conformidades devido às amplas extensões de cultivos e aos métodos atualmente utilizados para análise de solo, que requerem retiradas de amostras do campo para laboratórios de análises. As técnicas atuais de análise de solo são demoradas, custosas e muitas vezes insuficientes para a grande extensão cultivada.

Nesse cenário, o uso de Rovers, que possuem navegação autônoma, além de um conjunto de tecnologias embarcadas nele, as quais permitem uma localização com precisão, coleta de dados em campo, a locomoção com prevenção de obstáculos e até a construção de mapas caracterizando a plantação, se apresenta com uma boa solução.

O presente trabalho é parte do projeto Mirã 2.0, desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), pesquisadores do grupo de Agricultura de Precisão da EESC USP e pesquisadores de ótica do IFSC USP. O projeto Mirã 2.0 propõe uma solução para a deficiência das análises de solo através de um sistema ótico capaz de realizar análises de solo via espectro luminoso embarcado em um Rover agrícola, projetado para atuar em terrenos acidentados em culturas como soja e milho.

## 2 OBJETIVOS

Este projeto visa o desenho técnico, modelagem e testes dos componentes mecânicos presentes no Rover Mirã 2.0. Os componentes serão desenvolvidos e desenhados através do software de desenho técnico mecânico SolidWorks 2017 da Dassault Systèmes S.A.

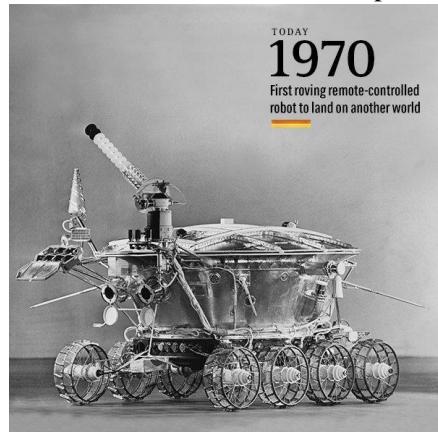
Os objetivos são projetar os componentes mecânicos, dimensionar componentes de fixação, transmissão de movimento e propulsão, realizar testes do conjunto e propor alterações necessárias da plataforma robótica.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Rovers

O termo Rover é utilizado para referir-se a robôs utilizados na exploração de terrenos de planetas e satélites. O registro do primeiro Rover é de 1969, utilizado em uma missão russa o primeiro deles Roving Remote Controlled Robot foi enviado à Lua, porém a missão fracassou na decolagem. Em 1970, os soviéticos conseguiram enviar o Lunokhod I (Figura 1), o qual aterrissou na Lua em novembro de 1970, após eles, a NASA iniciou o envio destes robôs e incluiu o Lunar Roving Vehicles (Figura 2) nas missões Apollo 15, 16 e 17 em julho de 1971, abril de 1972 e dezembro de 1972, respectivamente. Em 1973 a união soviética enviou o Lunokhod II (Figura 3) que operou aproximadamente quatro meses, tendo percorrido por volta de 37 km e enviado cerca de 80.000 imagens para a TV. No ano de 1977, a união soviética planejava o envio do Lunokhod 3, mas a missão foi cancelada. (MOREIRA; ARCHILA; BECKER, 2014).

Figura 1 – Lunokhod I enviado à Lua pelos russos.



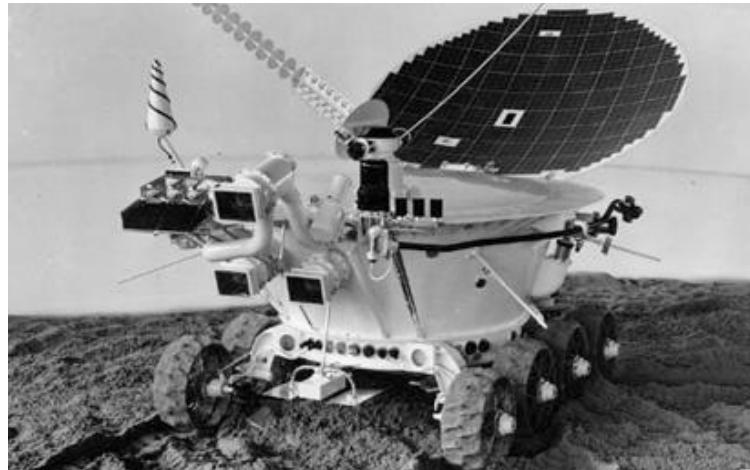
Fonte: <https://www.scoopnest.com/user/HISTORYTV18/799167713545371648-on-thisdayinhistory-lunokhod-1-became-the-first-roving-remote-controlled-robot-to-land-on-the-moon>

Figura 2 – Rover americano Lunar Roving Vehicle.



Fonte: [https://en.wikipedia.org/wiki/Lunar\\_Roving\\_Vehicle#/media/File:Moon\\_Buggy\\_Ap16-KSC-71PC-777.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Lunar_Roving_Vehicle#/media/File:Moon_Buggy_Ap16-KSC-71PC-777.jpg)

Figura 3 – Lunokhod II.



Fonte: <https://timevisions.com/lunokhod-2/>

Após a bem-sucedida exploração da Lua feita pelos Rovers, o novo destino passou a ser o Planeta Marte, muito mais distante, muito maior e muito menos explorado. Após mais alguns envios feitos por Rússia e Estados Unidos como as missões Marsokhod, Mars-3, PROP-M, Viking 1 e 2, Pathfinder e a Mars Exploration Rover Mission – MER que levou os gêmeos Spirit MER-A e Opportunity MER-B (Figura 4) os quais enviaram do planeta vermelho dados de 2004 até 2010.

Em 26 de novembro de 2011, o Rover Curiosity, integrante da missão Mars Science Laboratory, programado com um módulo autônomo, testado em 2010, e sensores para determinar se Marte poderia apresentar condições para permitir o desenvolvimento de seres vivos por meio da coleta de dados de solo e atmosfera do planeta vermelho.

Figura 4 – Spirit MER-A e Opportunity MER-B.



Fonte: <http://www.spacesquarterly.com/blog/the-age-of-exploration-robots-in-space>

### 3.2. Rovers agrícolas

De acordo com Bechar e Vigneault (2016) há um grande número de publicações, nas três últimas décadas, sobre o uso de robôs total ou parcialmente autônomos na agricultura de precisão. A maioria dessas publicações trata da implantação de sistemas de orientação e navegação para esses robôs. Além disso, o maior número de publicações, na categoria de culturas, é focado em robôs desenvolvidos para flores e plantações de maçã. E o maior número de publicações, na categoria de tarefa agrícola, é sobre robôs usados em proteção de plantas e controle de ervas daninhas. (VELASQUEZ, 2016).

Como essa plataforma robótica será um veículo 4x4 (veículo de tração nas quatro rodas), alguns exemplos desse tipo de plataformas robóticas, desenvolvidas em todo o mundo e no Brasil, são mostradas neste estado da arte.

O primeiro (Figura 5) foi desenvolvido por pesquisadores do Danish Institute of Agricultural Science em 2001 por Bak e Jakobsen. Esta plataforma é um veículo 4x4 usado para detecção de ervas daninhas. Tem quatro módulos de roda idênticos para o sistema de acionamento. Cada um inclui um motor *bushless* elétrico, amplificador e microcontrolador.

Figura 5 – Plataforma robótica para detecção de ervas daninhas.



Fonte: VELASQUEZ, 2016

O segundo exemplo é chamado BoniRob (Figura 6). Este robô é um robô comercial 4x4 desenvolvido na Alemanha em 2012. O BoniRob é uma plataforma multiuso para tarefas agrícolas. Suas dimensões são 1,5 x 1,5 x 0,8m (largura, comprimento e altura), mas sua largura pode ser adaptada de 0,7m a 2,0m. Além disso, sua folga do chassi pode ser adaptada de 0,4 a 0,8 m. (BIBER et al., 2012) Seu peso pode oscilar entre 800 a 1000kg e sua velocidade é de 13 km / h. Seu sistema de direção é baseado no modelo Ackerman para veículos 4WS e possui quatro motores de 100W para seu sistema de acionamento. Para seu sistema de direção, o robô possui quatro motores de 100W também. (TORGERSEN, 2014).

### 3.3. Rovers agrícolas no Brasil

Agora, se falando do cenário brasileiro, é possível encontrar projetos de plataformas móveis voltadas para o ambiente rural. Comparando o número de trabalhos desenvolvidos para a melhoria da produção de grãos com a representatividade do setor agrícola na economia brasileira é possível se dizer que, pela importância do setor, é necessário aumentar os recursos da pesquisa acadêmica em robótica agrícola. A Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) se destaca na quantidade de projetos e de investimentos voltados na otimização de plantações em latifúndios como a soja, a cana-de-açúcar, o milho, a laranja, etc.

As duas últimas plataformas robóticas a serem citadas foram idealizadas e desenvolvidas no Brasil e têm como o objetivo suprir as necessidades da agricultura brasileira.

Ambos projetos também foram desenvolvidos dentro da Escola de Engenharia de São Carlos – USP, apoiados e financiados pela Embrapa.

O primeiro Rover brasileiro é o Agribot (Figura 6), que apesar de também ser uma plataforma 4x4, tem uma proposta diferente de propulsão, ele conta com 4 motores a combustão interna da fabricante Cummins, já o sistema de esterçamento é hidráulico com força motriz a partir de motores elétricos. Sua estrutura foi projetada pensando na versatilidade de poder operar em culturas com diferentes espaçamentos entre carreiras de mudas adjacentes, para isso ele conta uma largura ajustável de 2,25 a 4,40 m, além de ter 3 m de distância entre eixos e 1,80 m de distância do solo. Sua aplicação é detectar doenças em plantas, estresse hídrico, encontrar pragas, além de fazer um mapa de toda a lavoura, segundo a própria Embrapa.

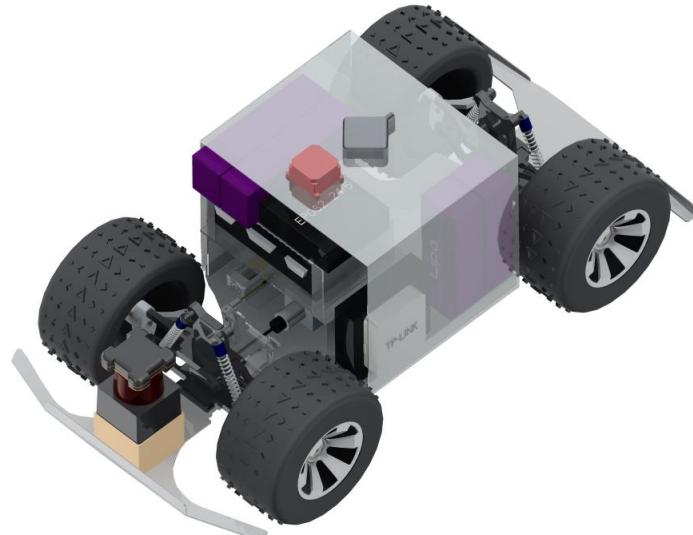
Figura 6 – Agribot em demonstração em São Carlos.



Fonte: <https://www.ecobrasilia.com.br/2014/11/26/robos-drones-e-novos-software-automatizam-a-lavoura/>

A segunda plataforma também foi desenvolvida dentro da Escola de Engenharia de São Carlos em parceira com a Embrapa e trata-se do projeto Helvis 3 (Figura 7). O Helvis 3 corresponde a um protótipo de robô móvel de pequeno porte, semelhante a um carro, construído com o objetivo de abordar pesquisas sobre a navegação móvel por robô no campo agrícola. A direção e a tração das duas rodas dianteiras partem de dois motores elétricos Maxon. Ele também possui sensores embutidos para perceber o ambiente próximo e a orientação atual. (HIGUTI; VELASQUEZ; GUERRERO, 2016).

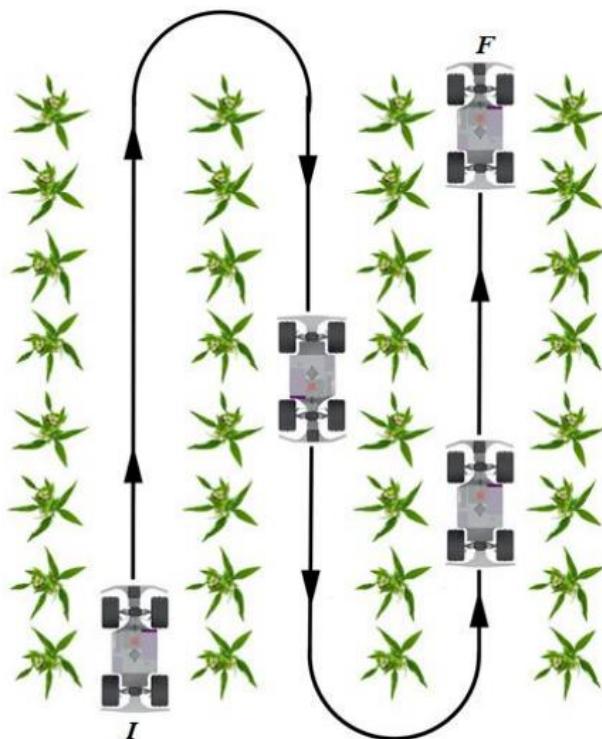
Figura 7 – CAD 3D do Helvis 3.



Fonte: HIGUTI; VELASQUEZ; GUERRERO, 2016

Como exposto, a plataforma Helvis 3 é um projeto de um rover de pequeno porte que tem por objetivo transitar entre as culturas através dos espaçamentos e usando o sistema de percepção para desviar das plantas. Desta forma, o protótipo deve realizar o percussor desde o ponto de início (**I**) até o ponto de parada (**F**), controlando o seu deslocamento nos respectivos caminhos entre os espaçamentos. (GUERRERO, 2016).

Figura 8 – Representação do cenário de trabalho do Helvis 3.



Fonte: GUERRERO, 2016

Se tratando de Rovers agrícolas de dimensões maiores desenvolvidos no Brasil e que transitam dentro de plantações utilizando mais de um espaçamento, podemos citar o projeto R2A também desenvolvido dentro da Escola de Engenharia de São Carlos e tinha como principais objetivos o estudo cinemático do deslocamento em terrenos acidentados e também a experimentação de sistemas de controle para ambientes *outdoor*, como é o exemplo de uma cultura de soja ou milho.

Figura 9 – Plataforma R2A



Fonte: ARCHILA-DIAZ, 2016

## 4 DESENVOLVIMENTO

### 4.1. Requisitos de projeto

#### 4.1.1. Requisitos estáticos

A Plataforma robótica é um veículo 4x4 com suspensão passiva, desenvolvido pelo LabRoM e pela EMBRAPA, as suas dimensões são baseadas nas características principais (espaçamento de fileiras, espaço entre plantas da mesma linha de cultura e altura das plantas) de culturas de soja no Brasil. A Tabela 1 mostra os valores normalizados para cada característica de culturas de soja no Brasil. (Ritchie, *et al.*, 1998; Farias, *et al.*, 2007; EMBRAPA Soja, 2010).

Tabela 1 - Principais características de culturas de soja no Brasil

Características	Dimensões(m)
Espaçamento entre fileiras	0,4 ou 0,45 ou 0,5
Espaçamento entre plantas na mesma fileira	0,05 - 1
Altura	0 – 1,2

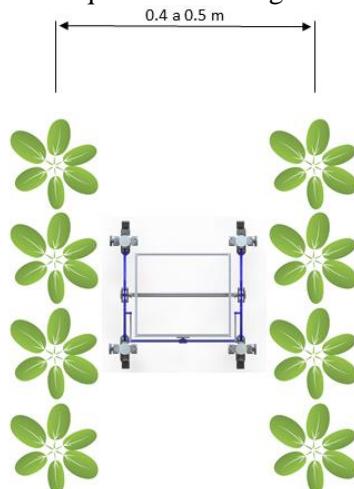
Fonte: HIGUTI; VELASQUEZ; GASPARINO, 2017.

Três situações foram analisadas para escolher a largura do robô. A primeira alternativa é a plataforma navegar entre duas fileiras e plantas, esta alternativa limitaria a largura do robô entre 0,4 a 0,5 m, como mostrado na Figura 10, e acredita-se que essa dimensão não é suficiente para abrigar os componentes embarcados.

A segunda alternativa é o robô navegar usando três fileiras adjacentes, sendo que suas rodas esquerdas ficasse entre a primeira e a segunda fileira e suas rodas direitas ficasse entre a segunda e a terceira fileira, de forma que o corpo da plataforma ficasse sobre a segunda fileira, como mostrado na Figura 11, está alternativa não é válida por que a proposta do projeto é fazer análises de solo e desta forma as mudas da segunda fileira estariam ocupando a região entre os equipamentos embarcados e o solo, está região precisa estar livre para se usar o sistema *Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS)*. Este sistema é embarcado no robô para monitorar as características do solo da cultura e está sendo desenvolvido por pesquisadores da EMBRAPA e da USP (Larenas, *et al.*, 2016).

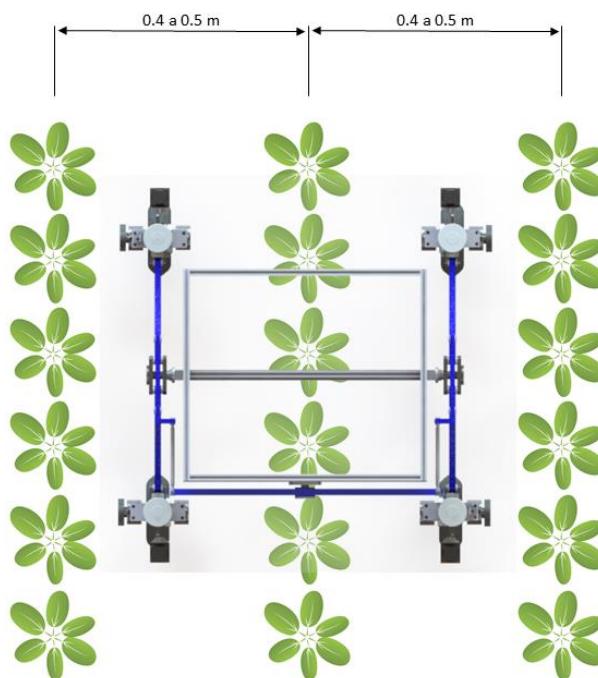
A última alternativa é que a plataforma navegar entre quadro fileiras de cultura consecutivas, como mostrado na Figura 12, as rodas da esquerda entre a primeira e segunda fileira, enquanto as rodas da direita navegam entre a terceira e quarta fileira, desta forma o corpo da plataforma navega entre a segunda e a terceira fileira. Nesta última configuração é possível ter acesso ao solo entre a segunda e a terceira fileira para a realização das análises de solo e também se adquire um espaço considerável para embarcar os componentes da plataforma.

Figura 10 – Configuração em que o robô navega entre duas fileiras de plantas



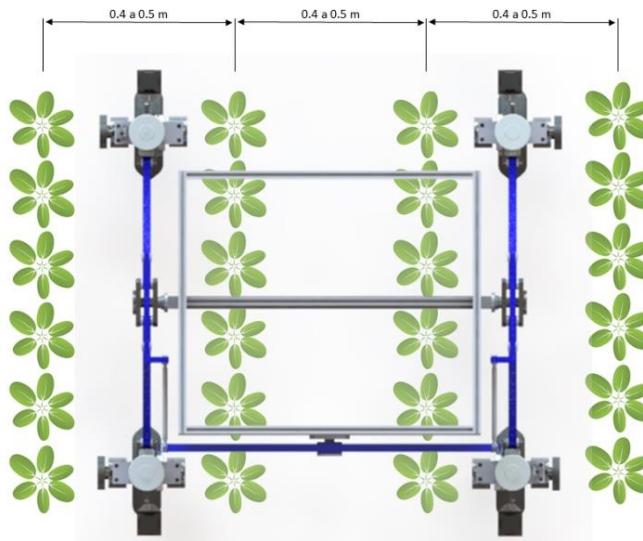
Fonte: próprio autor

Figura 11 – Configuração em que o robô navega entre três fileiras de plantas



Fonte: próprio autor

Figura 12 - Configuração em que o robô navega entre quatro fileiras de plantas



Fonte: próprio autor

Tendo em mente as dimensões limites de altura e largura da plataforma é possível mensurar as medidas da plataforma e definir o espaço máximo para a navegação das rodas. As possibilidades de dimensões estão expostas na Tabela 2.

Tabela 2 - Possibilidades de dimensões da plataforma

Largura da plataforma (m)	Espaçamento entre fileiras (m)	Espaço máximo para navegação (m)
1	0,45	0,17
	0,4	0,1
0,9	0,5	0,2
	0,4	0,15
0,8	0,5	0,15
	0,45	0,17

Fonte: HIGUTI; VELASQUEZ; GASPARINO, 2017.

Como pode ser observado na Tabela 2, o valor de largura da plataforma que tem mais espaço para a navegação das rodas é de 0,9m. Por esta razão, este valor será a largura do robô. Para definir a altura do robô é necessário definir durante quais fases de crescimento da cultura

a plataforma atuará. De acordo com Heiffig, *et al.* (2016), a porcentagem de fecho entre as fileiras de culturas de soja com espaçamentos de 0,4 e 0,5 m muda de acordo com a fase de crescimento da planta. A Tabela 3 expõe a relação entre a porcentagem de fecho entre fileiras e os estágios de crescimento para 0,4 m de espaçamentos entre fileiras e a Tabela 4 explora a mesma relação para culturas com 0,5 m de espaçamento entre fileiras.

Tabela 3 - Porcentagem de fecho entre fileiras para 0,4 m de espaçamento entre fileiras.

Estágio de crescimento	Porcentagem de fecho
V7	65,3%
R1	82,1%
R2	89%
R3	96,9%
R5	99,2%
R6	100%

Fonte: HEIFFIG, *et al.*, 2016

Tabela 4 - Porcentagem de fecho entre fileiras para 0,5 m de espaçamento entre fileiras.

Estágio de crescimento	Porcentagem de fecho
V7	55,9%
R1	76,4%
R2	87,9%
R3	93,6%
R5	96,1%
R6	99,7%

Fonte: HEIFFIG, *et al.*, 2016.

De acordo com Mundstock e Thomas (2005), o processo de crescimento de plantas de soja é dividido em estágio vegetativo e estágio reprodutivo. As fases vegetativas estão marcadas com “V” e os estágios reprodutivos com “R” (Farias, *et al.*, 2007). As fases vegetativas descrevem o desenvolvimento da muda de semente até o período de floração. As duas fases vegetativas iniciais são: Fase de emergência denominado VE e a fase de cotilédones denominada VC, que representam a fase de surgimento dos cotilédones e fase de expansão e abertura dos cotilédones (Farias, *et al.*, 2007). A partir de VC, as subdivisões dos estágios vegetativos são numeradas sequencialmente (V1, V2, V3, V4, V5, V6, ...Vn, onde n indica o número de nós com folhas completamente desenvolvidas).

Os estágios reprodutivos são os estágios de desenvolvimento da muda de soja a partir da floração. Eles abrangem quatro conjuntos de fases diferentes de desenvolvimento reprodutivo: a floração (R1 e R2), desenvolvimento da vagem (R3 e R4), o desenvolvimento de grãos (R5 e R6) e maturação da planta (R7 e R8).

De acordo com as Tabelas 3 e 4, o robô pode navegar nas culturas de soja em fases de crescimento a partir de VC a R1 devido às menores porcentagens de fecho das ruas entre fileiras. Para estes estádios de crescimento, a altura das plantas varia entre 0 e 0,46m (Ritchie, 1998; Farias, *et al.*, 2007). A partir disso, sabe-se que altura da plataforma deve ser maior que 0,46 m, então escolhe-se uma altura arbitrária de 0,60 m (do solo até a parte mais baixa do corpo da plataforma). O comprimento da plataforma é escolhido de forma que se obtenha uma plataforma quadrada, então tem-se o comprimento igual à largura.

Em suma, definiu-se as seguintes medidas:

- Largura: 0,90 m
- Comprimento: 0,90 m
- Altura do solo: 0,60 m

Tendo já definidas medidas geométricas da plataforma robótica é possível estipular a massa da plataforma, a massa máxima a ser embarcada e as especificações dos componentes de propulsão como motores, redutores e transmissões. Baseado na observação de outras plataformas robóticas e estipulando a massa do Rover Mirã 2.0 foi proposta uma massa de 120 a 130 kg. Tendo um valor de massa, mesmo que estipulado, é possível desenvolver o sistema de propulsão buscando por componentes comerciais como motores, redutores, engrenagens, polias etc.

#### 4.1.2. Requisitos dinâmicos

Já definidos os requisitos estáticos da plataforma como dimensões geométricas e massa é necessário expor quais serão os requisitos dinâmicos, ou seja, quais serão as necessidades da plataforma ao se movimentar no cenário para o qual ela vem sendo desenvolvida.

Por se tratar de um veículo autônomo que transitará em culturas de soja e outras plantações é importante entender as características do terreno. Primeiramente é possível dizer que os solos em lavouras são acidentados, irregulares e podem ter aclives e declives.

Os obstáculos encontrados em terrenos acidentados são buracos, ondulações, pequenos vales e depressões, pedras e objetos. Terrenos irregulares são caracterizados por variações na dureza do solo, na composição do solo, densidade e atrito entre solo e pneu.

Para enfrentar terrenos acidentados e irregulares é necessário desenvolver sistemas de propulsão individuais e suspensões independentes, as quais possam solucionar problemas como desnível entre rodas, escorregamento, perda de contato com o solo e baixo atrito.

Aclives e declives em lavouras são importantes para a mecanização do plantio e são classificados pela porcentagem de declividade e o potencial de mecanização, por mecanização entende-se o uso de veículos, máquinas e implementos agrícolas. Tal classificação está exposta na Tabela 5.

Tabela 5 – Classificação do potencial de mecanização de lavouras segundo a declividade do solo.

Declividade (%)	Potencial de mecanização
0 a 5	Apta
5,1 a 10	Muito apta
10,1 – 15	Apta
15,1 a 20	Moderadamente apta
>20	Não recomendada

Fonte: HÖFIG; ARAUJO-JUNIOR, 2015.

Tendo em vista que culturas de soja no Brasil são altamente mecanizadas é possível dizer que a plataforma robótica a ser desenvolvida irá transitar apenas em terrenos que possuem

declividades aptas à mecanização, sendo assim, pode-se definir que a declividade máxima a ser enfrentada é de 15%, o que representa um ângulo entre o solo e a horizontal de 8,53°.

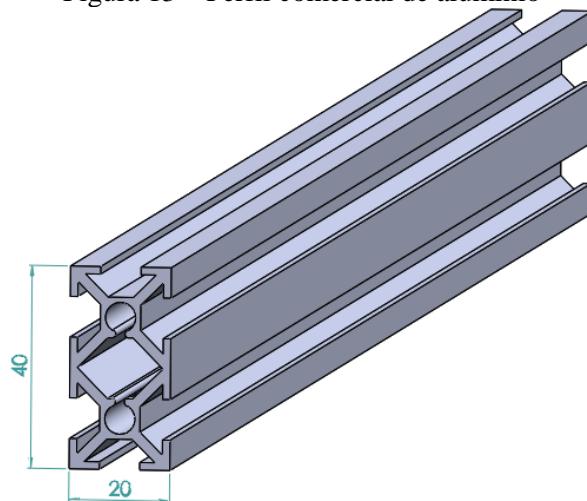
## 4.2. Descrição da plataforma robótica

Nessa seção, serão descritas todas as partes e peças que compõem a plataforma robótica, bem como as soluções propostas para atender aos requisitos de projeto mostrados na seção 4.1.

### 4.2.1. Quadro

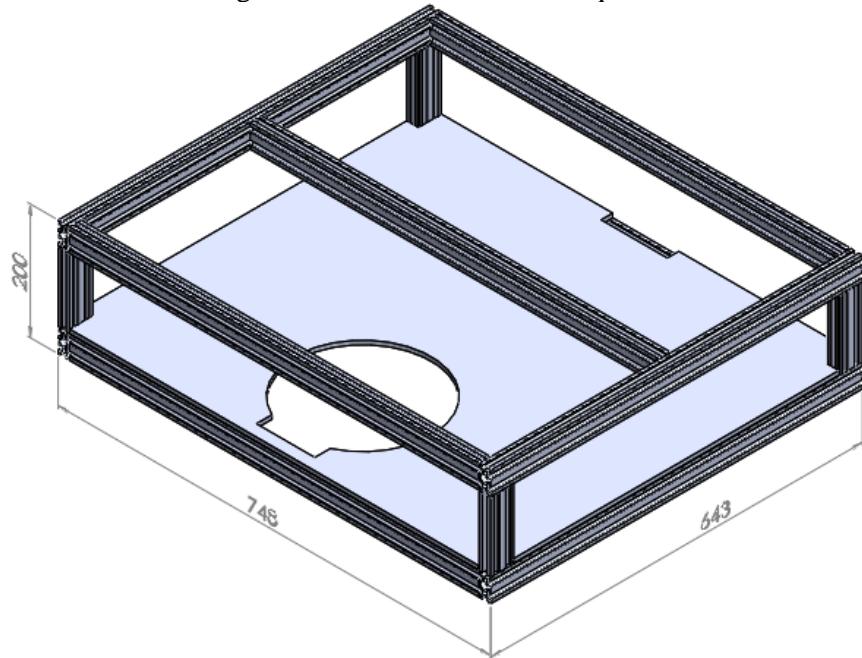
O quadro é a parte superior do Rover, construído estruturalmente por perfis comerciais de alumínio nas dimensões 40x20mm, Figura 13, e chapas de alumínio de 7mm de espessura, é responsável pela delimitação do envelope de componentes embarcados e pela sustentação de todos eles. Também tem a função de ser de apoio para as barras de suspensão que fazem a compensação de movimento em terrenos acidentados. O desenho CAD do quadro está exposto em vista isométrica na Figura 14.

Figura 13 – Perfil comercial de alumínio



Fonte: próprio autor

Figura 14 – Vista isométrica do quadro



Fonte: próprio autor

Na configuração mostrada na Figura 14, o quadro possui um envelope de  $0,061\text{ m}^3$ , tal envelope é destinado à instalação de componentes embarcados que farão o controle do Rover, componentes do sistema de aquisição de dados e telemetria para comunicação remota. Devido à praticidade em se trabalhar com os perfis de alumínio escolhidos, é possível modificar o envelope disponível para componentes embarcados caso exista necessidade futura.

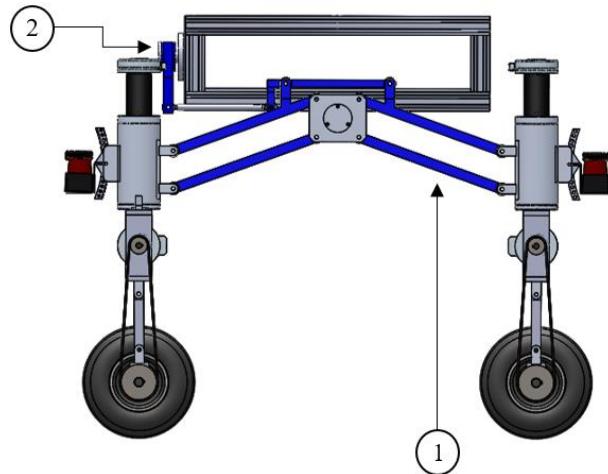
O fundo do quadro é revestido por uma chapa de alumínio de 7mm usada para a fixação dos componentes embarcados, ela possui um furo circular por onde futuramente será instalado o telescópio que reflete o raio laser emitido por um emissor, também a ser embarcado, para o solo. Assim como toda a estrutura do quadro, a chapa de alumínio pode sofrer modificações futuras afim de atender a requisitos de fixação dos componentes embarcados.

#### 4.2.2. Suspensão

O próximo conjunto a ser analisado é a suspensão, responsável por possibilitar a mobilidade do Rover em terrenos acidentados ou com desníveis acentuados entre as rodas, através da independência das rodas. A principal característica da suspensão projetada é a passividade, ou seja, não são necessários atuadores para a suspensão agir, tal característica diminui a necessidade energética da plataforma robótica.

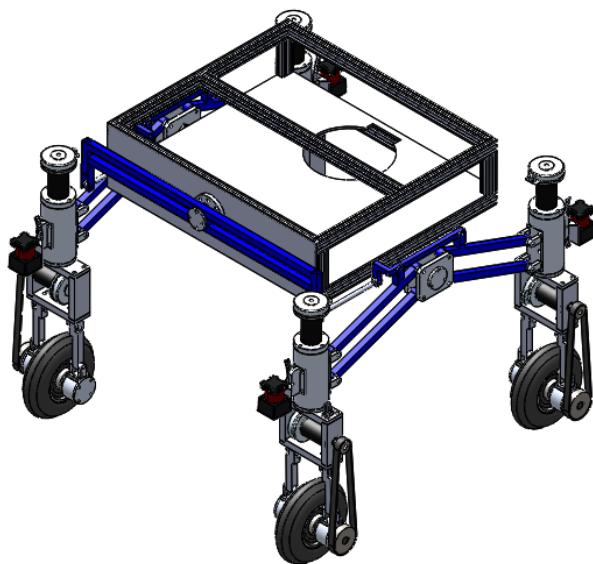
A suspensão é composta por dois mecanismos de quatro barras, cada um deles fixado a um par de rodas, ligados por uma barra pivô que transmite movimentos causados por desniveis do solo. Além da transmissão entre os mecanismos de suspensão, o mecanismo de quatro barras permite que as rodas de mesmo lado enfrentem desniveis do solo sem alterar a posição horizontal do quadro. O sistema de suspensão está ilustrado nas Figuras 15, sendo 1 – Mecanismo de quatro barras; 2 – Barra pivô e na Figura 16.

Figura 15 – Vista lateral do Rover destacando o sistema de suspensão



Fonte: próprio autor

Figura 16 – Vista isométrica da traseira do Rover



Fonte: próprio autor

#### 4.2.3. Sistema de esterçamento

O próximo conjunto a ser apresentado é o sistema de esterçamento independente de cada conjunto de roda que permite que cada roda tenha alcance de rotação de -90° a +90° sem vínculos entre elas.

Os quatro sistemas de esterçamento são idênticos e compostos por um conjunto de motor elétrico *brushless* modelo EC 90 Flat do fabricante Maxon (Maxon part number: 429271) com encoder MILE (Maxon part number: 453234) e um redutor GP 52C (Maxon part number: 223086). As especificações dos motores, redutores e encoders são mostradas nas tabelas 6, 7 e 8 respectivamente. O eixo de saída do redutor é acoplado a um eixo de aço SAE 1045, o qual é apoiado em dois rolamentos de simples carreira de esferas de contato angular modelo 7206 BEP fabricados pela SKF, vedado por um retentor e por fim, parafusado ao quadro que sustenta o motor de propulsão. O eixo, os rolamentos e o retentor estão envoltos por uma camisa de alumínio que também é usada para transmitir o movimento do módulo das rodas para o sistema de suspensão e também sustenta o sensor de percepção LiDAR.

Tabela 6 – Especificações do Motor elétrico EC 90 Flat da Maxon.

Maxon Brushless EC 90 Flat	
Tensão nominal	36V
Velocidade angular em vazio	3120 rpm
Torque nominal	560 mNm
Corrente nominal	4,76 A
Torque de partida	7480 mNm
Corrente de partida	69 A
Eficiência máxima	86%
Massa	600g

Fonte: Maxon Motor website.

Tabela 7 – Especificações do Redutor GP 52C da Maxon.

Maxon Redutor GP 52C	
Tipo de redutor	Planetário
Redução	21:1
Número de estágios	2
Torque contínuo máximo	15Nm
Momento de inercia	16.5gcm <sup>2</sup>
Eficiência máxima	83%
Massa	620g

Fonte: Maxon Motor website.

Tabela 8 – Especificações do Encoder MILE 512 da Maxon.

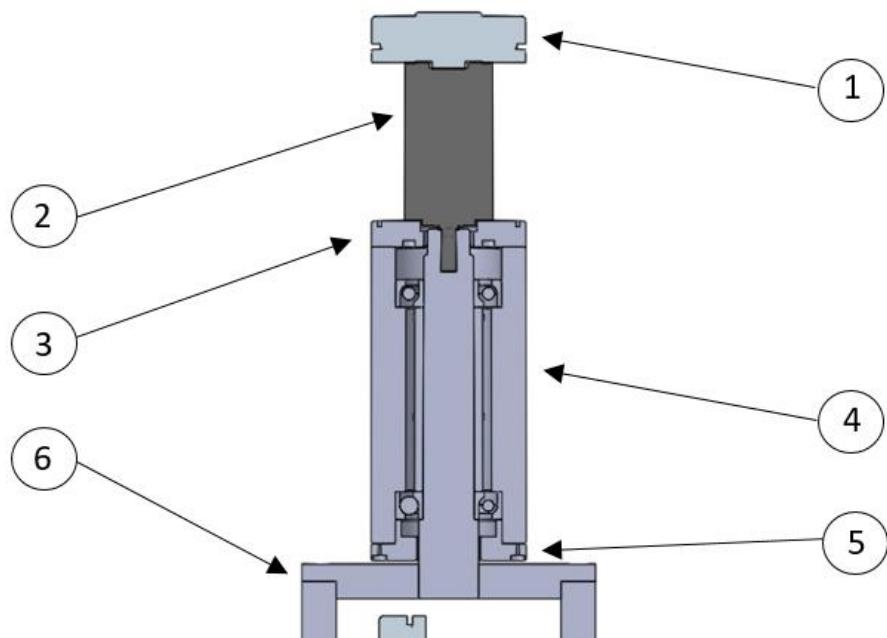
Maxon Encoder MILE 512	
Marcações por volta	512
Número de canais	2
Tipo de Encoder	Incremental
Frequência elétrica máxima	112000 rpm
Frequência mecânica máxima	5000 rpm
Tensão de alimentação	5 Vcc
Eficiência máxima	83%
Massa	620g

Fonte: Maxon Motor website.

O sistema de esterçamento está ilustrado na Figura 17, sendo:

- 1- Motor de esterçamento *brushless* Maxon EC90 flat com Encoder acoplado.
- 2- Redutor planetário Maxon.
- 3- Tampa superior da camisa.
- 4- Camisa com rolamentos e retentor
- 5- Tampa inferior da camisa
- 6- Quadro que sustenta o motor de propulsão

Figura 17 – Vista em corte do sistema de esterçamento



Fonte: próprio autor

#### 4.2.4. Sistema de propulsão

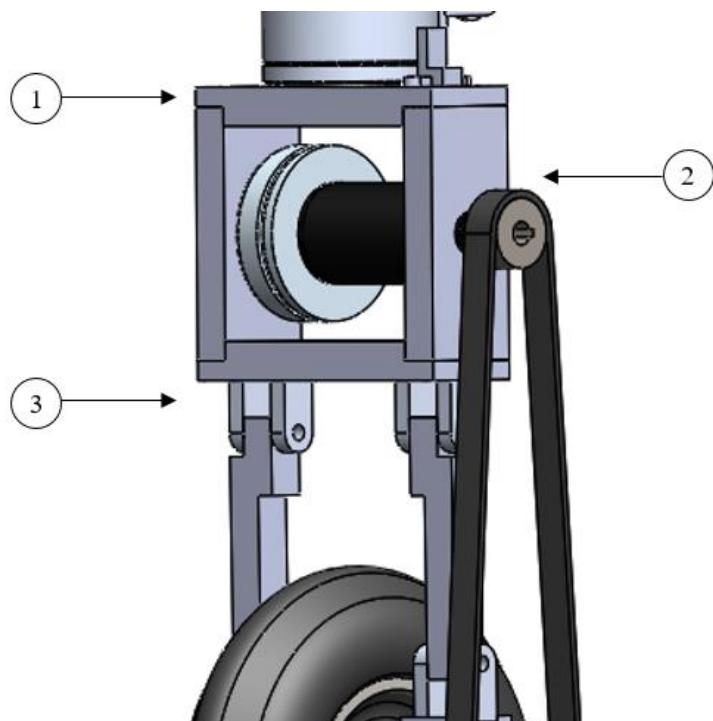
O próximo e último conjunto de componentes a ser apresentado é o sistema de propulsão que é, como o sistema de esterçamento, é composto por quatro módulos de propulsão idênticos, cada um responsável pela propulsão de uma das rodas e possuem controladores independentes. Por ser um veículo que transitará majoritariamente em terrenos irregulares, a tração nas quatro rodas é importante para impedir casos de atolamento.

Os módulos de propulsão são compostos basicamente por quatro subconjuntos, são eles: Quadro do conjunto de propulsão, conjunto de propulsão, transmissão de propulsão, conjunto da roda.

O quadro do conjunto de propulsão é um quadro construído por quatro barras de alumínio que envolve o conjunto de propulsão e ter por funções: transmitir o movimento de esterçamento para as rodas, fixar e proteger o conjunto de propulsão. O Quadro do conjunto de propulsão está ilustrado na Figura 18, sendo:

- 1- Barra acoplada ao eixo de saída do sistema de esterçamento
- 2- Barra para fixação do motor de propulsão
- 3- Abas ligadas aos mancais da roda

Figura 18 – Vista isométrica parcial do conjunto de propulsão



Fonte: próprio autor

O conjunto de motor, redutor e encoder de propulsão são os mesmos usados pelo sistema de esterçamento, portanto suas informações técnicas estão expostas nas tabelas 6, 7 e 8 respectivamente.

A força motriz dos motores de propulsão é transmitida para as rodas do Rover através de sistemas de transmissão com polias e correntes sincronizadora. As polias acopladas aos eixos de saída dos redutores têm 10 dentes e as polias acopladas ao eixo da roda tem duas opções de

tamanho, a primeira opção é de 22 dentes e a segunda opção é de 30 dentes, tendo assim, duas opções de taxa de redução: 1:2,2 ou 1:3, para cada uma das opções, existe a correia sincronizadora correta a ser usada, visto que as polias têm diâmetros diferentes.

Figura 19 – Exemplo de correia sincronizadora



Fonte: <http://www.logfer.com.br/imagem/index/17602834/G/synchrobelt.jpg>

Logo abaixo do quadro que envolve o motor de propulsão tem-se dois *links* feitos em tubos quadrados de aço, popularmente conhecidos com “metalon”, de medidas 20x20 mm e com parede 1,5 mm, os *links* estão ligados ao quadro do motor de propulsão e aos mancais das rodas por abas de alumínio. Os mancais da roda são fabricados em alumínio e cada um tem 2 rolamentos de esferas rígidas modelo 6005-ZZ do fabricante SKF, o mancal interno possui uma tampa de alumínio e o mancal externo possui uma tampa de alumínio com um furo. O eixo da roda é feito em Aço 1045, é acoplado ao cubo da roda por um pino passante e à polia inferior através de uma chaveta paralela. Os rolamentos do mancal interno são travados por um anel elástico e os rolamentos do mancal externo são travados por uma bucha de fixação com arruela de trava.

As rodas usadas são adaptadas de um carro para carregar mercadorias, são compostas por um cubo de aço bipartido, câmara de ar e pneu. O pneu calibrado tem cerca de 250 mm de diâmetro e o cubo está acoplado ao eixo através de um pino passante, como já dito.

Figura 20 – Exemplo de roda semelhante à usada no projeto



Fonte:

[https://images.tcdn.com.br/img/img\\_prod/467886/roda\\_pneumatica\\_3\\_50\\_4\\_130\\_kg\\_146\\_1\\_20161128094132.jpg](https://images.tcdn.com.br/img/img_prod/467886/roda_pneumatica_3_50_4_130_kg_146_1_20161128094132.jpg)

Considerando que o torque nominal do motor é de 560 mNm, a taxa de redução do redutor e eficiência é 21: 1 e 86% respectivamente, então o torque no eixo do redutor é obtido pela Eq. (1).

$$\tau_{redutor} = \tau_{motor} \times 21 \times 0,86 = 9,67 Nm \quad (1)$$

A Eq. (2) obtém a velocidade máxima da roda e consequentemente a velocidade máxima do Rover.

$$V_{rover} \left[ \frac{m}{s} \right] = \frac{\omega_{polia\ inferior} [rpm]}{60 [s]} \times \pi \times r_{roda} \quad (2)$$

Considerando que se usa a polia inferior de 22 dentes:

$$\omega_{polia\ inferior} [rpm] = \frac{\omega_{max}^{redutor}}{\frac{Z_2}{Z_1}} = \frac{119,52}{22/10} = 54,33 rpm$$

Então:

$$V_{rover} \left[ \frac{m}{s} \right] = \frac{54,33[rpm]}{60[s]} \times \pi \times 0,125 [m] = 0,36 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

No caso de se usar a polia inferior de 30 dentes:

$$\omega_{polia\ inferior}[rpm] = \frac{\omega_{max}^{redutor}}{\frac{z_2}{z_1}} = \frac{119,52}{30/10} = 39,84 rpm$$

Então:

$$V_{rover} \left[ \frac{m}{s} \right] = \frac{39,84[rpm]}{60[s]} \times \pi \times 0,125 [m] = 0,26 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

A Eq. (3) obtém a força que uma das rodas faz no solo.

$$F_{roda}[N] = \frac{\left(\frac{z_2}{z_1}\right) \times \tau_{redutor}[Nm]}{r_{roda}[m]} \quad (3)$$

Considerando que se usa a polia inferior de 22 dentes:

$$F_{roda}[N] = \frac{\left(\frac{22}{10}\right) \times 9,67[Nm]}{0,125[m]} = 170,19 [N]$$

Considerando que se usa a polia inferior de 30 dentes:

$$F_{roda}[N] = \frac{\left(\frac{30}{10}\right) \times 9,67[Nm]}{0,125[m]} = 232,08 [N]$$

A Eq. (4) obtém o ângulo máximo de inclinação do solo em que o Rover consegue se locomover.

$$Inclinação [°] = \operatorname{sen}^{-1} \left( \frac{4 \times F_{roda}[N]}{m [kg] \times g [\frac{m}{s^2}]} \right) \quad (4)$$

Considerando que a massa do Rover não deve ultrapassar de 140kg, a aceleração da gravidade seja de aproximadamente  $9,8 m/s^2$  e que não exista escorregamento entre as rodas e o solo, tem-se:

Para o uso da polia inferior de 22 dentes:

$$Inclinação [°] = \operatorname{sen}^{-1} \left( \frac{4 \times 170,19[N]}{140 [kg] \times 9,8 \left[ \frac{m}{s^2} \right]} \right) = 29,7°$$

Para o uso da polia inferior de 30 dentes:

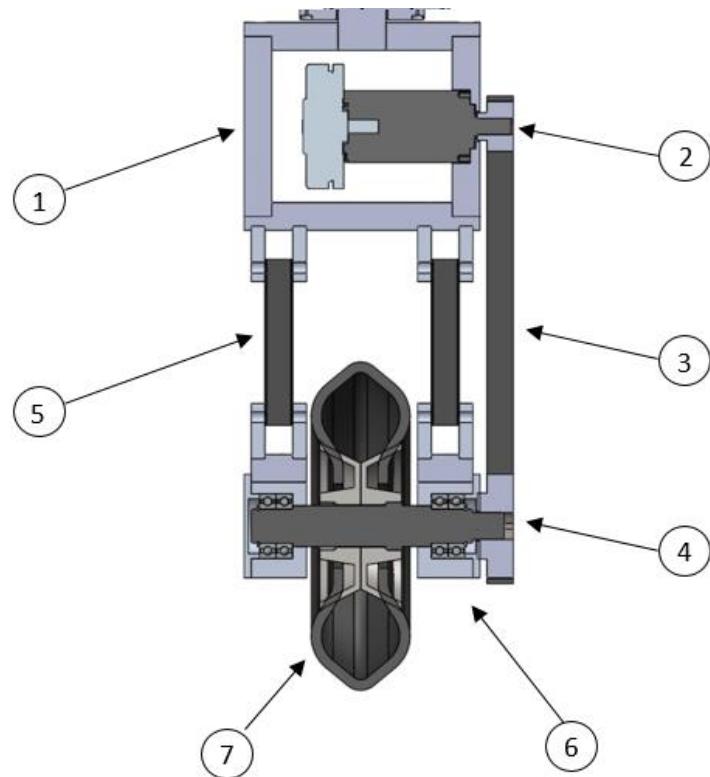
$$Inclinação [°] = \operatorname{sen}^{-1} \left( \frac{4 \times 232,08[N]}{140 [kg] \times 9,8 \left[ \frac{m}{s^2} \right]} \right) = 42,6°$$

Como já visto na tabela 5, terrenos com declividades maiores que 20%, cerca de 11,3°, não são recomendados para a mecanização, portanto conclui-se que dificilmente o Rover enfrentará declividades maiores do que aquelas que ele consegue transitar.

Na figura 21 é mostrada a vista em corte do sistema de propulsão montado, sendo:

- 1- Quadro do motor de propulsão
- 2- Polia do motor
- 3- Correia sincronizada
- 4- Polia da roda
- 5- *Links*
- 6- Mancal externo
- 7- Roda

Figura 21 – Vista em corte do sistema de propulsão montado



Fonte: próprio autor

#### 4.2.5. Usinagem de peças e montagem

Assim que todas as peças foram projetadas, partiu-se para a fabricação das mesmas. Algumas peças foram usinadas nas oficinas do Laboratório de Processos de Fabricação – LAMAFE da Escola de Engenharia de São Carlos – USP e os componentes comerciais foram comprados.

As peças usinadas são feitas de Alumínio 7075 exceto os eixos que foram usinados em Aço 1045 e estão mostradas nas Figuras 22 e 23.

Figura 22 – Peças usinadas



Fonte: próprio autor

Figura 23 – Peças usinadas e componentes eletrônicos

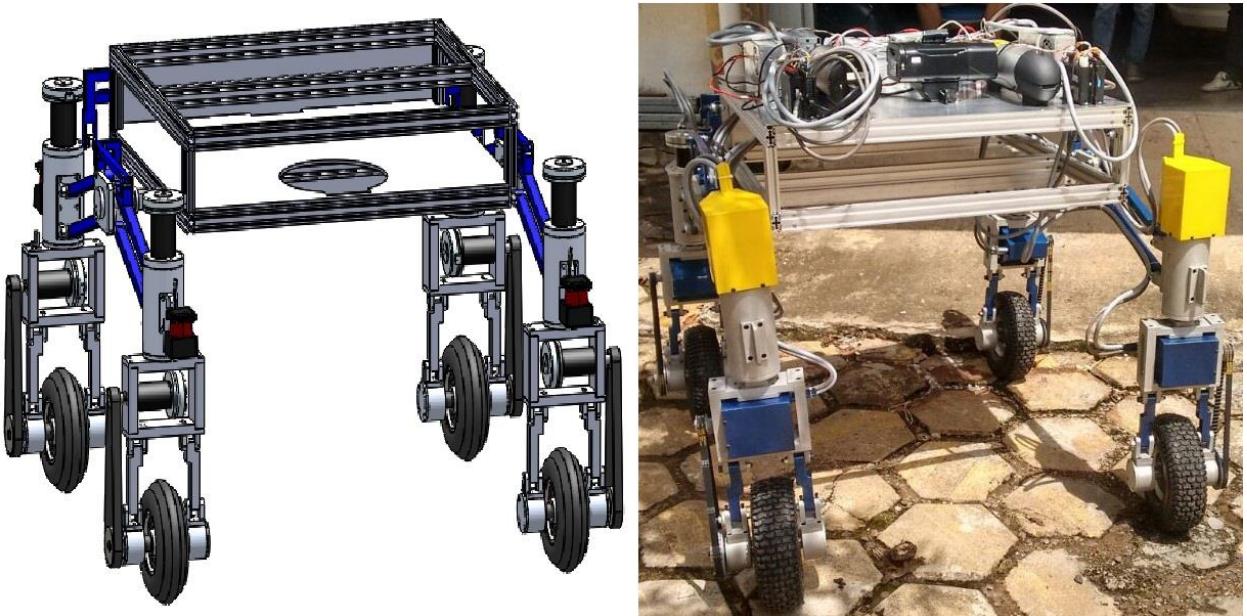


Fonte: próprio autor

Os tarugos, chapas e perfis de Alumínio, os tarugos e tubos de aço e os componentes comerciais como parafusos, ferramentas, rolamentos, retentores, rodas, motores etc. foram todos comprados a partir de verbas fornecidas pela EMBRAPA, a qual financia o projeto.

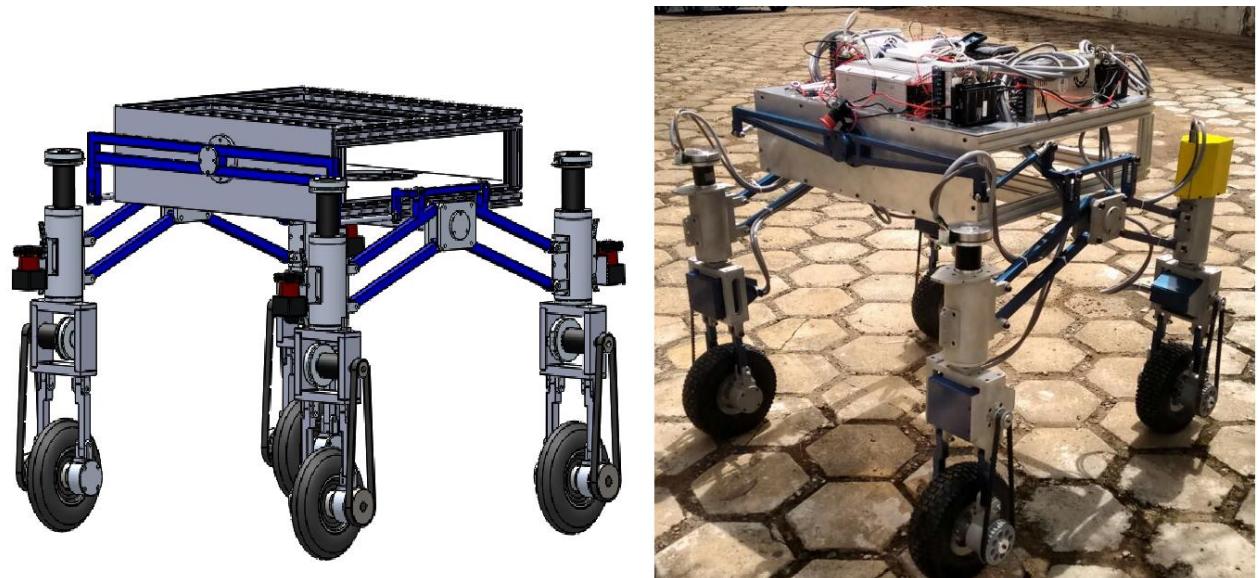
Assim que todas as peças foram usinadas e os componentes comprados, iniciou-se o processo de montagem da plataforma robótica seguindo as montagens anteriormente feitas no software SolidWorks 2017, as imagens 24 e 25 mostram a montagem feita no software e a montagem real do Rover, existem alguns componentes que na montagem virtual estão ocultos.

Figura 24 – Vistas frontais da montagem no CAD e montagem real



Fonte: próprio autor

Figura 25 – Vistas traseiras da montagem no CAD e montagem real



Fonte: próprio autor

## 4.3. Resultados e alterações

### 4.3.1. Testes e Resultados parciais

Assim que concluídos os processos de usinagem de peças, compra de componentes eletrônicos, montagem e instalação dos componentes embarcados, a plataforma robótica foi levada para um teste de locomoção em um espaço aberto dentro do Campus da Escola de Engenharia de São Carlos. O solo do local apresentava uma série de pequenas irregularidades e outros obstáculos como rampas e elevações, não se tratava de um solo parecido com o solo de culturas de soja, mas seria o necessário para um primeiro teste de locomoção rápido.

O controle do Rover foi feito remotamente, porém sem a automação dos movimentos, ou seja, o Rover seguia os comandos de um operador. Este primeiro teste foi essencial para encontrar deficiências no sistema de suspensão passiva desenvolvido.

Como já dito, a principal anomalia encontrada foi no sistema de suspensão passiva, em que após superar um obstáculo que mudava a elevação vertical de qualquer roda, o sistema de suspensão não reconstituía sua posição inicial, identificada pela posição vertical dos conjuntos de rodas. Em suma, após passar por uma elevação ou depressão acentuada, o Rover não reconstituía sua posição inicial e se mantinha inclinado para “frente” ou para “trás”, condição que poderia levar o mesmo a “tombar” durante o restante do percurso.

### 4.3.2. Alterações propostas

Após identificar os problemas encontrados no primeiro teste, foi necessário pensar em alterações que ajudariam a solucionar os comportamentos dinâmicos indesejados.

Para fornecer maior rigidez no sistema de suspensão passiva, foi proposto o reforço dos mecanismos quatro barras adicionando novas barras paralelas às já instaladas, como mostrado na Figura 26.

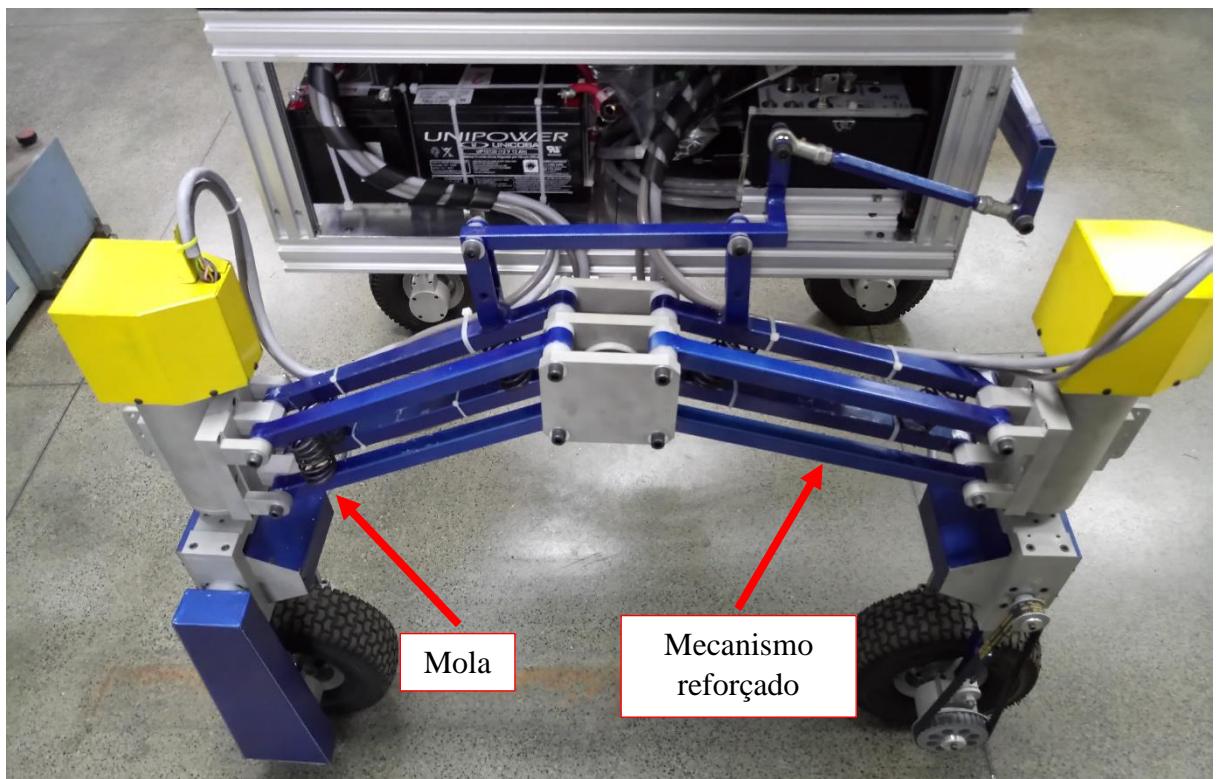
Além do reforço no mecanismo quatro barras, era necessária alguma solução que fizesse com que o sistema de suspensão passiva reconstituísse a posição inicial após superar um obstáculo vertical. Para isso é necessário analisar o comportamento da suspensão ao superar um obstáculo. Primeiramente o movimento do mecanismo é como o desejado, aproximando as barras do mecanismo quatro barras, fazendo com que os conjuntos de rodas estejam em alturas

diferentes, porém ao voltarem para o mesmo nível, as barras do mecanismo quatro barras não se afastam, resultando em uma inclinação dos conjuntos de roda da plataforma.

Assim sendo, para corrigir a posição após passar por um obstáculo vertical, foi idealizado o uso de molas entre as barras do mecanismo quatro barras, tais molas sofreriam compressão enquanto o Rover atravessa obstáculos e ao voltar a navegar no plano, as molas fariam com que as barras voltassem para a posição inicial.

Após a escolha das soluções, foram usinados novos mecanismos quatro barras e instaladas molas genéricas para o estudo inicial do comportamento, ambas alterações estão mostradas na figura 26.

Figura 26 – Rover montado com as novas alterações no sistema de suspensão passiva



Fonte: próprio autor

#### 4.3.3. Montagem final

Além das alterações para corrigir o comportamento do sistema de suspensão passiva, foram feitas outras alterações no quadro, aumentando sua dimensão vertical e posteriormente foram instalados todos os componentes eletrônicos responsáveis pela movimentação,

suplemento energético, controle, os componentes óticos responsáveis pelas análises do solo e, posteriormente foram instaladas placas de plástico e metal a fim de proteger os componentes eletrônicos embarcados de intempéries como poeira e barro. Também foi feito um protótipo de base para pouso de um VANT (Veículo aéreo não tripulado), popularmente conhecido como Drone, o qual está sendo usado em outros projetos do Laboratório de Robótica Móvel da Escola de Engenharia de São Carlos (LabRoM EESC USP), tais projetos também são voltados para a Agricultura de Precisão. A montagem final da plataforma está ilustrada na Figura 27.

Figura 27 – Montagem final do Rover



Fonte: próprio autor

## 5. CONCLUSÕES

É possível concluir que o projeto como um todo apresentou êxito em sua realização, pois passou por todas as etapas propostas, culminado no desenvolvimento mecânico de uma plataforma robótica.

O modelo da plataforma foi criado e atualizado conforme as correções vistas ao longo da construção do protótipo. A mesma foi planejada primeiramente em um projeto CAD, projetando todos os seus conjuntos de forma modular, cada conjunto (quadro, suspensão, transmissão etc.) foi projetado, desenvolvido, teve suas peças usinadas ou compradas, foi montado, testado individualmente, por fim foi testado dentro da montagem final e passou por ajustes necessários.

Os motores de propulsão e componentes de transmissão foram dimensionados conforme os requisitos de velocidade e torque necessários para a movimentação do Rover em ambiente *outdoor* e terrenos acidentados.

Os componentes eletrônicos foram embarcados e instalados de forma que proporcionassem uma estimativa das necessidades de volume embarcado e *payload* da plataforma. Assim que a plataforma foi montada e os componentes eletrônicos foram embarcados, foi possível a realização de testes iniciais de movimentação em terrenos planos, inclinados e levemente acidentados.

Após os testes iniciais serem realizados, notou-se a necessidade de realizar ajustes em componentes e conjuntos específicos. Feitos os ajustes, testou novamente a plataforma nas mesmas condições dos testes iniciais e notou-se significativa melhorias na movimentação e na resposta do sistema a obstáculos do solo. O Rover se comportou bem em testes feitos em um ambiente diferente do ambiente de sua aplicação, testes *in loco* serão necessários para comprovar a real eficácia da plataforma.

Portanto, o presente trabalho forneceu um avanço no desenvolvimento da plataforma robótica e para os trabalhos futuros, espera-se a realização de testes mais longos em lavouras de soja e a otimização dos componentes mecânicos para navegação em lavouras. O redimensionamento de componentes como motores, transmissão e pneus também será assunto recorrente nos trabalhos futuros, pode-se dizer que se alcançariam potenciais melhorias na navegação com a adequação dos mesmos.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCHILA-DIAZ, J. F.; **Design of a Rover to Precision Agriculture applications.** 154p. Ph.D. Thesis – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

BAK, T.; JAKOBSEN, H. **Agricultural robotic platform with four wheel steering for weed detection.** *Biosystems Engineering*, [S.I], v. 87, n. 2, p. 125-136, 2004.

BECHAR, A.; VIGNEAULT, C. **Agricultural robots for field operations: concepts and H**

BIBER, P. el al. **Navigation system of the autonomous agricultural robot “BonRoB”.** Em anais do workshop sobre robótica agrícolas: Enabling safe, efficient, and affordable robots for food production, 2012, Vilamoura.

EMBRAPA SOJA; **Cultivares de soja: regiões sul e central do Brasil.** 2010.

FARIAS, J. R, B., NEPOMUCENO, A. L., NEUMAIER, N.; **Ecofisiologia da soja.** Londrina-PR, 2007.

GUERRERO, B, H (2016). **Desenvolvimento de um Sistema de Controle em um Robô Móvel Agrícola em Escala Reduzida para Deslocamento entre Fileiras de Plantio.** Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

HEIFFIG, L.S., CÂMARA, G.M.S., MARQUES, L.A., PEDROSO, D.B., PIEDADE, S.M.S.; **Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos especiais.** Bragantia, Vol. 65, n. 2, p. 285-295, 2016.

HIGUTI, V. A. H.; VELASQUEZ, A. E. B.; GUERRERO, H. B. **Description Of Helvis 3 – A Small Scale Car-Like Robot For Precision Agriculture.** 1º SiPGEM (1º Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

HIGUTI, V. A. H., VELASQUEZ, A. E. B., GASPARINO, M. V.; **Robotic Platform with Passive Suspension to be Applied on Soybean Crops: Initial Results.** 24th ABCM International Congress of Mechanical Engineering. Curitiba-PR, 2017.

HÖFIG, P., ARAUJO-JUNIOR, C. F.; **Classes de declividade do terreno e potencial para mecanização no estado do Paraná.** Coffee Science, Lavras, v. 10, n. 2, p. 195 - 203, abr./jun. 2015.

LARENAS, M.C, MAGALHÃES, D.V., MILORI, D.M.B.P.; **Sistema de enfoque automático para espectroscopia de plasma induzido por laser.** IX Reunion Ibero americana de óptica y XII reunión Ibero-americana de óptica, lasers y aplicaciones – RIAO/OPTILLA 2016. Pucón, Chile, 2016.

MOREIRA, J. M., ARCHILA, J. F., BECKER, M. **Modelagem e análise dos Rovers Crab e Shrimp para a utilização na agricultura.** VIII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Brasil, 2014.

MUNDSTOCK, C.M., THOMAS, A. L.; **SOJA: Fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos.** Porto Alegre, 2005.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; THOMPSON, H. E.; BENSON, G. O.; **Como a planta se desenvolve.** 21p. Piracicaba-SP, 1998.

TORGERSEN, J. **Mobile Agricultural Robot: Independent Four Wheel Ackerman Steering.** 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências Matemáticas) – Departamento de Ciências Matemáticas e Tecnologia, Norwegian University of Life Sciences, Ås, Noruega, 2014.

VELASQUEZ, A. E. B. **Deployment of a reactive navigation system, based on 2D LiDAR and IMU sensors, for the robotic plataforma applied to soybean crops,** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.