



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

CLAUBELÂNIA SOUZA DE ARAÚJO

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DO SISTEMA DE SUSPENSÃO
ROCKER-BOGIE EM SOLOS PEDREGOSOS DO SEMIÁRIDO**

ANGICOS/RN

2022.1

CLAUBELÂNIA SOUZA DE ARAÚJO

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DO SISTEMA DE SUSPENSÃO
ROCKER-BOGIE EM SOLOS PEDREGOSOS DO SEMIÁRIDO**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. O Dr. Marcos Vinícius Cândido Henriques.

ANGICOS/RN

2022.1

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A658e Araújo, claubelanya souza de.
ESTUDO DE VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DO SISTEMA
DE SUSPENSÃO ROCKER-BOGIE EM SOLOS PEDREGOSOS DO
SEMIÁRIDO / claubelanya souza de Araújo. - 2022.
38 f. : il.

Orientadora: Marcos Vinicius Cândido Henriques.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2022.

1. Sistema de suspensão. 2. Rocker-Bogie. 3.
Agricultura robótica. 4. Veículos autônomos. I.
Henriques, Marcos Vinicius Cândido, orient. II.
Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

CLAUBELÂNIA SOUZA DE ARAÚJO

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DO SISTEMA DE SUSPENSÃO
ROCKER-BOGIE EM SOLOS PEDREGOSOS DO SEMIÁRIDO**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 23 /11 / 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcos Vinícius Cândido Henriques (UFERSA)
Presidente

Prof. Dr. Francisco Edcarlos Alves Leite (UFERSA)
Membro Examinador

Prof. Dr. Damilson Ferreira Dos Santos(UFERSA)
Membro Examinador

A Deus

A minha mãe:

Joseneide Maria de Souza Araújo

Ao meu pai:

Carlos Pereira de Araújo

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me dado sabedoria e forças para chegar aqui e concluir essa fase tão desafiadora na minha vida.

Aos meus pais, Joseneide Maria de Souza Araújo e Carlos Pereira de Araújo, por sempre me apoiar a seguir o caminho dos estudos e por nunca medirem esforços para realizar meus sonhos, mesmo estando a km de distância, mas sempre presente nos meus pensamentos para continuar nessa jornada.

Agradeço ao meu orientador, Dr. Marcos Vinícius Cândido Henriques, por ter a ideia principal desse projeto e todo ensinamento durante todo esse período de pesquisa. Muito obrigado pela sua dedicação e paciência para realizar esse trabalho.

Agradeço aos demais professores por todo o conhecimento adquirido durante esses anos de curso.

Agradeço também a todos os companheiros de jornadas onde compartilhamos alegria, frustração, medo, felicidade, tristeza e união. Vocês foram pessoas que tornaram essa jornada especial e leve.

Agradeço especialmente às minhas amigas Lyzandra Maria da Silva Dias e Samara Araújo de Souza Lopes, por se tornar uma família pra mim mesmo não sendo de sangue, mas que estavam aqui dando todo o apoio necessário para continuar essa jornada, foi muito bom compartilhar esses momentos com vocês duas.

A todos os meus amigos que estão longe, meus agradecimentos que de alguma forma me deram apoio.

Encerro meus agradecimentos dedicando a Sarah Camila Moraes de Rezende, que está comigo desde de 2012 e foi a pessoa que me incentivou a cursar C&T mesmo não sendo dessa área. Obrigada por significar amizade pra mim, mesmo estando longe, mas sendo a fortaleza, incentivo e apoio. Obrigado por essa minha paz no meio do caos e minha saudade diária.

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”.

- Albert Einstein

RESUMO

O uso de robôs como veículos agrícolas autônomos possui um grande potencial como ferramenta tecnológica para a agricultura de precisão, podendo fazer uso das diversas teorias em controle robótico já consolidadas. O solo do semiárido é pedregoso, o que acaba deixando seus terrenos acidentados, tornando a aplicação de veículos autônomos uma tarefa desafiadora. Esta pesquisa teve como objetivo desenvolver um veículo autônomo que pudesse locomover nesses terrenos. Foi desenvolvido uma estrutura física que pode ser usada como plataforma para prototipagem de sistemas robóticos em terrenos com características parecidas com os do semiárido, usando o sistema de suspensão Rocker-bogie, já usado em campos como exploração da Lua e de planetas, segurança e resgate. O sistema possui distribuição uniforme da carga útil sobre suas seis rodas, podendo operar em terrenos inclinados, acidentados e deformáveis. O chassi do veículo foi construído com canos de PVC, visando minimizar o custo do projeto e foi projetado para ser facilmente adaptado a motores DC controlados por placas de prototipagem Arduino.

Palavras-chave: Sistemas de suspensão, Rocker-bogie, agricultura robótica, veículos autônomos.

ABSTRACT

Use of robots as autonomous agricultural vehicles has great potential as a technological tool for precision agriculture, being able to make use of the different theories in robotic control already consolidated. The soil of the semi-arid region is stony, which makes its terrain rough, making the application of autonomous vehicles a challenging task. This work aims to develop an autonomous vehicle that can move in these terrains. We have developed a physical structure that can be used as a platform for prototyping robotic systems in terrain similar to that of the semi-arid region, using the Rocker-bogie suspension system, already used in fields such as moon and planetary exploration, security, and rescue. The system has uniform payload distribution over its six wheels, and can operate on inclined, rough, and deformable terrain. The vehicle's chassis was built out of PVC pipes in order to minimize the cost of the project, and was designed to be easily adapted to DC motors controlled by Arduino prototyping boards.

Keywords: Suspension systems, Rocker-bogie, robotic agriculture, autonomous vehicles.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Base Cartográfica: IBGE, 2010.	14
Figura 2: Sonda spirit e opportunity.	15
Figura 3: Sonda Curiosity.	16
Figura 4: Rover Sojourner.	17
Figura 5: Sistema Rocker-Bogie.	17
Figura 6: Esquema do Rocker-Bogie.	18
Figura 7: Agricultura de Precisão.	20
Figura 8: Materiais da estrutura física.	25
Figura 9: Esquema da parte eletrônica.	27
Figura 10: Parte lateral.	28
Figura 11: Parte superior.	28
Figura 12: Parte detalhada do motor DC e a roda.	29
Figura 13: Junção das partes.	30
Figura 14: Subindo um obstáculo.	30
Figura 15: Subindo um obstáculo.	31
Figura 16: Andando pelo terreno semi-árido.	31

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1 CARACTERÍSTICAS DOS TERRENOS DO SEMI-ÁRIDO	13
2.2 ROCKER-BOGIE	14
2.2.1 Esquema do Rocker-Bogie	17
2.2.2 Possíveis aplicações	18
2.3 AGRICULTURA DE PRECISÃO	19
2.4 ROBÓTICA AGRÍCOLA	20
3 METODOLOGIA	21
3.1 CARACTERÍSTICAS DESEJÁVEIS PARA O VEÍCULO	21
3.1.1 Estabilidade	21
3.1.2 Robustez	22
3.1.3 Tração adequada	22
3.1.4 Proteção dos sistemas de controle, transmissão e de energia	22
3.1.5 Leveza	23
3.1.6 Baixo consumo de energia	23
3.1.7 Baixo custo dos componentes	23
3.2 CHASSI	23
3.3 SISTEMA ELETRÔNICO E DE TRAÇÃO	25
3.3.1 Esquema de montagem do sistema eletrônico	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

A Região Semiárida do Nordeste do Brasil apresenta como fator de destaque o clima. Que estão adaptados a vegetação e os processos de formação do relevo, com predomínio de um processo sobre outro e de acordo com a época do ano, um período seco ou chuvoso; os solos são, em geral, pouco desenvolvidos em função das condições de escassez das chuvas. A maior parte do ano é uma massa de ar seco e quente que lhe suga a água dos solos, rios, da vegetação e onde haja água para ser evaporada. (ARAÚJO, 2011).

Sabemos que umas das características do semiárido é que seu solo é pedregoso, e como consequência acaba afetando os terrenos e pavimentos deixando-os acidentados, e isso causa impactos nos veículos que andam por essa região. Entretanto, esse projeto tem como objetivo desenvolver um veículo autônomo que possa se locomover nesses terrenos sem causar grandes impactos.

O uso de robôs como veículos agrícolas autônomos, possui um interessante potencial como uma valiosa ferramenta tecnológica para a agricultura de precisão, trazendo a vantagem de poder fazer uso das diversas teorias em controle robótico, já fundamentadas e consolidadas para aplicações em diversas outras áreas (TANGERINO et al., 2011).

O sistema de suspensão *Rocker-bogie* possui capacidades robustas para lidar com terrenos irregulares devido à distribuição uniforme da carga útil sobre suas seis rodas, enquanto há uma grande falha na travessia de alta velocidade sobre o terreno plano. Portanto, esses robôs são projetados para operar efetivamente em terrenos naturais que podem ser inclinados, acidentados e deformáveis e são usados em campos como exploração da Lua e de planetas, segurança e resgate e aplicação militar e civil. (WANG et al, 2016).

Sendo assim, construir uma plataforma robótica para solucionar os problemas que essa região provoca em veículos autônomos. Portanto, através de algumas pesquisas encontramos já uma base de estrutura física robótica que é usada em áreas com características parecida com a do semiárido, essa estrutura é conhecida como *Rocker-bogie*.

O *rocker-bogie* é capaz de se locomover em terrenos irregulares? Para que possamos sanar essa dúvida, iremos desenvolver uma estrutura física com materiais baratos e acessíveis, e controlar os motores via Arduino. Pretendemos concluir se ele será capaz de se locomover nos terrenos acidentados da nossa região semiárida.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CARACTERÍSTICAS DOS TERRENOS DO SEMI-ÁRIDO

A Região do Semi-Árido é conhecida por suas secas e pelas poucas chuvas que acontecem na sua região. Que causa grande impacto no seus terrenos, deixando o seu solo pouco desenvolvido por causa da escassez da chuva e no desenvolvimento da agricultura, onde afeta o seu processamento de plantio, não só no plantio como também na pecuária que causa grandes impactos na economia.

Segundo Correia et al., (2011), os rios são em sua maioria intermitentes e afetados pela estação chuvosa, quando se tornam rios rasos, parecem desaparecer durante a estação seca, mas na realidade está submersa em camadas aluviais em vales ou planícies que compõem muito pouco do lençol freático reserva de água.

Outra característica sobre a região do Semi-Árido, é sua temperatura alta, por causa que quase toda região se localiza em baixa latitude, que se encontra perto da linha do equador.

Segundo Nimer (1979), a temperatura média anual é consistentemente superior a 24°C e superior a 26°C. Localizado na Depressão do São Francisco e Vale do Piranha, entre 200 e 300 metros acima do nível do mar. Uma pequena variação nas médias mensais e anuais dá uma amplitude térmica de 3 a 5°C, menor do que em outras regiões tropicais. O sol intenso na região, com picos de sol duas vezes por ano.

Entretanto, foram citadas algumas características e agora serão citadas uma das que são mais faladas, a questão da chuva. Na figura 1 a seguir, temos uma representação de quais são os meses que mais chove. Nos estados do Rio Grande do Norte, Ceará e uma parte da Paraíba, acontece nos meses de fevereiro a maio, enquanto no oeste da Paraíba, Pernambuco, leste do Piauí e Bahia, o pico de chuva acontece nos meses de janeiro a abril. Porém, em algumas dessas regiões, é possível observar chuva a partir do mês de dezembro, de acordo com Correia et al., (2011).

A região do semi-árido onde se localiza a cidade de Angicos-RN apresenta solos principalmente dos tipos luvisolo e planossolo, com revestimentos pedregosos e/ou rochosos (pavimento desértico).

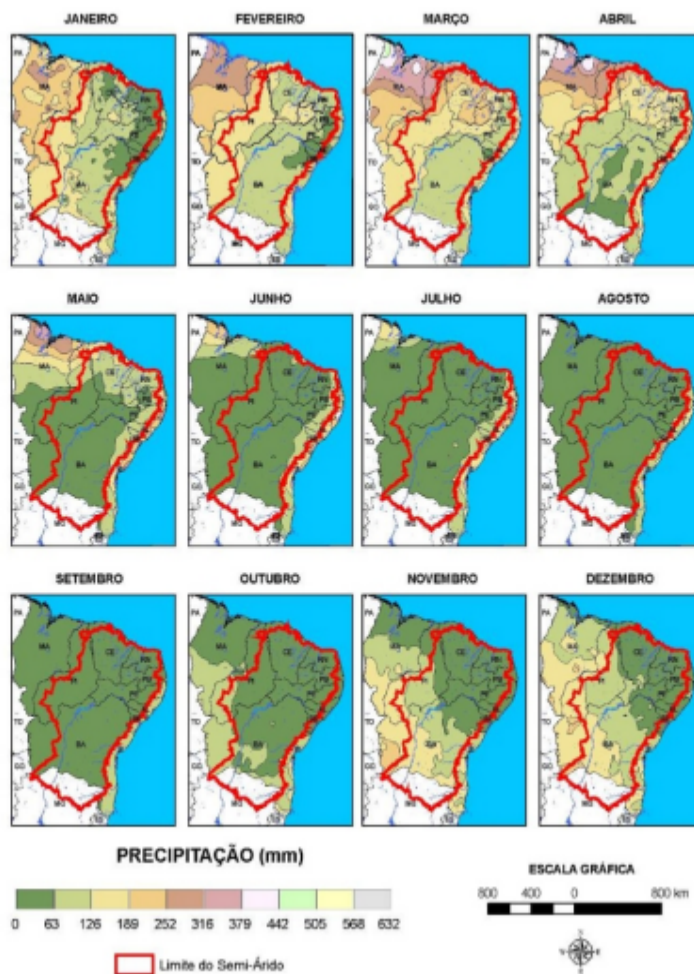


Figura 1: Base Cartográfica: IBGE, 2010.

Fonte: SUDENE, 1990. (Adaptado de CORREIA et al., 2011)

2.2 ROCKER-BOGIE

A NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) por ser responsável de desenvolver diversos robôs para enviar para o espaço com a intenção de explorar, por vezes começaram a explorar Marte. E pra isso, começou a desenvolver robôs que tivessem a capacidade de andar no solo de marciano, por saber que são solo pedregoso, não só pelo o solo, mas pela questão de saber se o planeta tem capacidade de algum dia abrigar a raça humana.

A NASA desenvolveu algumas sondas. A primeira foi a sonda *Spirit* que iniciou sua missão em 2004 e permaneceu até 2009 em Marte, e sua função era fazer análises geológicas do terreno marciano. O segundo foi o robô *Opportunity*, o qual chegou três semanas depois

do *Spirit*, e sua função era procurar pela existência de água. Segundo Santiago (2012), já fazem oito anos que ela envia fotos para a Terra no período em que o solo está seco ou úmido.

Em 2011, eles enviaram uma sonda mais completa chamada sonda *Curiosity*, essa sonda é mais desenvolvida e completamente diferente das outras duas que foram enviadas. A sonda *Curiosity*, é mais pesada que as demais e tem o dobro do tamanho delas. Ele tem a função de colher amostras do solo marciano e analisar em seu "laboratório" interno que possui câmeras de alta precisão. Ela consegue percorrer aproximadamente 200 metros por dia e subir a elevação de até 65 metros de altura. Ela é alimentada por um gerador radioativo com plutônio-238, que gera energia suficiente por 678 dias.

Na figura 2, será apresentado a sonda spirit e opportunity que foram enviadas para explorar Marte.



Figura 2: Sonda spirit e opportunity.

Fonte: ROBÔS Spirit e Opportunity. [S. l.], 2012.

A figura 3, é a sonda Curiosity. A sonda mais desenvolvida pela Nasa para explorar o solo marciano.

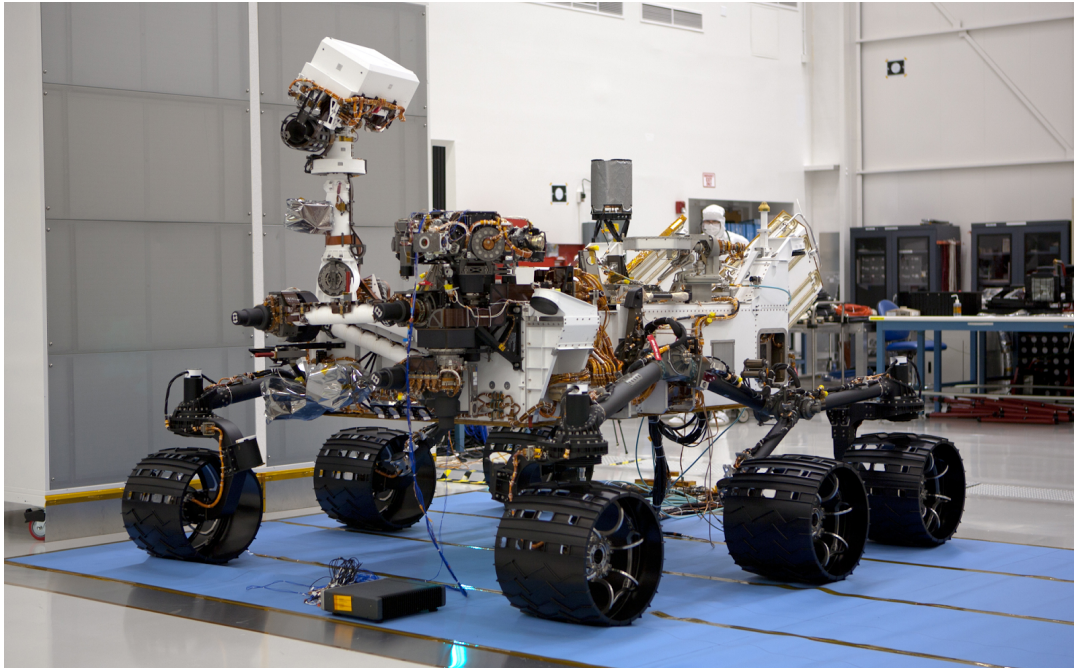


Figura 3: Sonda Curiosity.

Fonte: ROVER Curiosity da missão do Mars Science Laboratory. [S. l.], 22 jul. 2011.

Ao analisar as figuras 2 e 3, percebemos que elas têm uma estrutura semelhante, com seis rodas, três em cada lado. Onde duas estão acopladas na mesma ligação e a outra está um pouco afastada delas, essa estrutura é baseada em um sistema antigo projetado pela NASA, conhecido como o sistema Rocker-Bogie.

O sistema Rocker-Bogie, desenvolvido pela NASA em 1988, é um arranjo de suspensão que foi usado para o *Sojourner*, que foi o primeiro veículo com rodas a pousar e andar em Marte. Desde de então, o rocker-bogie se tornou o uns dos sistemas preferidos da Nasa e com base nele começou a desenvolver os demais veículos que foram enviados para Marte, nas figuras a seguir temos a demonstração deles.

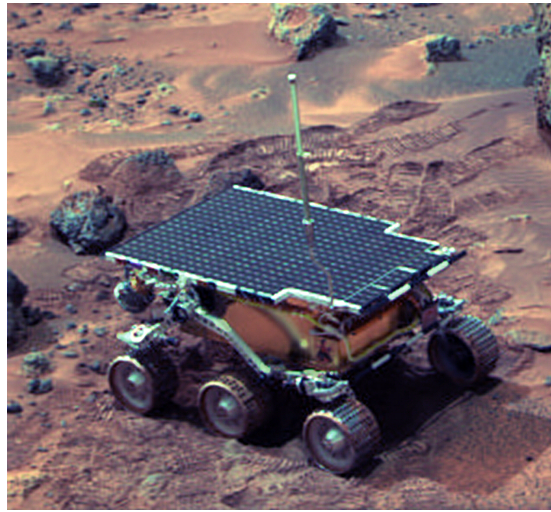


Figura 4: Rover Sojourner.

Fonte: Wikipédia.

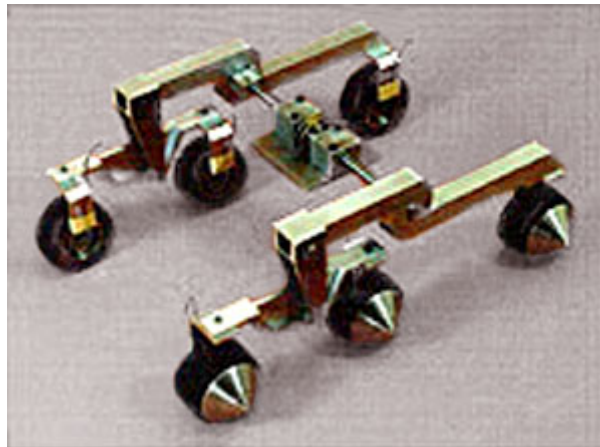


Figura 5: Sistema Rocker-Bogie.

Fonte: Wikipédia.

2.2.1 Esquema do Rocker-Bogie

Segundo Cardoso (2020), a parte *Rocker* da suspensão vem do aspecto oscilante da articulação que está presente em cada lado do veículo. Os balancim, que é uma estrutura de suspensão, estão conectados ao chassi do veículo. A relação entre o chassi e o balancim é que os balancim giram em direções opostas que realizam um contato aproximadamente igual

as rodas. O chassi manterá um ângulo de inclinação média entre os dois balancim. Um dos balancim é equipado com a roda motriz e a outra está articulada ao Bogie.

Segundo Bickler (2008), os engenheiros do Jet Propulsion Laboratory (JPL) em Pasadena, Califórnia, tiveram que fornecer uma mobilidade muito superior aos veículos convencionais todo-o-terreno. Por isso, após algumas pesquisas escolheram que o sistema de suspensão tivesse seis pernas, parecida como uma aranha para que conseguisse escalar e pular. Por causa, que o solo marciano não é plano e lá se encontra um solo pedregoso e como alguns obstáculos, que às vezes é necessário que o veículo precise escalar para seguir adiante. Com todo, o rover consegue escalar um obstáculo com mais de 30% do seu comprimento. Na figura abaixo, temos a representação desse sistema.

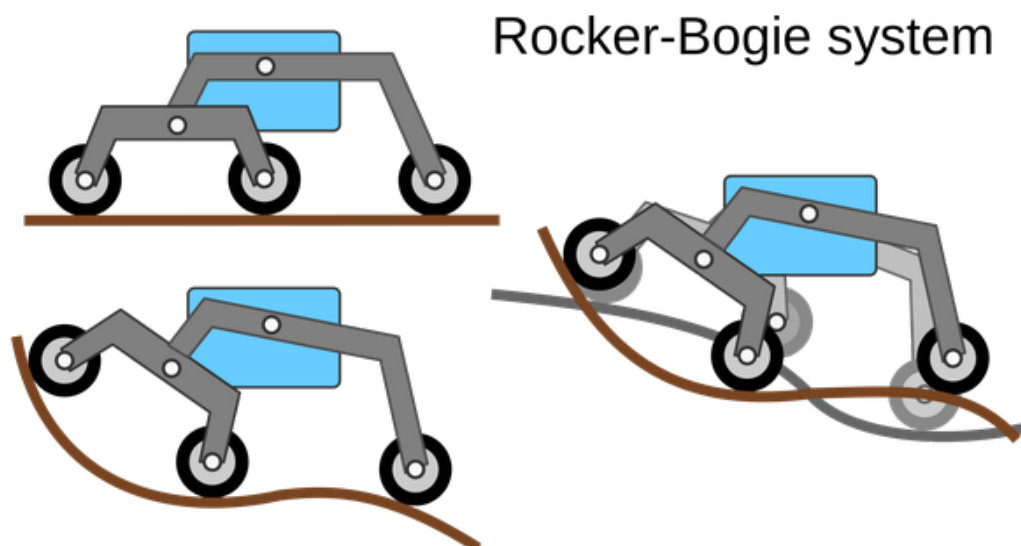


Figura 6: Esquema do Rocker-Bogie.

Fonte: Quora (2015).

2.2.2 Possíveis aplicações

A priori, a NASA desenvolveu esse sistema para se locomover em Marte. Porém, utilizando a sua estrutura, a NASA conseguiu desenvolver outros tipos de robôs mais ampliados que foram enviadas para Marte, onde sabemos que o solo não é um dos melhores para se locomover em veículos.

Entretanto, esse sistema é de bom uso para usar na região semiárida, onde sabemos que o seu terreno não é dos melhores para veículos que não são aptos a andar em locais com

muito buraco e regiões secas, que às vezes acaba desgastando o seus pneus ou até mesmo o veículo. Com a estrutura do rocker bogie, ele poderá ser utilizado para explorar mais essa região, passando por todos os obstáculos que estão presentes nela, assim, ajudando o agricultor a explorar mais a sua região. Com isso, o sistema pode ser desenvolvido tecnologicamente com a função adequada para explorar essa região, mas utilizando a sua estrutura de locomoção como base.

Temos diversas áreas que podemos aplicar ao sistema de suspensão rocker-bogie, como já foi citado acima sobre área da agricultura. Com isso, poderemos usar para explorar mais os recursos naturais, como a exploração de minérios, como o ouro, o diamante, o petróleo. Porém, o sistema tem que ser melhorado para explorar cada área desejada, como a Nasa fez com a sonda Spirit com a função de fazer análises geológicas, o robô *Opportunity* que atuava a procura de água, e a sonda *Curiosity* que colher amostra do solo para realizar pesquisas.

2.3 AGRICULTURA DE PRECISÃO

Com o avanço tecnológico na indústria, a agricultura também desenvolveu esse avanço e começou a usar a tecnologia ao seu favor, conhecida como a agricultura de precisão. Que, de acordo com MOLIN (2001), é um elenco de tecnologias e procedimentos para que as lavouras e o sistema de produção sejam otimizados, tendo como elemento chave o gerenciamento da variabilidade espacial da produção e dos seus fatores relacionados.

Segundo relatório do IPCC 2007, com as mudanças climáticas, a vegetação do semiárido brasileiro corre o risco de ser substituída por vegetação de terras áridas (IPCC, 2007). As mudanças climáticas devem impor às populações agrícolas, em especial às das regiões semiáridas do planeta, grandes desafios. A crescente escassez de recursos naturais e o agravamento de eventos climáticos extremos, como secas e inundações, deve aumentar a fragilidade social da população rural dessas regiões (DE ANDRADE; DA SILVA; DE SOUZA, 2014).

Os agricultores do semi-árido devem enfrentar esses novos cenários com o uso de tecnologia da informação. Nesse contexto, introduz-se o conceito de **Agricultura de Precisão** como ferramenta tecnológica para melhoramento da produtividade e racionalização de recursos em culturas agrícolas. As ferramentas utilizadas na AP são máquinas que

possuem GPS, sensores, fora o drone que é usado para ter uma visão melhor da parte de cima da região, sistemas de monitoramento e equipamentos autônomos.

O Brasil é mundialmente conhecido pela sua produção agrícola. De acordo com o Senar (Serviço Nacional de Aprendizagem Rural, 2017), a agricultura brasileira vem batendo recordes de produção, com sua representatividade de exportação de produtos agrícolas para a comercialização. Esse avanço foi graças à dedicação diária dos produtores e trabalhadores rurais e os avanços tecnológicos que estão sendo desenvolvidos na agricultura. A figura abaixo, mostra a representação de uma das ferramentas sendo utilizada na agricultura.

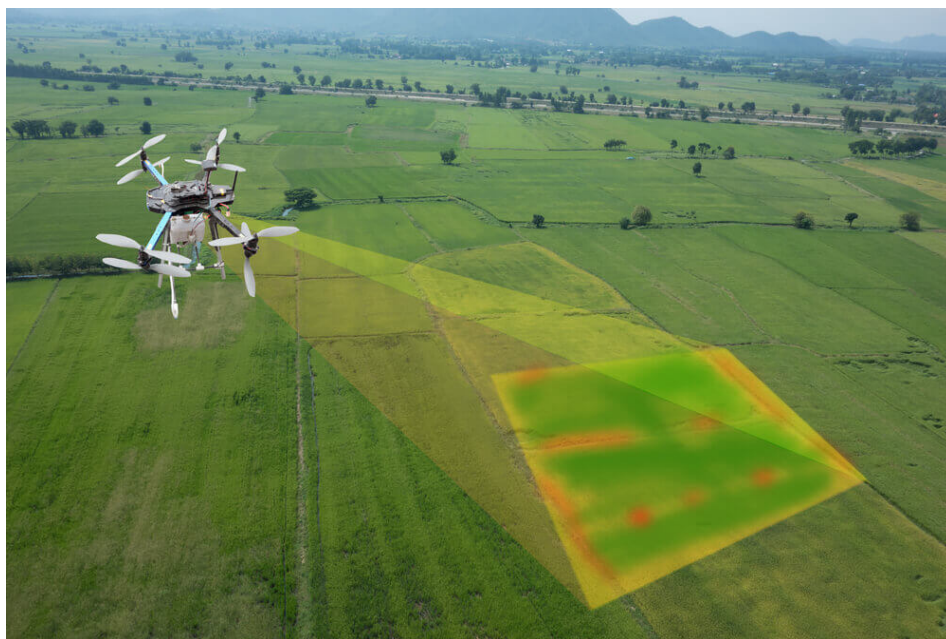


Figura 7: Agricultura de Precisão.

Fonte: UPIS (2019).

2.4 ROBÓTICA AGRÍCOLA

O uso de veículos autônomos na agricultura de precisão, ou um robô móvel, ainda é pouco explorado no Brasil. A sua aplicação em nossa realidade sócio-econômica deve ser tratada como uma ferramenta de auxílio e incremento da prática agrícola, e não como uma solução isolada (TABILE; INAMASU; PORTO, 2011).

Nos terrenos característicos dos solos do semi-árido, a grande presença de pedregulhos e rochas tornam o projeto de veículos que se locomovem nesses solos um

desafio. O projeto do sistemas de suspensão de veículo autônomo devem levar em conta a irregularidade dos terrenos, buscando a estabilidade, robustez e proteção dos sistemas de tração, transmissão e controle.

Veículos autônomos podem ser usados para sensoriamento remoto de culturas agrícolas. Variáveis como propriedades físico-químicas do solo, nutrição vegetal, presença de pragas, umidade podem ser mensuradas por sensores acoplados a um robô agrícola (TABILE; INAMASU; PORTO, 2011). A coleta intensiva de dados via sensoriamento permite quantificar a variabilidade de diversos parâmetros no campo, que permitem a tomada de decisões que aumentem a produtividade da cultura, buscando relações de causa e efeito entre a produção e os parâmetros (DE OLIVEIRA et al, 2020).

3 METODOLOGIA

Para a realização desta pesquisa, primeiramente, fizemos uma pesquisa bibliográfica, se aprofundando e explorando sobre as características do tema, para que possamos seguir adiante e desenvolver a ideia principal do projeto que é construir um protótipo do modelo *rocker-bogie* controlado por motores via arduino.

Após o desenvolvimento da pesquisa e de como foi feito o projeto, foi iniciada a construção de sua parte física, com o seus tipos de materiais que seriam utilizados e as medidas necessárias para o tamanho do veículo. Como o seu objetivo principal era ser desenvolvido com materiais de baixo custo, com a capacidade de se locomover nos terrenos semi-árido. Após ter construído toda sua estrutura, o ponto chave é saber se ele terá a capacidade de se locomover.

3.1 CARACTERÍSTICAS DESEJÁVEIS PARA O VEÍCULO

3.1.1 Estabilidade

Necessariamente para ser desenvolvido precisamos pensar na parte da estabilidade, para que ele não fique com a estrutura frágil, correndo o risco de cair. Como fonte de inspiração para construir o veículo, seguimos os passos de Khambhala (2017), que disponibilizou uma vídeo na plataforma youtube, onde ele mostra passo a passo como

desenvolveu. Kambhala utilizou a estrutura a base de cano PVC, que tem uma resistência suportável para aguentar uma certa quantidade de peso e que é estável, não corre risco de se quebrar facilmente.

3.1.2 Robustez

Além de pensar na estabilidade, devemos levar em consideração a parte robusta do veículo, para garantir uma vida útil. Então, pensando na sua parte de ser uma estrutura forte, que seja resistente a enfrentar os terrenos pedregosos, antes de tudo ela tem que ter qualidade. Por isso, o cano pvc continua sendo adequado para ser utilizado na sua estrutura, por ser um objeto que temos conhecimento que suporta o sol e que está presente nos terrenos pedregosos, mas na sua parte de encanação.

3.1.3 Tração adequada

Para caracterização dos veículo proposto para ser aplicado em terrenos irregulares, é desejável que suas rodas, responsáveis por fazer a ligação entre o veículo e o chão, tenham um tamanho pequeno, baixa rotação e alto torque, interferindo na sua velocidade. O torque é a força de rotação do eixo do motor, o qual está diretamente acoplado à roda com o diâmetro adequado para a aplicação. A estrutura da roda é toda envolvida de borracha, que tem como relevância aumentar o atrito da roda com o solo e auxiliar o veículo a escalar obstáculos caso encontre no seu caminho.

3.1.4 Proteção dos sistemas de controle, transmissão e de energia

Partindo-se da concepção inicial, o veículo na região semi-árido, eles estarão sujeitos a algumas intempéries da região como: alta temperatura, ventos fortes, solo seco e raramente úmido, e com uma grande quantidade de poeira. Além disso, o veículo poderá levar chuvas, se for aplicado em terreno aberto. O chassi terá como a função de proteger as partes eletrônicas que estão presentes no veículo como, o arduino ou raspberry, além do sistema de controle dos motores, e sensores acoplados e o sistema de transmissão.

Com tudo, o material a ser escolhido para o chassi deve ser resistente ao fogo, ter algum modo de evitar incêndio, já que a estrutura deve abarcar baterias de lítio e componentes eletrônicos.

3.1.5 Leveza

É importante o veículo ser leve, para que tenha uma necessidade menor de potência para a tração do veículo. Pensando nisso, a escolha do material que irá compor o chassi deve levar em conta a sua leveza. No entanto, a capacidade de carga (em mAh) deve ser dimensionada para que a bateria tenha capacidade de alimentar as seis rodas durante o tempo de autonomia do veículo, mas que contribua com um peso mínimo para o mesmo.

3.1.6 Baixo consumo de energia

Os veículos devem demandar baixo consumo de energia, não apenas por causa das suas contribuições. As baterias de Li-Ion adicionam peso significativo ao peso total do veículo, além de aumentar a autonomia do veículo. Deve-se pensar que um veículo tem que percorrer todas as dimensões de um pequeno terreno, o que deve levar dezenas de minutos, lembre-se que o motor DC que aciona as rodas deve ter uma velocidade baixa para mais torque esportivo em terrenos irregulares.

3.1.7 Baixo custo dos componentes

Para que a aplicação dos veículos robóticos sejam aplicados na agricultura, é necessário que eles sejam viáveis para a população agrícola. Ele deve ser projetado pensando sempre no baixo custo dos seus componentes, para que se possa tornar-se á acessível. Como sua parte eletrônica, de tração e de alimentação, e o chassi devem ser construídos otimizando-se seu custo-benefício.

3.2 CHASSI

O chassi é a estrutura do suporte, que tem como objetivo suportar as torções e as cargas que o veículo sofre durante ao longo do seu caminho, também serve como suporte para colocar suas placas que irão controlar.

O chassi pode ser feito de aço, alumínio e no nosso caso será feito de cano pvc, como o nosso projeto sempre teve a ideia inicial de desenvolver um veículo de baixo custo, mas com peças de fácil acesso e qualificado para desenvolver o protótipo.

Para realizar a montagem da estrutura usamos canos pvc de esgoto, com medidas diferentes que compõem a estrutura, cano de joelho 90° e 40°, luva pvc, utilizamos chapinhas de aço para junção, parafusos, porca de parafuso, arruelas, presilha enforca gato e blocos de madeira, uma vasilha plástica para depositar a parte eletrônica.

Material	Tipo/Medidas	Quantidade
Cano PVC	18 cm	2
Cano PVC	15 cm	2
Cano PVC	13 cm	4
Cano PVC	10 cm	2
Cano PVC	9 cm	2
Cano PVC	5 cm	2
Joelho	40°	4
Joelho	90°	6
Luva	PVC	2
Chapinha de aço	10 cm	4
Bloco de madeira	5 cm	2
Presilha	Plástico	16
Parafuso	-	4
Parafuso	-	3
Porca	-	7

Arruelas	-	7
Vasilha	Plástica	1

Tabela 1: Materiais da estrutura física; Fonte: Autoria própria (2022).

Apresentação das medidas dos canos que foram utilizados para desenvolver o chassi na figura 8:



Figura 8: Materiais da estrutura física.

Fonte: Autoria própria (2022).

3.3 SISTEMA ELETRÔNICO E DE TRAÇÃO

O Arduino é uma placa prototipagem eletrônica de código aberto, que pode ser comandado através de um aplicativo que está disponível tanto para celulares como computadores, tanto de baixo custo como de fácil acesso. Só colocando no código o comando que deseja passar para o arduino, e ele será comandado.

Então, pensando nessa placa de fácil acesso e com seus benefícios que estão adequados com a ideia principal desse projeto, resolvemos utilizar no nosso protótipo para dar o comando ao automóvel para se locomover nos terrenos pedregosos que desejamos aplicar.

Para desenvolver a parte eletrônica, utilizamos arduino, bateria recarregável, jumpers, rodas, motores, o suporte para baterias, jumpers, módulo driver ponte H L9110S, módulo 134N39 Step Up e carregador de baterias de lítio e protoboard.

Quantidade	Descrição do produto
1	Arduino UNO R3 DIP + Cabo USB
2	Bateria Recarregável Li-Ion 3,6 V 2200 mAh 18650 - SEM TOP EWL18650-2200
1	Jumpers 20cm DuPont Conjuunto 40 fios Macho-Macho
1	Módulo 134N3P Step Up e Carregador de Baterias de Lítio
3	Módulo Driver Ponte H L9110S
6	Motor DC 3-6V com Caixa de Redução e Eixo Duplo
6	Rodas
1	Protopoard 170 pontos
1	Suporte para baterias

Tabela 2 : Estrutura eletrônica; Fonte: Autoria Própria (2022).

3.3.1 Esquema de montagem do sistema eletrônico

O esquema de montagem do sistema eletrônico e de tração que foi utilizado no veículo, está sendo apresentado na figura x. Os 3 módulos Ponte H L9110 cada uma irá controlar dois motores DC e requer 4 pinos de saída de dados do Arduino. No entanto, serão necessários 12 pinos de saída de dados do Arduino para que possa controlar os 3 módulos L9110.

A alimentação do Arduino é aproveitada pela mesma bateria Li-Ion 3,6V que é usada para os motores, representado na figura 9.

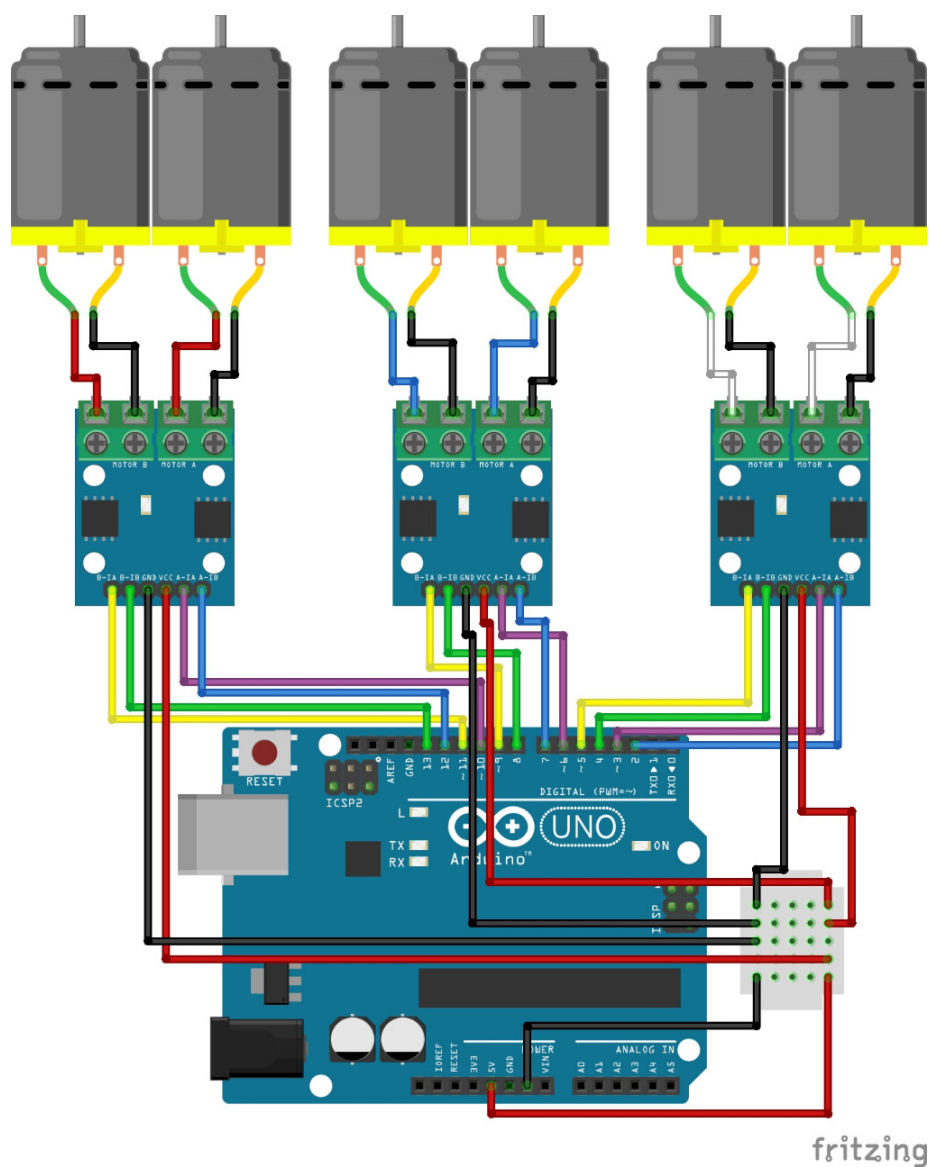


Figura 9: Esquema da parte eletrônica.

Fonte: Autoria própria (2022).

- FOTOS DO ROCKER-BOGIE CONSTRUÍDO

As figuras 10 e 11, estão mostrando o veículo finalizado em um local interno onde está totalmente plano na superfície.

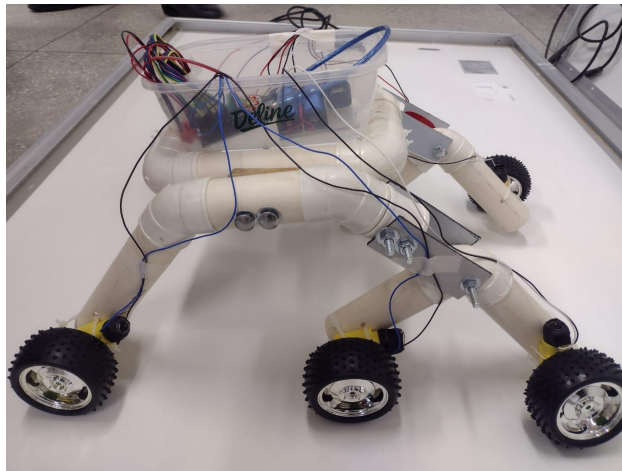


Figura 10: Parte lateral.

Fonte: Autoria própria (2022).

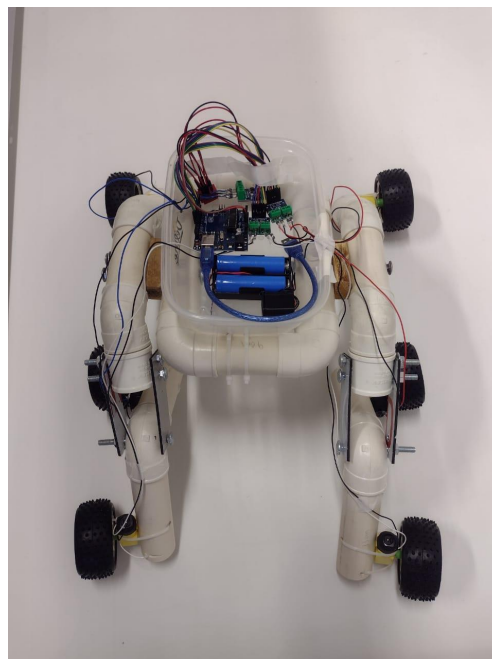


Figura 11: Parte superior.

Fonte: Autoria própria (2022).

- As figuras 12 e 13, estão apresentando as partes mais detalhadas do veículo, como a parte da suas rodas e a outra parte onde está a chapa de aço que está ligando as duas partes do chassi.

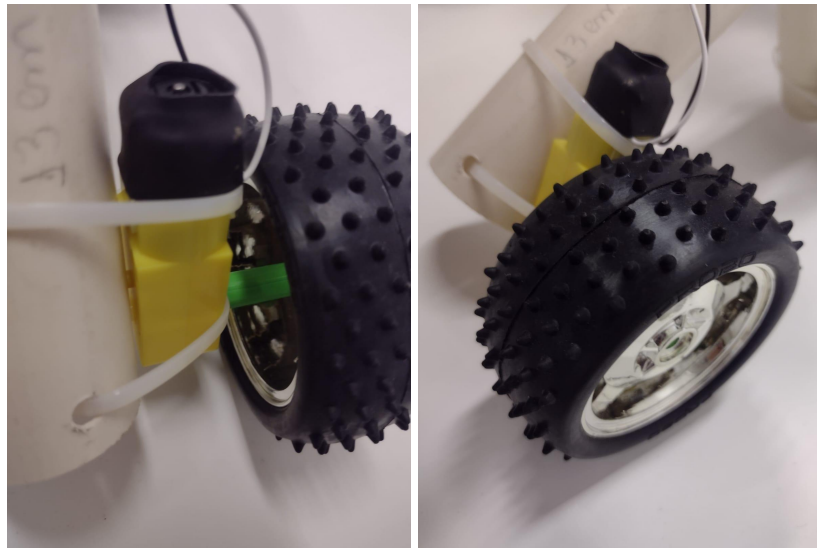


Figura 12: Parte detalhada do motor DC e a roda.

Fonte: Autoria própria. (2022).

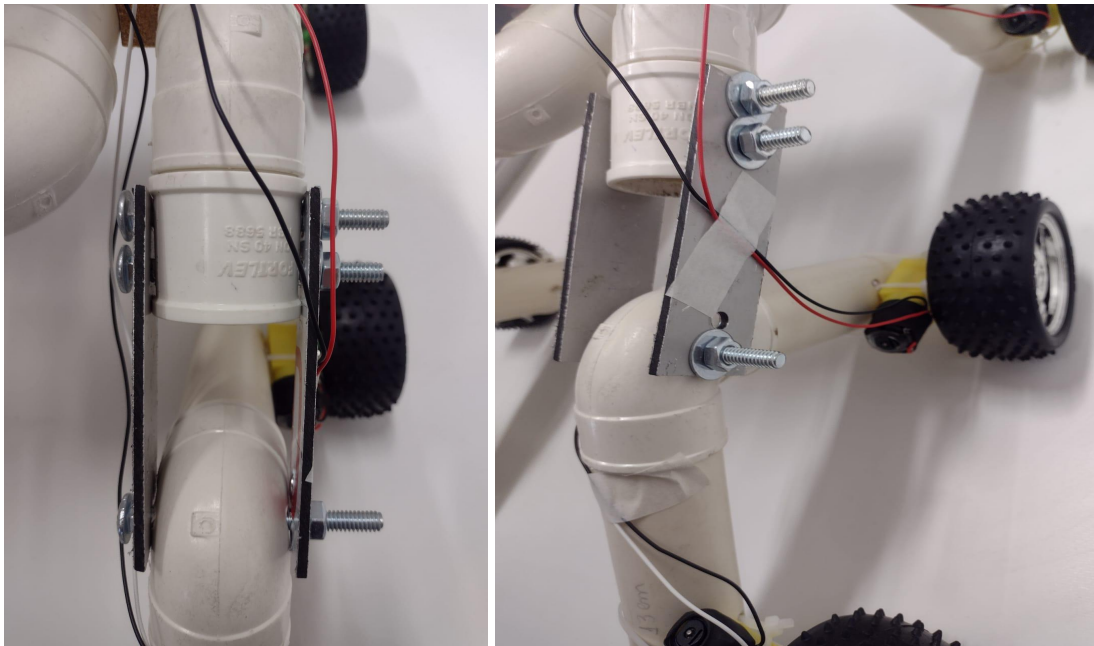


Figura 13: Junção das partes.

Fonte: Autoria própria (2022).

- As figuras a seguir representam o veículo andando pela região no semi-árido e escalando obstáculos.



Figura 14: Subindo um obstáculo.

Fonte: Autoria própria (2022).



Figura 15: Subindo um obstáculo.

Fonte: Autoria própria (2022).



Figura 16: Andando pelo terreno semi-árido.

Fonte: Autoria própria (2022)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O cano de PVC (policloreto de vinila) utilizado para montar a estrutura física do protótipo foi escolhido considerando que o polímero de PVC é um material plástico leve, durável e econômico. Os canos de PVC para água fria são fáceis de encontrar em uma variedade de tamanhos em lojas de materiais de construção. Esses canos podem ser facilmente cortados e unidos para formar a geometria do projeto do chassi. Sua boa elasticidade contribui para a robustez do veículo. Além disso, o PVC é resistente ao fogo ou retardante de chamas e não será inflamado por fontes comuns de ignição, como faíscas e faíscas.

Para alimentar os motores e a placa Arduino, foi escolhida uma bateria recarregável Li-Ion pelo custo-benefício, que apresenta diversas vantagens, embora não seja o menor custo entre as opções disponíveis. A alta densidade de energia contribui para uma maior autonomia do veículo e menor tamanho, otimizando o uso do espaço do veículo. A longa vida útil aumenta o tempo de substituição da bateria. O peso leve (por exemplo, mais leve que as baterias de chumbo-ácido) contribui para uma das características desejáveis de um veículo, ou seja, a portabilidade. Além disso, são resistentes a altas temperaturas, o que é fundamental considerando que o veículo é destinado a cultivos no semiárido.

O modelo Rocker-Bogie demonstra robustez por ser um sistema de suspensão que utiliza poucas partes móveis. A estabilidade do compartimento que abriga o sistema de controle também é evidente.

Para o projeto atual, devido à prioridade dada à montagem do chassi, não foi focada a tração suficiente do veículo. Verificou-se que o motor escolhido para teste devido à sua ampla disponibilidade no comércio brasileiro de componentes eletrônicos, um motor DC com caixa de engrenagens e eixos duplos, não era o mais adequado para aplicações do Rocker-Bogie.

A necessidade de tração nas 6 rodas no sistema Rocker-Bogie, aliada à natureza irregular do terreno em que o veículo se desloca, implicou que o motor selecionado para tração das rodas deve ter baixa rotação e alto torque. Esses motores são de mais fácil acesso nas plataformas de comércio eletrônico chinesas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio de toda essa apresentação que foi desenvolvida ao longo deste trabalho, concluímos que conseguimos apresentar a proposta inicial desta pesquisa, onde era desenvolver um chassi de baixo custo do modelo de suspensão Rocker-Bogie. O material escolhido para trabalhar na estrutura do chassi, o PVC, mostrou-se suficiente e adequado, onde atendeu todas às expectativas mínimas de estabilidade e robustez do veículo, provando ser uma boa escolha de bom custo-benefício.

Com base nos testes de acionamento dos motores e tração que foram realizados, espera-se que os futuros modelos a serem desenvolvidos, busquem utilizar os motores DC com maior torque e baixa rotação. Por ser um motor DC que temos fácil acesso no mercado brasileiro, mostrou inadequado para fornecer a tração necessária que estava a espera na aplicação do modelo Rocker-Bogie em terrenos pedregosos como os do semiárido.

Aos futuros pesquisadores que irão aprimorar o modelo, devem aprimorar a parte de proteção do sistema de controle, transmissão e energia das intempéries características semi-árido, como radiação forte e grande quantidade de poeira, e de eventuais chuvas.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Sérgio Murilo; **A REGIÃO SEMIÁRIDA DO NORDESTE DO BRASIL: Questões Ambientais e Possibilidades de uso Sustentável dos Recursos**. Rios Eletrônica - Revista Científica da FASETE. Universidade Federal de Campina Grande - UFCG. 2011.

TANGERINO, Giovana; GODOY, Eduardo; TABILE, Rubens; SANCHES, Rodrigo; INAMASU, Ricardo; PORTO, Arthur. **CONTROLE DE ESTERÇAMENTO DE ROBÔ AGRÍCOLA MÓVEL DE QUATRO RODAS GUIÁVEIS**. São João del-Rei - MG. 2011.

WANG, Sunxin; LI, Yan. **DYNAMIC ROCKER-BOGIE: Análise cinemática em um aprimoramento de estabilidade transversal de alta velocidade**. Revista Internacional de Engenharia Aeroespacial. 2016.

NIMER, Edmon. **Pluviometria e recursos hídricos de Pernambuco e Paraíba**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 128 p. il. (recursos naturais e meio ambiente, 3).

CORREIA, R.C; KIILL, L. H. P.; MOURA, M. S. B. de; CUNHA, T. J. JESUS JÚNIOR, L. A. de; ARAÚJO, J. L. P. **A REGIÃO SEMIÁRIDA BRASILEIRA. In: A região semiárida brasileira**. [S. l.: s. n.], 2011. cap. 1, p. 21-48.

TABILE, Rubens Andre; INAMASU, Ricardo Y.; PORTO, Arthur José Vieira. **Robótica na agricultura de precisão**. 2011.

DE ANDRADE, Anna Jéssica Pinto; DA SILVA, Neusiene Medeiros; DE SOUZA, Cimone Rozendo. **As percepções sobre as variações e mudanças climáticas e as estratégias de adaptação dos agricultores familiares do Seridó potiguar**. Desenvolvimento e Meio ambiente, v. 31, 2014.

IPCC, Core Writing Team. Climate change 2007: synthesis report. **Contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**, p. 104, 2007.

DE OLIVEIRA, Altacis Junior et al. Potencialidades da utilização de drones na agricultura de precisão. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 9, p. 64140-64149, 2020.

CARDOSO, Natanael Magalhães. Sistema de suspensão rocker-bogie. **Rocker-bogie**, [s. l.], 27 jun. 2020.

BICKLER, Donald. **Roving over Marte**. [S. l.], 22 out. 2008. Disponível em: Internet Archive Wayback Machine.

HOW to Make a Mars Rover / **Rocker bogie Robot - Stair climbing**. Direção: Navin Khambhala. [S. l.: s. n.], 2017. Disponível em: Youtube.

TEXEIRA, João Vitor; FERNANDES, Jorge Augusto Souto; PAULA , Raphael de Jesus; ANDRADE, Vinícius Oliveira. **VEÍCULO ROBÔ PARA TERRENOS IRREGULARES**, [s. l.], 2018.

AGRICULTURA de Precisão: O que é e para o que serve esse modelo?. [S. l.], 23 abr. 2019. Disponível em: Blog UPIS.

Programa Agricultura de Precisão. [S. l.], 2017. Disponível em: SENAR.

APÊNDICE - Apresentação do código Arduino

A seguir é apresentado o código do Arduino que foi utilizado para o teste dos motores:

```
int pinov_motor[6] = {11, 10, 9, 6, 5, 3};
int pinol_motor[6] = {13, 12, 8, 7, 4, 2};

#define PARAFRENTE 0
#define PARATRAS 1
#define PARAR 0

void aciona(byte motor, byte direcao, byte velocidade)
{
    motor--;
    velocidade = velocidade - direcao * 255 ;

    analogWrite(pinov_motor[motor], velocidade);
    digitalWrite(pinol_motor[motor], direcao);
    delay(10);
}

void setup() {
    for (int i=2; i<14; i++)
        pinMode(i, OUTPUT);
    Serial.begin(9600);
}

void loop() {

    aciona(1, PARATRAS, 255);
    aciona(2, PARATRAS, 255);
    aciona(3, PARATRAS, 255);
    aciona(4, PARATRAS, 255);
    aciona(5, PARATRAS, 255);
    aciona(6, PARATRAS, 255);
    delay(2000);
    aciona(1, PARAFRENTE, 255);
    aciona(2, PARAFRENTE, 255);
    aciona(3, PARAFRENTE, 255);
    aciona(4, PARAFRENTE, 255);
    aciona(5, PARAFRENTE, 255);
    aciona(6, PARAFRENTE, 255);
    delay(2000);
}
```

Os pinos listados pelo vetor `pinov_motor` definem a velocidade dos motores, enquanto que os pinos listados pelo vetor `pinol_motor` definem o sentido (horário ou antihorário), controlando assim se o veículo dirige-se para frente ou para trás. A função `aciona(motor,direcao,velocidade)` aciona o motor definido pelo parâmetro `motor`

com a direção e velocidade definida pelos parâmetros `direcao` e `velocidade`, direcionando o comando adequado à pinagem respectiva do motor. A função principal `loop()`, que é executada continuamente pela placa Arduino, aciona os 6 motores nos dois sentidos (para a frente e para trás), com um intervalo de 2 segundos entre os acionamentos.