

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA – *CAMPUS* PATOS DE MINAS  
ENGENHARIA ELETRÔNICA E DE TELECOMUNICAÇÕES

VICTOR BELL DE OLIVEIRA

**ESTUDO E COMPARAÇÃO DE TIPOS DE ROBÔS NA AGRICULTURA  
PARA A PULVERIZAÇÃO DE PESTICIDA**

PATOS DE MINAS  
2021

VICTOR BELL DE OLIVEIRA

**ESTUDO E COMPARAÇÃO DE TIPOS DE ROBÔS NA AGRICULTURA  
PARA A PULVERIZAÇÃO DE PESTICIDA**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como requisito para conclusão do trabalho de conclusão de curso de graduação em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações da Faculdade de Engenharia Elétrica *Campus* Patos de Minas.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Costa Ramos.

VICTOR BELL DE OLIVEIRA

**ESTUDO E COMPARAÇÃO DE TIPOS DE ROBÔS NA  
AGRICULTURA PARA A PULVERIZAÇÃO DE PESTICIDA**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como requisito para conclusão do trabalho de conclusão de curso de graduação em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações da Faculdade de Engenharia Elétrica *Campus* Patos de Minas.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Costa Ramos.

Patos de Minas, 24 de setembro de 2021

**Banca Examinadora**

---

Prof. Dr. Daniel Costa Ramos – FEELT/UFU (Orientador)

---

Profa. Dra. Elise Saraiva – FEELT/UFU (Membro 1)

---

Prof. Dr. Renan Alves dos Santos – FEELT/UFU (Membro 2)

## RESUMO

Um dos pilares da economia do Brasil é a agricultura, uma vez que, o país apresenta uma vasta expansão territorial e também uma terra fértil para o cultivo de várias culturas. E por esse pilar ter atingido uma grande importância para o desenvolvimento e sustento do país, se fez necessário à sua modernização. Esta modernização diz respeito tanto às técnicas de plantio utilizadas, quanto às tecnologias utilizadas em todo o ciclo de produção, abrangendo desde o plantio até a colheita. Motivados pelo conceito de modernização no campo que ocorre por meio da Agricultura 4.0, este trabalho tem como tema a utilização da robótica na agricultura, tendo como escopo a aplicação segura de pesticidas por robôs móveis terrestres. O uso de robôs na agricultura se deve à alguns fatores como terrenos de difícil acesso para o agricultor fiscalizar e dar manutenção, dificuldade em cobrir um vasto território e dificuldade de acesso para combate de pragas localizadas mais próximas do solo. Dentre as questões a serem averiguadas estão a viabilidade energética, de adaptabilidade, de custo e a tecnológica da solução proposta. É proposto o levantamento sobre os trabalhos realizados nesta área, os tipos de robôs utilizados e uma avaliação e comparação entre os tipos e modelos utilizados, conforme critérios técnicos de usabilidade, aplicação e de desempenho.

**Palavras-chave:** Robótica móvel, hexápode, drones, robôs, agricultura de precisão, Pesticidas, Agricultura 4.0, robôs pulverizadores.

## ABSTRACT

*One of the pillars of Brazil's economy is agriculture, since the country has a vast territorial expansion and also a fertile land for the cultivation of various cultures. And because this pillar has achieved great importance for the development and sustenance of the country, it was necessary for its modernization. This modernization concerns both the planting techniques used and the technologies used throughout the production cycle, ranging from planting to harvesting. Motivated by the concept of modernization in the field that takes place through Agriculture 4.0, this work has as its theme the use of robotics in agriculture, having as its scope the safe application of pesticides by land mobile robots. The use of survival in agriculture is due to some factors such as land with difficult access for agriculture to inspect and maintain, difficulty in covering a vast territory and difficulty of access to combat pests, which are closer to the ground. Among the questions and those investigated are energy feasibility, adaptability, cost and a technology of the proposed solution. It is proposed to survey the work carried out in this area, the types of exercises used and an evaluation and comparison between the types and models used, according to technical criteria of application, application and performance.*

**Keywords:** *Mobile robotics, hexapod, drones, robots, precision agriculture, pesticides, agriculture 4.0, spray robots.*

## LISTA DE SIGLAS

AGEITEC	Agência Embrapa de Informação Tecnológica
IoT	Internet of Things ou internet das coisas
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMATER	Instituto Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
EPI	Equipamentos de Proteção Individual
RPA	Remotely Piloted Aircraft
GPS	Global Positioning System, ou Sistema de Posicionamento Global
ARPAC	Aeronaves Remotamente Pilotadas de Alta Capacidade
mAh	Mili Amper Hora
DC	Corrente Contínua
W	Watts
AC	Corrente Alternada
m/s	Metros por segundo
m	Metros
PWM	Pulse Width Modulation
Kg	Kilo gramas
mA	Mili Amper
MHz	Mega Hertz
CPU	Central Processing Unit ou Unidade de Central de Processamento
PIC	Peripheral Interface Controller
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
Km/h	Kilo metros por hora
BLDC	Motores De Corrente Continua Sem Escovas

RPM	Rotações por Minuto
AMP	Micro Plantadeira Autônoma
LED	Light Emitting Diode ou Diodo Emissor de Luz

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Culturas campeãs de uso de pesticidas. ....	9
Figura 2 - Plantação de Arroz realizada em curvas de nível. ....	13
Figura 3 - <i>Drone</i> de asa fixa e giratória. ....	14
Figura 4 - Exemplo de robô terrestre com rodas, robô TerraSentia. ....	15
Figura 5 - Hexápode hexagonal e hexápode retangular respectivamente. ....	15
Figura 6 - Exemplo de <i>drone</i> Pulverizador da DJI. ....	18
Figura 7 - Protótipo desenvolvido por Schildt. ....	19
Figura 8 - Robô exemplificado por Junior. ....	19
Figura 9 - Esquemático do AURORA. ....	20
Figura 10 - Robô desenvolvido na pesquisa de Sulakhe. ....	20
Figura 11 - RHEA fleet, robô utilizado na pesquisa de Emmi. ....	21
Figura 12- Plataforma Agrirobot. ....	21
Figura 13 - Plataforma SAVSAR. ....	21
Figura 14- Estrutura programável de controle utilizada para pulverização. ....	22
Figura 15 - Robô para identificar ervas daninhas. ....	24
Figura 16 - Tipos de rodas. ....	26
Figura 17 - Tipos de sensores. ....	27
Figura 18 - Sensor Ultrassônico. ....	27
Figura 19 - Sensor Infravermelho. ....	28
Figura 20 - Sensor inercial. ....	28
Figura 21 - Módulo GPS. ....	29
Figura 22 - Sensor de umidade do ar. ....	29
Figura 23 - Sensor de umidade do solo. ....	30
Figura 24 - Modelo de rotor único. ....	31
Figura 25 - Modelo com quatro rotores. ....	31
Figura 26 - Modelo com seis rotores. ....	32
Figura 27 - Modelo com oito rotores. ....	32
Figura 28 - Tipos de robôs aéreos. ....	35
Figura 29 - Bico Cônico. ....	38
Figura 30 - Bico Leque. ....	38
Figura 31 - Componentes que compõem um VANT. ....	44
Figura 32 - Rádio Controle do <i>drone</i> . ....	44



Figura 33 - Intercalação do sentido de funcionamento dos motores. ....	45
Figura 34 - <i>Drone</i> desenvolvido por CARVALHO, B.R. ....	45
Figura 35 - Máquina auto propelida. ....	46
Figura 36 - <i>Drone</i> pulverizador por arrasto. ....	46
Figura 37 - Exemplo de <i>drone</i> Pulverizador da DJI. ....	47
Figura 38 - Exemplo de um octa robô apresentado por UM Rao MOGILI. ....	48
Figura 39 - Corte de um motor BLDC. ....	48
Figura 40 - Casos de estabilidade para o hexápode: estaticamente estável, estaticamente instável e criticamente estável, respectivamente. ....	50
Figura 41 - Protótipo de robô hexápode desenvolvido por Alessandro SHILDT. ....	50
Figura 42 - Fluxograma de funcionamento do robô. ....	51
Figura 43 - Robô Fazendeiro Prospero. ....	52
Figura 44 - Robô Hortibot apresentado por JUNIOR e desenvolvido por JØRGENSEN. ....	53
Figura 45- Visão geral do AURORA desenvolvido por Anthony MANDOW. ....	54
Figura 46 - Fábrica de verduras. ....	55
Figura 47 - Diagrama de bloco do robô desenvolvido. ....	56
Figura 48 – AgriRobot desenvolvido por George ADAMIDES. ....	57
Figura 49 – SAVSAR utilizado para comparação do AgriRobot. ....	57
Figura 50 - Esquemático desenvolvido no CAD do robô desenvolvido por Philip J. SAMMONS. ....	59
Figura 51 - Trilhos distribuídos em uma estufa de plantação de tomates. ....	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens de um hexápode.....	25
Tabela 2 - Formas de locomoção.....	34
Tabela 3 - Tipos de pesticidas e seu controle. ....	36
Tabela 4 - Caracterizações de alguns tipos de bico. ....	39
Tabela 5 - Requisitos do AgriRobot e SAVSAR. ....	58
Tabela 6 - Tabela com os tipos de locomoção dos robôs apresentados. ....	63
Tabela 7 - Tabela de baterias dos robôs apresentados.....	64
Tabela 8- Tabela de autonomia dos robôs apresentados. ....	64
Tabela 9 - Tabela de tipos de sensores dos robôs apresentados. ....	65
Tabela 10 - Tabela de especificações de GPS. ....	66
Tabela 11 - Tipos de comunicações e controles dos robôs estudados.....	67
Tabela 12- Tabela de preços dos robôs estudados.....	68
Tabela 13 - Tipos de micro controladores utilizados. ....	69
Tabela 14 - Tabela de apresentação das velocidades dos robôs estudados. ....	70
Tabela 15 - Desvantagens dos robôs estudados. ....	71
Tabela 16 - Volume e pesos dos tanques utilizados pelos robôs estudados.....	72

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
1.1	TEMA	12
1.2	PROBLEMATIZAÇÃO	12
1.3	HIPÓTESE	16
1.4	OBJETIVOS	16
1.4.1	Objetivos Gerais	16
1.4.2	Objetivos Específicos	16
1.5	JUSTIFICATIVA	17
1.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	22
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>24</b>
2.1	ROBÓTICA MÓVEL	24
2.1.1	Componentes básicos	26
2.1.2	Atuação	30
2.1.3	Processamento	32
2.1.4	Locomoção	33
2.2	PESTICIDAS	36
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>40</b>
3.1	METODOLOGIA	40
<b>4</b>	<b>ROBÔS AÉREOS PARA APLICAÇÃO DE PESTICIDAS</b>	<b>43</b>
4.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
<b>5</b>	<b>ROBÔS TERRESTRES PARA APLICAÇÃO DE PESTICIDAS</b>	<b>49</b>
5.1	ROBÔS TERRESTRES COM PERNAS	49
5.2	ROBÔS TERRESTRES COM RODAS	52
5.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
<b>6</b>	<b>COMPARAÇÃO ENTRE ROBÔS PULVERIZADORES</b>	<b>62</b>
6.1	LOCOMOÇÃO	63
6.2	BATERIA E AUTONOMIA	63
6.3	TIPOS DE SENSORES	65
6.4	GPS	66
6.5	COMUNICAÇÃO E CONTROLE	66

6.6	PREÇO DO ROBÔ.....	68
6.7	TIPO DE MICROCONTROLADOR.....	69
6.8	VELOCIDADE MÁXIMA DO ROBÔ.....	70
6.9	LIMITAÇÕES .....	71
6.10	VOLUME / PESO DO TANQUE COM PESTICIDA.....	72
6.11	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	73
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>75</b>

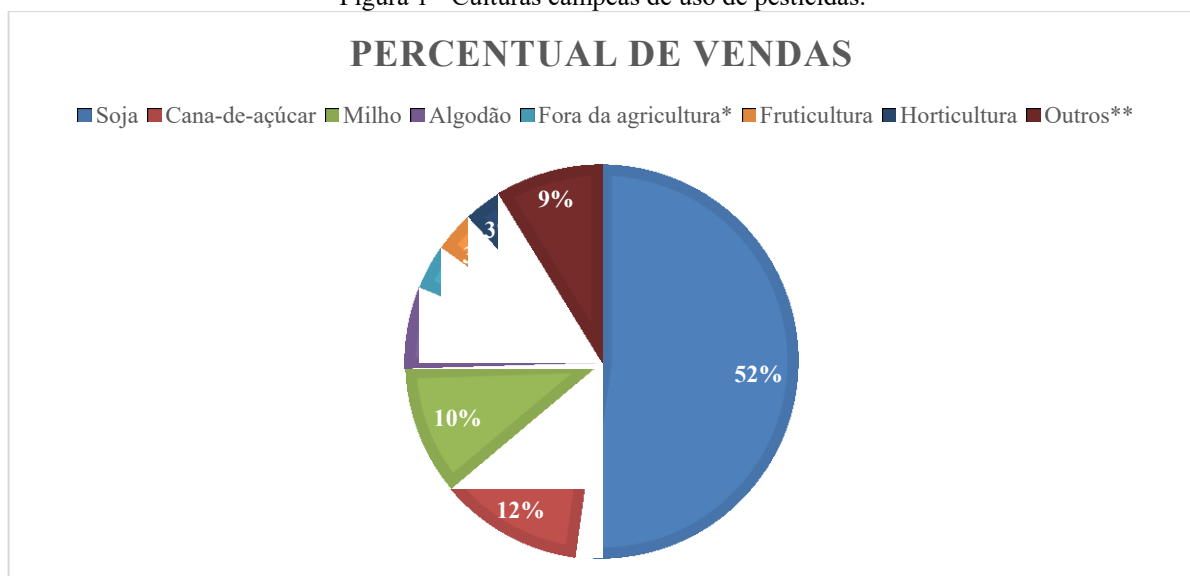
## 1 INTRODUÇÃO

Um dos pilares da economia do Brasil é a agricultura, uma vez que, o país apresenta uma vasta expansão territorial e também uma terra fértil para o cultivo de várias culturas. O Brasil, ao longo dos anos, passou de importador de alimentos à um grande provedor, principalmente devido ao fato de que hoje se produz mais por hectare de terra, ponto importante para a preservação dos recursos naturais [1]. E por esse pilar ter atingido uma grande importância para o desenvolvimento e sustento do país, se fez necessário à sua modernização. Esta modernização diz respeito tanto às técnicas de plantio utilizadas, quanto às tecnologias utilizadas em todo o ciclo de produção, abrangendo desde o plantio até a colheita.

Segundo a Agência Embrapa de Informação Tecnológica (AGEITEC) tanto insetos como até outras plantas podem causar danos em plantações [2]. Insetos, plantas, bactérias só podem ser considerados pragas a partir do alcance de um determinado índice de dano econômico para a cultura plantada [2].

O controle de pragas é um dos grandes desafios dos agricultores, pois, se não são controladas a mesma, acaba afetando a plantação. O controle de pragas é feito, na maioria das vezes, por pesticidas que apresentam um resultado satisfatório, porém, esses elementos trazem consequências sérias à longo prazo podendo contaminar o solo, água e o próprio ser humano. Para combater tais pragas se faz necessário o uso de pesticida sendo o Brasil consumidor deste produto em cerca de 1 bilhão de litros de pesticida a cada ano [3]. É possível ver em quais culturas se gastam mais pesticidas na Figura 1.

Figura 1 - Culturas campeãs de uso de pesticidas.



Fonte: [4]

O uso de pesticidas tem crescido significativamente por dois fatores: o primeiro, para combater pragas, como fungos, insetos, ervas daninhas, ácaros, bactérias, nematoides, roedores entre outras formas de vida animal ou vegetal, indesejáveis ou que podem prejudicar à agricultura e doenças que afetam o campo; e o segundo para tornar o “produto final” mais atrativo, uma vez que ele não teve problemas de pragas e doenças no seu desenvolvimento. Porém, esses pesticidas podem desencadear problemas sérios quando são aplicados incorretamente e podem trazer ao produtor um prejuízo financeiro, danos letais onde sua manifestação é “a longo prazo” e também trazem danos ao meio ambiente [5] [6].

O pesticida está mais presente na agricultura. Entretanto, este produto também é usado em residências, jardins públicos entre outros. Apesar de oferecer um controle para pragas e doenças na plantação, o uso excessivo de pesticida pode desencadear vários problemas ambientais e problemas de saúde. Os problemas ambientais desencadeados pelo uso da dosagem incorreta resultam na contaminação do ambiental ao redor do local aplicado prejudicando tanto a fauna como a flora [6]. Já problemas de saúde estão ligados ao aplicador do pesticida e para outras pessoas que residem, ou se encontram próximo ao local aplicado, podendo afetar também os consumidores finais da cultura que foi exposta ao produto. Com o crescimento do conceito “*Smart Farms*”, se fez enxergar como a tecnologia pode contribuir para o desenvolvimento da agricultura e da necessidade, do pensamento de como produzir mais com menos esforço e uma das soluções é a possível integração da tecnologia atual com os métodos convencionais da agricultura [7]. O conceito *Smart Farms* envolve vários desafios, alguns deles são [7]:

- Tomada de decisão sustentável: Relacionar de uma forma produtiva a eficácia de qualquer tomada de decisão que antes esteve relacionada ao usuário;
- Educação e conhecimento dos agricultores: Um dos motivos mais importantes pois, ele não está relacionado a tecnologia em si e sim, na qualidade e qualificação de escolaridade do campo que muitas vezes é um grande limitador quando se trata de aplicação tecnológica;
- Limitações de infraestrutura digital: Por se tratar de zona rural um dos principais obstáculos que se tem é a falta de infraestrutura digital como a falta de cobertura de rede ou de telefonia móvel;

Ao relacionar robótica com agricultura as áreas como automação e *Internet of Things* (IoT) oferecem diversos serviços, dentre eles o de pulverização de pesticidas que ainda é um serviço que está crescendo muito no mercado tendo um destaque maior em robôs aéreos [8].

A robótica é um ramo multidisciplinar em ascensão, envolvendo todos os segmentos da engenharia [9]. Devido a esse crescimento, pode-se observar o uso da robótica na agricultura, na indústria, no entretenimento, na educação e em outras diversas áreas de atuação [10].

No contexto da agricultura, o uso de robôs e de outras novas tecnologias, originou a chamada *Smart Farm* ou Agricultura 4.0. Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), o aproveitamento dos avanços de tecnologia na agricultura para remodelar processos ao longo da cadeia de valor, ou seja, do pré-porteira, que é o momento que o produto está sendo ainda plantado/cultivado, até o pós-porteira que é quando o produto está no processo de comercialização [11]. Isso significa que ao decorrer do tempo será possível realizar na agricultura uma comunicação altamente integrada, visualizar e prever condições meteorológicas *real-time*, melhorando a gestão de lavouras, automação, a utilização de sistema de monitoramento, rastreabilidade, maior aplicabilidade de sensores com o intuito de obter dados mais precisos [11].

A robótica na agricultura, em especial, foi um setor que obteve diversos avanços. Estes avanços se devem pelas vantagens que o robô apresenta ao ser comparado com humanos como uma maior velocidade, mínimo tempo de manutenção (neste quesito qualquer tipo de parada não planejada do homem como muito calor, desgaste físico é considerado um tempo de manutenção do mesmo), se manter ativo em mais horas e trabalhar de forma consistente [12]. Portanto, de certa forma, o desenvolvimento da tecnologia e a adoção da robótica no campo está proporcionando uma boa eficiência no manejo de produção, estimulando de certa forma a gestão do conhecimento agrônômico, e o lucro em longo prazo das propriedades rurais referente a uma diminuição significativa dos impactos indesejáveis no meio ambiente [13].

A robotização da agricultura deve considerar todos os fatores que estão envolvidos na produção, para que essa relação robô-humano possibilite a intensificação da produção com o menor impacto possível [12]. O uso de robôs na agricultura é visto em diversas partes que compõem o todo como colheita [14], no plantio [15], robôs que fornecem para a planta insumos na quantidade necessária e realiza a irrigação [16] e os robôs pulverizadores [17]. E para alcançar a alta produtividade com o menor impacto possível o campo está seguindo uma tendência de substituir máquinas pesadas e de grande porte por tecnologias mais sutis que são baseadas em informações e que também propiciam ao usuário operações autônomas viáveis e confiáveis [13]. As máquinas e métodos utilizados atualmente para auxiliar o processo de pulverização estão entrando em desuso por apresentar uma eficiência muito pequena, tem uma

maior compactação no solo e esses impactos estão direcionando uma tendência para o desenvolvimento de robôs moveis para a realização de tarefas específicas, mas visando o aumento de eficiência consequentemente resultando em uma menor compactação do solo e trabalho autônomo [13].

## 1.1 TEMA

Este trabalho tem como tema uma investigação sobre a atual utilização de robôs na agricultura, estabelecendo como escopo, a sua utilização na aplicação de pesticidas. É proposto o levantamento sobre os trabalhos realizados nesta área, os tipos de robôs utilizados e uma avaliação e comparação entre os tipos e modelos utilizados, conforme critérios técnicos de usabilidade, aplicação e de desempenho.

## 1.2 PROBLEMATIZAÇÃO

Segundo um estudo realizado pelo Instituto Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER), aproximadamente 46% das aplicações de pesticidas são desperdiçadas devido a erro humano [5]. Esses desperdícios estão relacionados a 5 principais erros [5]:

- **Escolher um produto inadequado:** É indicado sempre que o usuário se certifique que o produto tem registro no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) e que o mesmo seja indicado para aquela cultura e para aquele tipo de problema.
- **Não regular o equipamento:** É de grande importância revisar toda ferramenta que é utilizada para a pulverização do produto.
- **Errar na limpeza e manutenção dos bicos:** A limpeza é uma etapa importante da manutenção, pois, é onde que se realiza a higienização e a troca dos bicos, caso isso não ocorra o equipamento distribuirá uma quantidade não-uniforme na hora da pulverização.
- **Não regular corretamente o pulverizador:** Como se trata de um equipamento ele apresenta uma vida útil, e ao estar desgastado demasiadamente o mesmo pode resultar em uma perda de calibração e o desgaste natural do bico que faz a pulverização.
- **Desrespeitar as condições climáticas:** Não é recomendado a aplicação desses compostos em dias que apresentam ventos acima de 10km/h, pois, o líquido



pulverizado, independente da direção do vento, apresenta uma probabilidade de atingir a pessoa que está pulverizando caso ele não esteja com equipamentos de proteção individual (EPIs).

Analisando esses pontos apresentados, é possível tirar algumas conclusões. Uma delas é que o aparelho deve estar regulado, calibrado, conservado e limpo para que não ocorra nenhum tipo de desperdícios ou acidente na aplicação de pesticidas. Outra conclusão é o risco que a presença do ser humano neste processo pode ser prejudicial à saúde dele, uma vez que, o instrumento de pulverização apresentar algum tipo de desgaste e a condição climática for desfavorável isso pode prejudicar em longo prazo a saúde do aplicador [5].

A aplicação sem planejamento de pesticidas ou prevenção para que nenhum dos desperdícios ocorra é importante e os impactos em relação à saúde podem atingir tanto os aplicadores dos produtos que são as pessoas mais próximas da aplicação, membros da comunidade e até os consumidores dos alimentos caso no mesmo apresente algum resíduo. Os problemas que surgem devido à exposição ao pesticida são problemas respiratórios como bronquite asmática e outras anomalias pulmonares, efeitos gastrointestinais, distúrbios musculares, debilidade motora e fraqueza. Outros estudos apontando que é possível apresentar problemas cardiovasculares, neurológicos e cutâneos.

A presença dos robôs na agricultura cresceu para evitar e controlar esses desperdícios e por outros fatores também como terrenos de difícil acesso para o agricultor fiscalizar, dar manutenção. Em sua plantação e não só em localização, mas às vezes a cultura demanda uma técnica de plantio diferente como, por exemplo, a técnica de curvas de nível que é utilizada na cultura do arroz para melhor aproveitamento da água como pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 - Plantação de Arroz realizada em curvas de nível.



Fonte: [19]

Quando se trata dos assuntos de tecnologia aplicados à pesticida, o mais comum é o *drone* pulverizador ou *Remotely Piloted Aircraft* (RPA) [20]. O RPA é capaz de armazenar e

pulverizar pesticidas na plantação. Esses *drones* normalmente apresentam sensores de micro-ondas nas laterais e na frente que realizam as medidas de variações do terreno. Além disso os RPAs possuem algoritmos em seus sistemas que fazem com que a dosagem correta de pesticida seja liberada, pois a dosagem incorreta pode ser prejudicial para a plantação. Além da dosagem, também é realizado o controle da altura e da velocidade ideal que o *drone* deve apresentar para a correta aplicação.

Tratando-se de *drones* geralmente são equipados com câmeras, sensores multiespectrais e *softwares* modernos que garantem que todo o processo gere dados e desses dados sejam gerados relatórios para os usuários [20]. Existem diversos tipos de *drones* e alguns são confeccionados para trabalhos específicos. Os mesmos podem apresentar dois tipos diferentes de asas: pode ser o tipo de asas fixas que é semelhante a um avião ou do tipo de asas giratórias que são semelhantes a um helicóptero como pode ser visto Figura 3, mas geralmente *drones* são do tipo asas giratórias por apresentarem uma dinâmica de voo melhor podendo ter sua orientação controlada em três dimensões [20].

Figura 3 - *Drone* de asa fixa e giratória.



Fonte: [21]

O *drone* apresenta vantagens como operação precisa, baixo custo e eficiência operacional alta, 20 até 100 vezes mais rápido que o trabalho manual [21]. Além disso, opera em terrenos onde máquinas agrícolas não conseguem, como montanhas [6]. Porém a pulverização não é local, o que dificulta no combate de pragas e insetos que habitam no caule e na raiz na cultura [22]. A vantagem de usar um RPA é a aplicação em áreas remotas e de difícil acesso, como altas declividades, terraços, encostas de morros [17]. As maiorias desses *drones* possuem a capacidade de se locomoverem ao redor do ambiente e são independentes de uma localização física, isto é, apresenta uma liberdade maior de área em que o mesmo pode estar atuando/funcionando.

Existem várias subdivisões de tipos de robôs, porém, este trabalho apresentará somente os tipos terrestres com rodas, terrestre com pernas e aéreos. Estas categorias de robôs geram um aumento das pesquisas e projetos desenvolvidos [23]. Ao se tratar de área rural, é muito

comum observar robôs que simulam um comportamento de um maquinário comum no dia-a-dia do agricultor, o trator. Os robôs em questão apresentam na maioria das vezes quatro rodas e com exceção aos sensores, sistema de posicionamento global (GPS) e outras tecnologias seu funcionamento é semelhante a um carro de brinquedo. Este tipo de robô que garante um serviço autônomo minimiza a exposição dos operadores ao contato do veneno, apresenta um custo menor comparado ao *drone*, mas também apresenta suas limitações [24]. Pode ser visto na Figura 4 um exemplo de robô terrestre, o robô TerraSentia que usa sensores para captar informações das plantas de maneira autônoma [25].

Figura 4 - Exemplo de robô terrestre com rodas, robô TerraSentia.



Fonte: [25]

O robô tipo terrestre com pernas, como por exemplo, os robôs hexápodes são populares e possuem um comportamento de movimentação semelhante a uma aranha. Isto facilita a utilização deste robô em superfícies irregulares ou rudimentares como escadas, minas terrestres, estradas de terra e outros. Robôs com pernas apresentam uma vantagem quando comparados a robôs com rodas essa vantagem é o contato com solo, enquanto robôs com rodas necessitam para se locomover contato contínuo com o solo, o robô de pernas utiliza apenas pontos de apoio isolados por coordenação de reposição das suas pernas. Existem vários tipos de robôs hexápodes pode ser visto na Figura 5 [23].

Figura 5 - Hexápode hexagonal e hexápode retangular respectivamente.



Fonte: [23]

No decorrer deste trabalho será apresentado um estudo de vários tipos de robôs seguindo as classes apresentadas acima, a aérea e a terrestre com pernas e com rodas. Serão detalhadas algumas características de periféricos que alguns robôs que serão apresentados neste trabalho possuem, periféricos como sensores, micro controlador, bateria, GPS entre outros. No final será possível analisar em uma determinada aplicação qual o melhor tipo de robô que poderá ser escolhido para a execução do serviço de pulverização.

### 1.3 HIPÓTESE

O questionamento que motiva esse trabalho é sobre a possibilidade de se obter dados atuais e relevantes sobre a aplicação robótica de pesticida ao se analisar a literatura disponível, traçando parâmetros para analisar características comuns entre os robôs desenvolvidos.

### 1.4 OBJETIVOS

#### 1.4.1 Objetivos Gerais

A proposta deste trabalho é desenvolver um material atual baseado em artigos científicos, notícias, webmateriais de possíveis modelos de robôs que atuam na área da agricultura com pulverização de pesticidas e realizar um estudo comparativo com as informações disponíveis.

#### 1.4.2 Objetivos Específicos

Para a realização do trabalho, o primeiro objetivo é fazer um banco de artigos relevantes sobre tipos de robôs existentes e suas devidas infraestruturas (sensores, bateria, GPS, controle) possibilitando a análise dos robôs mais adequados para a pulverização e a que se deve esta adequação.

**Objetivo Específico 1:** *Estruturar um banco de artigos para ter conhecimento dos tipos de robôs ativos no mercado e suas especificações.*

Estruturar um banco de artigos é o primeiro e mais importante passo para esse trabalho, uma vez que, será através deste banco que sairá todos os dados, informações, pesquisas e diretrizes a serem apresentadas ao decorrer do trabalho.

**Objetivo Específico 2:** *Apresentação de diversos modelos de robôs e estabelecer critérios para a comparação.*

Serão mostrados modelos de robôs usuais para a pulverização de pesticidas e através desta amostragem, trabalhar com a comparação dos critérios de cada modelo. Os resultados desta comparação devem ser analisados para a filtragem de um melhor resultado.

**Objetivo Específico 3:** *Comparar as informações disponíveis de cada modelo, indicando as melhores características e as possibilidades de futuros projetos na área.*

Ao concluir cada objetivo específico, espera-se obter um estudo concreto de apresentação de diversos robôs pulverizadores sendo eles aéreos, terrestres com rodas ou terrestres com pernas e possibilitando a conclusão de modelos com melhores desempenhos na área de pulverização de pesticidas.

## 1.5 JUSTIFICATIVA

Existe uma grande diversidade de robôs com a aplicação focada na agricultura e em especial, no controle de pragas. Essa diversidade se reflete também no tipo e características de robôs usados, sendo foco de diversos trabalhos como apontado a seguir.

Os robôs aéreos são predominantes e possuem um longo histórico nessa aplicação. Podem-se citar como exemplo as Aeronaves Remotamente Pilotadas de Alta Capacidade (ARPAC), que oferece um serviço de pulverização com o acompanhamento do operador sobre a área de aplicação definida pelo cliente. O *drone* garante uma cobertura de até 1000 hectare por dia, uma autonomia de voo de até 67 minutos entre outros benefícios [26]. No Brasil, existem empresas especializadas neste tipo de serviço, como a *Skydrones*, que oferece diversos serviços no ramo de agricultura [27] e para o ramo de pulverização em especial, é utilizado o *drone* PELICANO [28].

O *drone* comercial da DJI mostrado na Figura 6 é outro exemplo de *drone* pulverizador comercial [29]. O DJI tem um grande desempenho para pulverização, suas operações são autônomas podendo atuar em uma variedade de terrenos, fazendas, terraços e pomares em

larga escala. Possui radar digital omnidirecional, isto é consegue emitir o sinal de localização com as mesmas propriedades em todas as direções, que auxilia o DJI ter uma maior estabilidade e segurança de voo. O mesmo apresenta uma carga útil de 20 litros com uma largura de pulverização de 7 metros fazendo com que a operação de pulverizar fique mais eficiente. O DJI vem equipados com 8 bicos e bombas de alto volume de pulverização que apresenta uma taxa de 6 litros/minuto. Sobre a interface com o usuário é intuitiva e o controlador inteligente apresenta uma tela de 5,5 polegadas e ainda fornece um suporte as baterias externas que pode fazer que dure o dobro de tempo o que torna o *drone* perfeito para jornadas longas de trabalho com muito carga [29].

Figura 6 - Exemplo de *drone* Pulverizador da DJI.



Fonte: [29]

As empresas que oferecem serviços com *drones* pulverizadores garantem ao cliente uma economia no intervalo de 50% até 60% em termos de cuidado da plantação. Além disso, também garantem uma maior segurança para a plantação e para o produtor [30] [31].

A grande dificuldade neste tipo de robôs é conciliar o peso do *drone* devido ao tanque com defensivos e a sua autonomia de voo. Alternativas utilizando robôs terrestres tem surgido nos últimos anos, como demonstra o trabalho realizado por SHILDT [23]. No trabalho foi feito um levantamento de vários modelos de robôs estudados por pesquisadores, incluindo até modelos de robôs terrestres com pernas, como o hexápode indicado na Figura 7.

Figura 7 - Protótipo desenvolvido por Shildt.



Fonte: [23]

Os robôs com pernas não são muito usuais para serem usados na agricultura, pelo fato de ser algo diferente aos olhos do agricultor e pouco efetivo já os robôs com roda são os mais comuns após os robôs aéreos. A pesquisa de JUNIOR [24] desenvolveu um protótipo baseado no estudo de outros robôs agrícolas, resultando no modelo indicado na Figura 8. Este modelo atende a satisfação do usuário final em relação à qualidade, confiabilidade, segurança e que trabalhe por longos períodos e ser ambientalmente corretos.

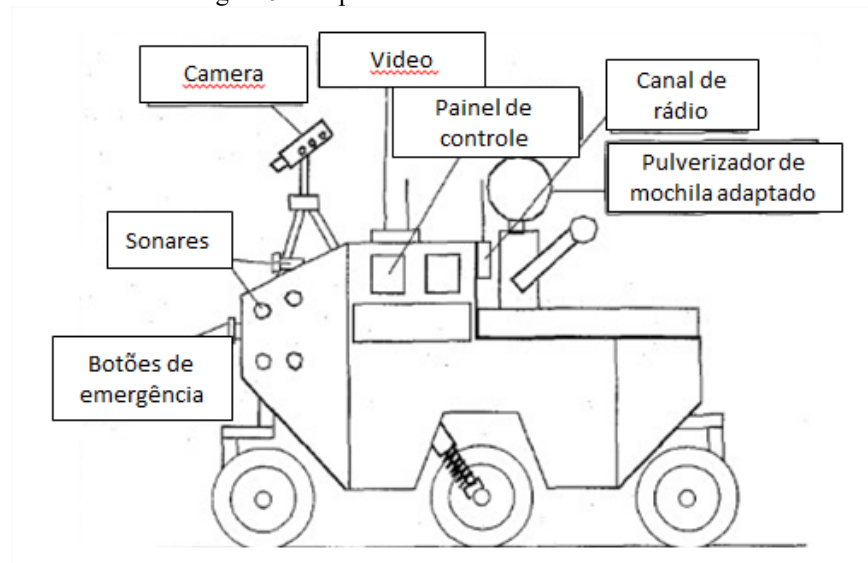
Figura 8 - Robô exemplificado por Junior.



Fonte: [24]

Na pesquisa de MANDOW [32] traz o AURORA, como pode ser visto na Figura 9, que tem como objetivo substituir o trabalho humano em uma estufa, uma vez que a navegação do robô é autônoma, mas ao mesmo tempo compartilhando o controle ao homem.

Figura 9 - Esquemático do AURORA.



Fonte: [32]

No trabalho de SULAKHE [33], o autor utiliza um robô para fazer uma comparação entre uma pulverização manual em ambiente aberto e uma estufa. O protótipo de robô desenvolvido, mostrado na Figura 10, é acionado por um micro controlador e controlado por aplicativo pelo usuário. O pesquisador concluiu que o robô consegue atender os requisitos fazendo toda pulverização da estufa sem operadores humanos.

Figura 10 - Robô desenvolvido na pesquisa de Sulakhe.



Fonte: [33]

EMMI [34] por sua vez, busca trazer em sua pesquisa uma arquitetura de *hardware* que melhora a confiabilidade do robô devido aos inúmeros sensores e atuadores. Tem o intuito de melhorar a confiabilidade, mas também diminuir custos de desenvolvimento e



permitir uma maior integração com diferentes *softwares*. Alguns dos robôs trabalhados na pesquisa podem ser observados na Figura 11.

Figura 11 - RHEA fleet, robô utilizado na pesquisa de Emmi.



Fonte: [34]

No trabalho de ADAMIDES [35] o objetivo é desenvolver/transformar uma plataforma robótica, Agrirobot e Savsar (Figura 12 e Figura 13, respectivamente), que apresente a função de pulverização. O robô é semiautônomo apresentando interfaces para o usuário realizar a tele operação, a pesquisa traz em seu desenvolvimento detalhes dos sensores utilizados, GPS, plataforma do robô, capacidade de peso suportado pela plataforma.

Figura 12- Plataforma Agrirobot.



Fonte: [35]

Figura 13 - Plataforma SAVSAR.



Fonte: [35]

Por fim, outro exemplo é a pesquisa realizada em SAMMONS [36], que tem como foco, apresentar uma solução que diminua potencialmente os riscos atuais para a saúde humana envolvidos na pulverização. O robô móvel autônomo realiza o controle de pragas em estufas comerciais e ao desenvolver a pesquisa são apresentados acessórios utilizados para garantir que o robô possua uma boa eficácia, o robô pode ser visto na Figura 14.

Figura 14- Estrutura programável de controle utilizada para pulverização.



Fonte: [36]

Todos esses trabalhos demonstram a variedade de características e de diversos modelos de robôs utilizados para a o controle de pragas por meio da aplicação de pesticidas. Desta forma, este trabalho fará um levantamento detalhado dos trabalhos e dos robôs utilizados nos mesmos, resultando assim em possíveis *insights* sobre a melhor escolha do tipo de robô para alguma determinada situação seja plantação de grande, médio e pequeno porte, estufas entre outras.

## 1.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No Capítulo 2 será apresentada toda a fundamentação teórica que será utilizada para o estudo e comparação de vários modelos presentes no banco de artigos dando destaque para as características e diversos mecanismos que serão utilizados, apresentação dos sensores mais usuais, atuadores, controle e processamento. O Capítulo 3 será apresentado a metodologia, no Capítulo 4 uma discussão mais aprofundada direcionado para os robôs aéreos trazendo um estudo de suas características e mecanismos. No Capítulo 5 será feito o mesmo estudo de características e mecanismos de robôs terrestres dividindo em modelos com pernas e modelos

com rodas para que ocorra no Capítulo 6 uma comparação de todos os robôs apresentados e estudados neste trabalho mostrando também os resultados esperados. E por fim, no Capítulo 7, serão apresentadas as conclusões gerais do trabalho que foi desenvolvido e também possíveis projeções futuras de trabalhos que podem surgir através deste.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será apresentado a fundamentação teórica necessária para um melhor entendimento de modelos de robôs utilizados como aplicadores de pesticidas. E apresentará também vários conceitos de utilização, que ao decorrer do trabalho serão utilizados junto com os critérios para comparação onde os quais fazem toda diferença para o funcionamento do robô seja ele qual modelo for.

### 2.1 ROBÓTICA MÓVEL

Um robô é um sistema autônomo que existe no mundo físico, que é feito para sentir o ambiente, identificar o problema e pode agir sobre ele para alcançar alguns objetivos [10]. Esta definição indica alguns dos principais componentes do robô: 1 – estrutura física; 2 – sensores para perceber e medir o ambiente; 3 – atuadores para que possa agir; e 4 – um controlador para que possa ser autônomo.

Os robôs móveis são robôs capazes de se locomover em um ambiente em que estão inseridos para completar uma determinada tarefa, sendo definido como autônomo, quando o mesmo possui habilidade de tomar decisões sozinhas, a partir das informações do ambiente. São utilizados em diversas aplicações como inspeção, busca, resgate, trabalhos perigosos e cansativos, Na Figura 15 é possível observar um exemplo de robô plataforma com rodas que identifica ervas daninhas [10].

Figura 15 - Robô para identificar ervas daninhas.



Fonte: [37]

Dentre os desafios da robótica móvel, pode-se citar: o dimensionamento correto da fonte de energia para poder atuar e se movimentar na prática; a correta percepção do mundo em sua volta, ou seja, estar ciente de outros objetos ao seu redor a fim de evitar colisões; e as

limitações de sua construção física na locomoção, no posicionamento dos sensores e na forma de interagir com o mundo [10].

Na classe de robôs terrestre com pernas, os hexápodes (robôs com 6 pernas), podem ser divididos em duas categorias: os hexápodes de formato hexagonal ou de formato retangular, os quais as distribuições das patas são simétricas em ambos os lados como pode ser visto na Figura 5 [23].

Esses robôs, assim como outros, possuem suas desvantagens e vantagens que surgem pela locomoção ser por pernas, como pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens de um hexápode.

Vantagens	Desvantagens
Possibilidade de locomoção em terrenos irregulares	Pernas são pesadas devido ao grande número de atuadores
Utilização de pontos de apoio isolados	Carga transportada por robôs com esse tipo de locomoção é baixo
Suspensão permanentemente ativa	Há força de impacto a cada passada

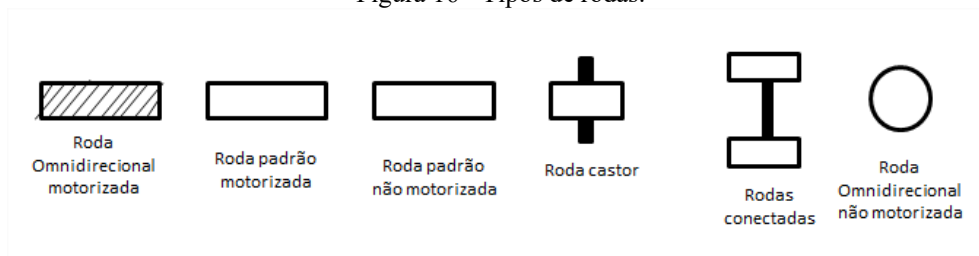
Fonte: [23]

Permanecendo ainda nos robôs terrestres os tipos que apresentam rodas também apresentam limitações e também algumas desvantagens sendo uma delas a falta de flexibilidade [33] e dificuldade de sincronizar o atuador com o sistema de locomoção [32]. O robô com rodas proporciona um menor número de atuadores, uma maior eficiência energética, além de ser eficientes em superfícies planas, porém, não muito eficiente em terrenos irregulares e tem uma implementação mecânica simples. Garante uma boa estabilidade e traz com seu uso aspectos para serem avaliados como tração, manobrabilidade e controle. E ainda apresenta vários tipos de rodas que podem ser utilizadas na montagem a castor, conectadas, omnidirecionais, padrão motorizado e não motorizado e outros tipos. Cada uma apresenta uma simbologia onde a mesma pode ser vista na Figura 16 [38].

Quando se trata de robótica móvel o assunto tende a tomar um rumo mais para robôs terrestres, isso é possível observar em vários estudos, livros, apresentações que por ser algo que apresente um grande diferencial ao comparar terrestres com aéreos. Hoje os robôs aéreos apresentam um maior espaço na Agricultura 4.0 e isso se deve pela sua eficiência, eficácia e rapidez ao realizar um serviço. Vale ressaltar também no leque de funções que o *drone* retorna ao usuário como mapeamento geográfico, leitura térmica entre outros [10].

Portanto, ao colocar um tipo ao lado do outro sempre terá algum que se destacará e esse destaque se deve aos componentes básicos. Independentemente do tipo de robô existem componentes básicos que fazem com que um apresente alguma função a mais que outro.

Figura 16 - Tipos de rodas.



Fonte: [38]

### 2.1.1 Componentes básicos

Ao trazer o termo componente básico existem diversas tecnologias que cada autor de seu robô pode considerar básico. Portanto neste trabalho se referênciamos a aparelhos que a maioria dos robôs seja eles terrestres ou aéreos apresentam como, por exemplo, sensores, atuadores e outros.

Sensores são dispositivos que permitem que o robô perceba o mundo físico, para obter informações sobre si mesmo e sobre os objetos que o cercam. A determinação de quais informações que precisam ser medidas depende do tipo de robô, da precisão das informações, da capacidade de processar estas informações e da aplicação desejada.

Ao apresentar sensores para projetos de automação existem alguns mais presentes do que outros, os mais presentes costumam ser o infravermelho, sensor de indução, ultrassônico, inercial, sensor de umidade do ar entre outros. Em geral, o grau de inteligência do robô depende fortemente de quão rapidamente ele pode perceber as variáveis do ambiente e as variáveis internas. O tipo de informação depende diretamente dos sensores que o robô possui e da tecnologia existente para aquele tipo de medição. Existem diversos sensores alguns podem ser vistos na Figura 17.

Figura 17 - Tipos de sensores.



Fonte: [39]

Ao observar os sensores utilizados nas pesquisas de SHILDT [23], JUNIOR [24], MANDOW [32], SULAKHE [33], EMMI [34], ADAMIDES [35], SAMMONS [36], CARVALHO [40] e BERNARDO [20] nota-se tipos de sensores mais comuns para utilizar em robôs neste estilo. São eles:

- Sensor ultrassônico (Figura 18): São sensores que normalmente são aplicados como dispositivos de detecção de obstáculos, mais comum para medir distancia posicionamento, controle de velocidade, capaz de medir distâncias de 2 cm a 4 m com ótima precisão e baixo preço [41].

Figura 18 - Sensor Ultrassônico.



Fonte: [41]

- Sensor de Infravermelho (Figura 19): Esses sensores tem a aplicação bem similar ao sensor ultrassônico, seu objetivo é detectar obstáculos/presença em ambientes fechados, semiabertos e aberto mudando sua configuração de acordo com o ambiente aplicado. Geralmente são sensores com uma distância de detecção de até 15 metros, um ângulo de detecção de até 115°. [42]

Figura 19 - Sensor Infravermelho.



Fonte: [42]

- Sensor inercial (Figura 20): Este tipo de sensor serve para rastreamento do movimento de um objeto em um determinado espaço. Um sensor inercial costuma ser a combinação de um acelerômetro (mede as forças de aceleração através de um sistema de mola fixa a uma base que se estende ou distende retornando a aceleração), giroscópio (não muito diferente do acelerômetro este sensor indica a posição que determinado objeto se encontra no espaço através da força da gravidade) e magnetômetro (que mede a intensidade, o sentido e a direção dos campos magnéticos ao redor). [43]

Figura 20 - Sensor inercial.



Fonte: [43]



- GPS (Figura 21) também é um módulo muito utilizado em robôs partindo do pressuposto que ele se tornou essencial atualmente pela importância da geolocalização que o robô se encontra na operação. Este módulo utiliza a interface Receptor/Transmissor Universal Assíncrono para comunicar com o Arduino em uma velocidade de 9600 *bits* por segundos [44].

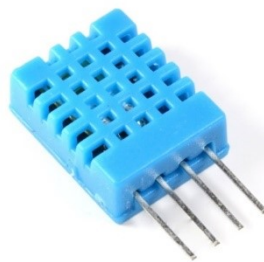
Figura 21 - Módulo GPS.



Fonte: [44]

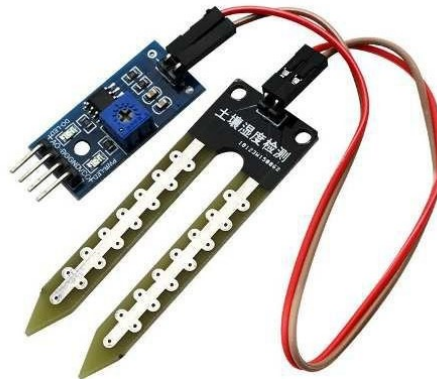
- Outro sensor bem comum em robôs de agricultura, especialmente em robôs que são utilizados em estufas, é o sensor de umidade seja do ar ou solo (Figura 22 e Figura 23, respectivamente). Os mais utilizados se tratando de estufas é o de umidade do ar, porém, isso não descarta a utilização dos sensores de umidade do solo. Ambos os sensores funcionam de modo semelhante tendo como diferença o meio que estão em atividade (solo e ar). O modo de funcionamento se pela criação de uma corrente elétrica através de sondas, uma vez que, pela corrente se obtém um valor de resistência é por este valor que se identifica a umidade do meio, geralmente o valor da resistência vai de 0 a 1023 *ohms* [45].

Figura 22 - Sensor de umidade do ar.



Fonte: [45]

Figura 23 - Sensor de umidade do solo.



Fonte: [45]

Ao decorrer do trabalho será possível observar que existem sensores mais usuais do que outros presentes em um robô. Costumam ser mais usuais os sensores de detecção de obstáculos sendo ele de indutivo, infravermelho, ultrassônico e isso é compreensível e justificável pelo meio que o robô pulverizador se encontra onde o terreno é irregular. Existem outros sensores em aplicação como o GPS, medidores de umidade, velocidade, temperatura que elevam o robô pela quantidade de dados que o robô poderá captar e fornecer.

### 2.1.2 Atuação

Os atuadores (ou efetadores) permitem que o robô aja no mundo real, seja por meio do próprio movimento (rodas, pernas, nadadeira, asas, etc.) ou manipulação de objetos. Dentre as formas que os atuadores podem ser acionados, destacam-se a eletricidade, hidráulica e a pneumática. As principais formas de realizar acionamentos elétricos na robótica são por meio da utilização motores, incluindo o motor de corrente contínua, o motor de passo e o servo motor. Na pesquisa de SHILDT [23] a estrutura do robô tem uma alimentação de uma bateria de Níquel Metal-Hidreto de 7,2 volts (V) e 3800 mili amper hora (mAh) resultando em aproximadamente uma autonomia de 10 minutos considerando um uso intenso do robô. No trabalho de JUNIOR [24] o robô possui um motor hidráulico sendo ele de corrente contínua (DC). A estrutura possui 4 rodas e o motor é abastecido com gasolina. MANDOW [32] desenvolve em sua pesquisa uma estrutura que é uma plataforma octogonal e conta com a estrutura de pulverização de uma bomba costal adaptada para o uso. O motor do robô é um motor de 2600Watts (W) que é alimentado por um gerador de corrente alternada (AC) que permite a operação autônoma, o motor também necessita de gasolina para o funcionamento. SULAKHE [33] apresenta um robô que possui motores DC que tem como alimentação uma bateria de 12V que proporciona uma velocidade menor que 0,5 metros por segundo (m/s) em um raio maior que 0,5 metros (m). A pesquisa SAVSAR e AgriRobot de ADAMIDES [35] a

plataforma apresenta um braço robótico, a bateria, não é informado dados sobre sua potência/voltagem, garante pelo menos 5 horas de autonomia, na estrutura está presente um tanque de 18 litros para o armazenamento do pesticida a ser pulverizado. Apresentado por SAMMONS [36] sua pesquisa traz o robô que apresenta um motor acionado por uma placa de controle *Pulse Width Modulation* (PWM) de alta potência que capta sinais analógicos (de 0 a 5V) gerados pelo micro controlador fazendo com o que o robô se movimente. A estrutura anda sobre trilhos e sua velocidade máxima é de 0,26m/s, uma vez que, o robô se encontra em cima dos trilhos. Ao decorrer da pesquisa de BERNARDO [20] o *drone* estudado apresenta um motor 13t 1000kv *drone* F450 Outrunner Brushless Aeros que tem como características uma rotação de 1000 giros por minuto/volt. A estrutura apresenta 4 motores resultando em uma capacidade de carga de 1,6 kilograma (kg). A bateria utilizada é uma Lipo3S de 2800 mili Amper. Na pesquisa de CARVALHO [40] é apresentado vários tipos de *drones* comerciais e por questões de sigilo comercial não é apresentado características técnicas detalhadas do “produto”, porém, é dada a capacidade de voo de cada *drone* sendo do DJI Agras MG-1, Pelicano, JT Sprayer, AGL-20 uma capacidade de voo de 10 a 15 minutos e do ElevaSpray 150 uma capacidade de voo de 2 horas tendo o conhecimento que o ElevaSpray ainda não é comercializado. Por fim MOGILI [46] cita inúmeros exemplos de *drones* e utilizando o modelo Yamaha trazendo informações que mostra que o *drone* é controlado por canal de rádio e podem apresentar multi-rottores. Esse *drone* traz diversas formas como o modelo mais simples que possui duas asas que resulta, em relação à forma aerodinâmica, um deslizamento mais fácil em seu funcionamento, outro modelo citado é com rotor único, que remete muito a figura de um helicóptero, Figura 24 , outro modelo é a plataforma com quatro rotores (Figura 25), seis rotores (Figura 26), oito rotores (Figura 27). Se tratando de rotores independentes dos números sempre a metade funcionará no sentido horário e a outra metade no sentido anti-horário garantindo uma melhor estabilidade do eixo.

Figura 24 - Modelo de rotor único.



Fonte: [46]

Figura 25 - Modelo com quatro rotores.



Fonte: [46]

Figura 26 - Modelo com seis rotores.



Fonte: [46]

Figura 27 - Modelo com oito rotores.



Fonte: [46]

### 2.1.3 Processamento

O ponto principal do robô é onde ocorre o seu processamento de ações, ou seja, a tomada de decisões sobre as informações captadas pelo sensor, a decisão de ações para repassar aos atuadores e de outras informações úteis ao cumprimento de uma determinada tarefa. Essa tomada de decisão pode ser feita de forma simples em um nível de *hardware*, mas o mais comum é a utilização de dispositivos capazes de um processamento determinado por *software*. Estes dispositivos podem ser desde um computador (*notebook*), um celular, um processador embarcado ou um microcontrolador. Dentre as soluções citadas, a utilização de microcontroladores é mais utilizada devido a sua simplicidade, baixo custo e disponibilidade de material didático. O processamento do estudo de SHILDT [23] é feito por um módulo *Bluetooth* que possibilita a comunicação da estação base com o circuito mestre sempre na forma serial RS232 facilitando assim a transmissão. JUNIOR [24] utilizou um processamento que apresenta um sistema de posicionamento local baseada em visão computadorizada, portanto a estrutura não apresenta GPS. O Hortibot tem um computador padrão industrial (*fanless*- sem ventilação) de controle embarcado em sua estrutura. O mesmo contém um módulo de Unidade de Central de Processamento (CPU) compatível com o Intelx86 de 300 Mega Hertz (MHz), um módulo de barramento CAV e módulo internet e seu controle se deve por programação tudo via *software* e se encontra em programação Linux. Com foco de manter o projeto com um baixo custo e mais acessível MANDOW [32] no seu projeto faz uso de recursos computacionais de baixo custo mantendo um padrão operacional junto com um kernel em tempo real. A programação é feita remotamente ou pode ser feita pelo controle de bordo e a movimentação do robô é feita através de um joystick. No estudo de SULAKHE [33] o micro controlador utilizado foi o Peripheral Interface Controller 16F877 (PIC16F877) com núcleo de 14 bits, funcionando até 20MHz. O mesmo possui um serial *Bluetooth* que

apresenta o dispositivo mestre e escravo. A programação é feita pela linguagem Embedded C, linguagem muito similar a C e o robô é controlado via *Smartphone Android*. O mesmo apresenta uma câmera conectada via WiFi, porém, a mesma não influencia em seu processamento de controle. O processamento do protótipo desenvolvido por ADAMIDES [35] funciona através de imagens. A estrutura apresenta várias câmeras embarcadas, a primeira câmera é a Dome PTZ AXIS P5512 que fica na frente do robô e fornece a visão frontal do robô, já a segunda câmera é a Logitech Sphere que se encontra na parte superior traseira fornecendo a visão periférica e a terceira câmera se encontra no bico de pulverização para o *feedback* da área de pulverização. Não é informado na pesquisa o tipo de programação ou possíveis modelos de micro controladores utilizados. O robô é controlado por um gamepad de Playstation 3 e um teclado de computador padrão tudo com acesso a internet sem fio (protocolo WiFi). SAMMONS [36] desenvolveu o robô proposto em Dynamic C (linguagem de programação que é uma variação de C). Na pesquisa não informa qual tipo de micro controlador utilizado, porém, o funcionamento é baseado em sinais PWM e depende muito dos sensores embarcados, uma vez que, os mesmos só permitiram o deslocamento/movimentação do robô se o mesmo se encontrar nos trilhos da estufa. Na pesquisa de CARVALHO [40] o micro controlador utilizado foi o Arduino UNO tendo como a programação na plataforma sketch, padrão Arduino, onde o projeto inteiro resultou em 3 *sketchs*, uma para a configuração do rádio controle com o acelerômetro e giroscópio, outro programa para a configuração para o componente que é responsável de controlar a velocidade do motor por meio de pulsos PWM e o outro para a configuração de voo. Já na pesquisa de BERNARDO [20] não é fornecida a informação do tipo de processamento utilizado nos *drones* comerciais apresentados. E MOGILI [46] traz que o micro controlador utilizado é o AT Mega 250 e é controlado por ondas de rádio.

#### **2.1.4 Locomoção**

Os robôs móveis necessitam de mecanismos de locomoção que permitam o seu movimento pelo ambiente. Mas há uma grande variedade de formas de locomoção e a abordagem adotada para locomoção é parte fundamental de um projeto de robô móvel. A maioria das formas de locomoção são bio-inspiradas, com exceção do movimento por rodas [47]. Dentre os desafios da locomoção estão a estabilidade, as características do ponto de contato e o tipo de ambiente. A estabilidade depende da geometria do robô e dos pontos de contato, o centro de gravidade e a compreensão de estabilidade estática e dinâmica, além da inclinação do terreno. Já sobre os pontos de contato, é importante determinar o tamanho e

formato do ponto de contato, o ângulo de contato e o atrito gerado no movimento. Sobre o ambiente, é necessário saber a estrutura básica e o meio no qual o robô irá percorrer.

As principais formas de locomoção terrestre são por rodas e com pernas, onde o número, posicionamento e tipo de roda ou perna afeta drasticamente o tipo e a forma de locomoção como pode-se ver na Tabela 2 [47].

Tabela 2 - Formas de locomoção.

Robôs Terrestres	Pernas	Bípede	2 pernas, humanoides
		Quadrúpede	4 pernas, animais
		Hexápode	6 pernas, insetos
		Outros	8 ou mais pernas
	Rodas	Número de Rodas	1,2,3,4...
		Tipo de movimento	Normal, diferencial, omnidirecional
		Tipo de Roda	Rodas, esteiras, etc.
Outros	Rastejantes, escaladores, bolas, micro, saltadores, etc		

Fonte: Adaptado de [47]

Já os robôs aéreos apresentam dois tipos de referências quando se trata de locomoção. Uma vez que os robôs aéreos, mais usualmente chamado de *drone*, são confeccionados para a realização de trabalhos específicos como pulverização, estudo de nivelamento de terreno e também utilizado para diversão como gravar vídeos, tirar fotos entre outros. O tipo de asa que o *drone* apresenta interfere na sua dinâmica de voo tendo os tipos de asas giratórias e asas fixas, como apresentado na Figura 28. O tipo de *drone* com asas fixas (similar a um avião) apresenta um peso maior que o ar e apresenta mais rotores já que necessita de uma maior propulsão para manter uma estabilidade de voo. Já o tipo de *drone* com asas giratórias (similar a um helicóptero) geralmente apresentam de 4 a 8 asas e apresentam uma dinâmica de voo em comparação a um *drone* de asas fixas. Se tratando de autonomia de voo o *drone* de asa fixa pode mapear uma área de aproximadamente 20 km<sup>2</sup>, já o *drone* de asas giratórias 1 km<sup>2</sup> [20].

Figura 28 - Tipos de robôs aéreos.



Fonte: [20]

## 2.2 PESTICIDAS

Esse elemento também é conhecido como agrotóxico produto fitossanitário, defensivo agrícola. Possui vários tipos de vertentes de produtos como: fertilizantes (auxiliam na plantação), herbicidas (controle de ervas daninhas), inseticidas (controle de insetos), acaricidas (controle de ácaros), fungicidas (controle de fungos), nematicidas (controle de vermes), rodenticidas (controle de roedores) entre outros mostrados na Tabela 3 [48]. Considera-se como praga todo ser vivo que causa prejuízos econômicos à atividade agrícola desenvolvida pelo homem [49].

Tabela 3 - Tipos de pesticidas e seu controle.

Grupo de pesticidas	Controle
Acaricidas	Ácaros
Avicidas	Aves
Bactericidas	Bactérias
Carrapaticidas	Carrapatos
Columbicidas	Pombos
Formicidas	Formigas
Fungicidas	Fungos
Herbicidas	Ervas daninhas
Inseticidas	Insetos
Larvicidas	Larvas
Molusquicidas	Moluscos
Nematicidas	Vermes
Piolhidas	Piolhos
Pisticidas	Peixes
Predacidas	Vertebrados
Purguicidas	Pulgas
Raticidas	Roedores

Fonte: [48]

Estes compostos químicos são formulados com o intuito de aumentar o potencial produtivo dos solos e das plantas, garantindo um maior controle de pragas na produção [48].

Os impactos de pesticidas tem sido motivo de alerta e preocupação em diversas áreas de pesquisa pelo fato de ter desencadeado mudanças adversas na qualidade ambiental como,



por exemplo, extinção de espécies, contaminação do solo ou prejudicial aos consumidores e, agricultores. Além disto, as pragas têm criado resistência a estes produtos fazendo com que o agricultor aumente a dosagem que não é recomendada pela legislação e aumenta a aplicação. O consumo mundial de pesticidas teve um aumento gradativo, atingindo 2,6 milhões de toneladas por ano; deste total 85% são utilizados na agricultura. Entre os países da América Latina, o Brasil assume o primeiro lugar com um consumo estimado em 50% da quantidade comercializada. Em *ranking* mundial o Brasil se encontra entre as três primeiras posições [48].

No geral baseado no banco de artigos científicos e comerciais que foram levantados para realizar este estudo os tipos mais comuns de pesticidas utilizados são, os inseticidas pelo grande prejuízo que insetos podem oferecer a plantação como, por exemplo, a lagarta muito comum em culturas como soja, feijão e milho entre outros insetos como a mosca branca, caruru. Muito comum também os herbicidas dando destaque que ervas daninhas é um problema muito comum em qualquer cultura. Esta praga é muito comum em pastos também sendo prejudicial para criadores de gado. Existem diversos tipos de pragas combatidas pelos herbicidas como a tiririca, porém, a mais comum é a erva-daninha [48].

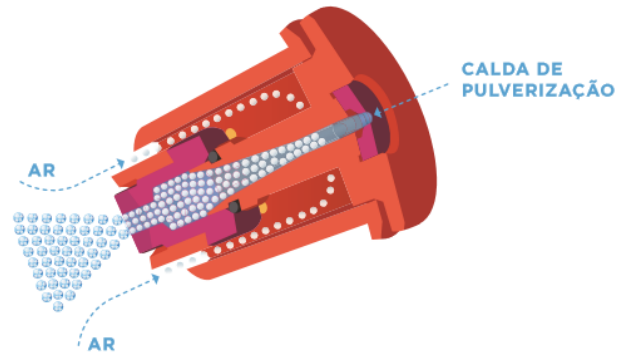
Existem diversas pragas que são controladas por pesticidas e para o mesmo ser aplicado tem que ter seu cuidado pelos problemas que a pulverização mal controlada pode desencadear. Isso faz com que a atenção em acessórios de pulverização tenha uma atenção resultando uma pulverização controlada e eficiente. Os bicos são de extrema importância nos equipamentos de aplicação de pesticidas, por isso os mesmos devem ser examinados individualmente, a fim de avaliar o desgaste e o alinhamento. É de grande importância que o volume de calda a ser aplicado, o número e o tamanho das gotas, a pressão de funcionamento dos bicos, a dosagem, a diluição, a agitação e a necessidade da adição de adjuvantes sejam verificados cuidadosamente [50].

Para realizar a limpeza dos bicos não se devem utilizar instrumentos como: agulhas, arames, canivetes e outros com finalidade de desentupir os bicos. O correto é utilizar um instrumento que não danifique o orifício do bico, por exemplo, um fio de *nylon* ou ar comprimido [50].

É recomendado que seja feita a troca dos bicos quando a média da vazão ultrapassar em 10% a vazão de um bico novo. Pois ao atingir mais de 10% de desgaste suas características podem prejudicar de alguma forma a aplicação resultando com isso, um controle deficiente, toxicidade à cultura e o desperdício de pesticidas. Na Figura 29 e Figura 30 é possível observar

os tipos mais tradicionais de bicos, já na Tabela 4 é possível observar algumas caracterizações de alguns tipos de bico [50].

Figura 29 - Bico Cônico.



Fonte: [51]

Figura 30 - Bico Leque.



Fonte:[52]

Tabela 4 - Caracterizações de alguns tipos de bico.

Ponta	Características	Indicações	Pressão (bar)
<b>Bico Leque (Jato Plano Comum)</b>			
XR Teejet Jacto 110 UF	Trabalha com baixa pressão; Baixa pressão gotas grandes; Maior pressão reduz a deriva; Maior pressão gotas pequenas; Desempenho Ótimo	Herbicidas pré e pós-emergentes	1 – 4
Teejet Albuz Jacto API 110	Gotas menores Desempenho bom	Herbicidas pré e pós-emergentes	2 - 4
DG Teejet Jacto 110 LD	Redução de deriva Gotas grandes.	Ótimo para produtos sistêmicos; Bom para produtos de contato.	2 -4
Turbo Teejet	Redução de deriva excelente; Gotas grandes; Redução entupimento.	Ótimo para produtos sistêmicos; Bom para produtos de contato.	1 – 6
Al Teejet	Redução de deriva; Gotas grandes.	Ótimo para produtos sistêmicos; Bom para produtos de contato.	3 – 8
Twinjet	Gotas pequenas	HB contato	2 – 4
<b>Bico de Grande Ângulo</b>			
<b>Bico Leque</b>			
Turbo Floodjet (TK) Jacto DEF	Baixa deriva; Gotas grandes; Redução entupimento.	Herbicidas pré e pós - emergentes	1 – 3
<b>Bico Cônico</b>			
Fulljet	Jato cônico cheio; Baixa deriva; Gotas grandes.	Excelente para herbicidas pré e pós – emergentes	1-3

Fonte: [50]

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido em uma sequência de etapas, iniciando pela revisão bibliográfica para entender a área do trabalho, seguido pela revisão teórica para compreender os conceitos encontrados nos trabalhos, para então estabelecer parâmetros e realizar a comparação dos robôs dentro dos critérios escolhidos. Por fim é realizada a avaliação composição e das características dos robôs encontrados. Esses tópicos são descritos em detalhes nos itens a seguir.

##### 1) Revisão Bibliográfica

Inicialmente foi realizado um levantamento de trabalhos e pesquisas já desenvolvidas anteriormente nas áreas de robótica na agricultura, agricultura de precisão e hexápodes para identificar qual método foi utilizado e qual possível dificuldade o projeto pode gerar ao decorrer do seu desenvolvimento. Foi realizado o levantamento na literatura sobre as variedades de robôs para aplicação de pesticidas, no qual foi mantida a seguinte divisão: robôs terrestres com pernas, robôs terrestres com rodas e robôs aéreos. Para filtrar os tipos de robôs que entrariam no banco de artigos, foram utilizadas palavras chaves em plataformas como *Scielo*, Google Acadêmico e portais acadêmicos de instituições de ensino nacional e internacional. As buscas foram feitas com os termos em inglês e português, sendo que os principais termos utilizados foram: robô pulverizador (*spray robot*), robô pulverizador de pesticidas (*pesticide spray robot*), robôs na agricultura (*robot in agriculture*), robôs pulverizadores de plantações (*crop spray robots*).

O fator de escolha de qual robô iria entrar no banco para o trabalho foi que o robô deveria estar relacionado ao processo de pulverização. Muitos robôs foram eliminados por apesar de ser removedor de ervas daninhas que naturalmente é uma praga, a remoção das mesmas não era por pulverização de pesticidas. Foi observado também artigos ricos em informações que detalhassem o máximo do protótipo desenvolvido para que essa pesquisa fosse desenvolvida com o maior número de informações possíveis. Infelizmente muitas pesquisas não divulgam tudo pelo fato de ser algo patenteadado ou pelo fato de o protótipo/robô já ser algo mais comercial.

## **2) Revisão Teórica**

Após a revisão bibliográfica foi realizado o estudo das áreas que envolvem o projeto que, neste caso, é robótica móvel direcionada a robôs terrestres com rodas, robôs terrestres com pernas e robôs aéreos. Serão aprofundados nessas categorias os atuadores utilizados, microcontroladores, sensores, autonomia, sistema de alimentação entre outros. Em se tratando de robôs foi levado em consideração artigos que apresentassem detalhes dos critérios escolhidos para estar comparando um robô com outro, como: bateria, tipos sensores, GPS, tipo de microcontrolador entre outros, esses são critérios que unem a teoria com a prática mostrando mais a parte eletrônica e de comunicação via rede ou qualquer outra tecnologia do robô.

## **3) Comparação dos robôs dentro dos critérios escolhidos**

Existem diversos serviços oferecidos relacionando robôs e agricultura, porém, o de pulverização de pesticidas ainda é um processo ascendente, com destaque para os robôs aéreos [8]. Como foi dito anteriormente os critérios definidos foram pensados em algo que impacta direto nos robôs seja eletronicamente, sua classificação em relação a locomoção, seu meio de comunicação e sensoriamento, duração de bateria para ter dados de autonomia, se tem ou não dados de posicionamento (GPS, uma vez que, são critérios que faz com que um robô tenha destaque de outro para determinada função.

Para desenvolver esta pesquisa foi necessária a definição de critérios de avaliação/comparação para trabalhar com comparações e diferenciar os funcionamentos de cada um. A decisão de escolhas desses critérios são análises técnicas e baseadas em aplicabilidade, uma vez que, é o que realmente importa para o cliente ao contratar um serviço de automação para a pulverização. São critérios baseados em autonomia, eficiência, precisão, interface sistema com usuário, de fácil compreensão para o manuseio. Os critérios são:

- Tipo locomoção do robô.
- Bateria.
- Tipos de sensores.
- GPS.
- Comunicação e Controle.
- Preço do robô.
- Tipo de micro controlador/tipo de sistema embarcado).
- Velocidade Máxima do robô.
- Volume / peso do tanque com pesticida.

- Limitações.

#### **4) Avaliar através da comparação a composição de alguns robôs utilizados atualmente para pulverização**

Após a comparação, será possível notar quais os componentes praticamente essenciais que ao fazer parte da estrutura/projeto do robô facilita, ajuda e melhora a atividade de pulverização. Ao obter a informação de componentes presentes no trabalho será possível, analisar diversas características que compõem a estrutura dos robôs resultando com isso qual seria o robô mais robusto, mais flexível e aplicável seja ele aéreo ou terrestre para determinada atividade.

#### 4 ROBÔS AÉREOS PARA APLICAÇÃO DE PESTICIDAS

Robôs móveis foram desenvolvidos para estarem atuando/operando em diferentes ambientes seja ar, água ou terra. Ao decorrer da evolução tecnológica houve um crescimento de pesquisas em veículos não tripulados, seja ele terrestre ou aéreo, tendo a principal aplicação na área militar, agrícola e propriamente para transporte. Isso fez com que houvesse também um crescimento nas áreas que desenvolvem tecnologias como sensores, GPS, computação, automação, eletrônica entre outras. Pela diversidade de robôs presentes para várias aplicações existem também diversos tipos de classificações dos mesmos, como por exemplo, robôs de sequência fixos que são aqueles que têm seu funcionamento independente do ambiente em que estão expostos, robôs de repetição com controle ponto a ponto que são os que possuem os controles de atuação sendo referenciados ponto a ponto, entre outros [42].

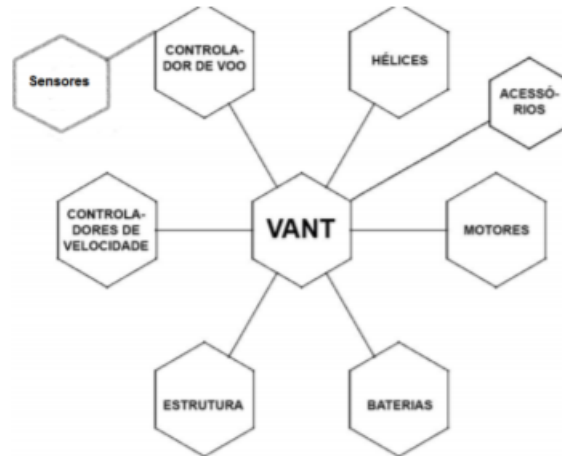
Quando se trata de veículos não tripulados, robôs aéreos, na agricultura os mais comuns são os *drones* pulverizadores, onde a sua pulverização pode ser uniponte ou de arrasto (maneiras manuais de pulverização). O *drone* é capaz de realizar a avaliação do alvo e o estágio da cultura. Após esta etapa o sistema elétrico/mecânico é ativado acionando assim a pulverização e o controle da vazão jateado pelo bico. Se tratando de pesticidas quando o mesmo é de formulação líquida pode ser armazenado em um tanque pulverizador caso a formulação ser um pó molhável é necessário fazer a diluição e o resultado final é a calda (estado que o pesticida se encontra pronto para ser pulverizado), respeitando a ordem de adição dos produtos no tanque de acordo com as formulações e as concentrações. Somente após estes balanceamentos no caso de um pesticida pó molhável é realizada a pulverização.

O protótipo apresentado no trabalho de CARVALHO [40] tem como o objetivo o desenvolvimento de um robô de tipo aéreo pulverizador de baixo custo. Mesmo se tratando de um *drone*, alternativa que geralmente eleva o preço de uso, o resultado apresentado no trabalho é com um melhor custo benefício é de pequeno porte tornando-se uma alternativa viável para pequenos produtores, porém, não deixa de atender os grandes produtores. O *drone* desenvolvido atende tanto a pulverização de inseticidas no controle zoonoses quanto para lavouras de pequenos produtores.

O projeto foi baseado no princípio de 6 principais componentes que um *drone*/Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) deve apresentar que são a estrutura, motores, hélices (se ele for de asa giratórias), controladores de velocidade, controlador de voo e baterias. Dentro desses componentes existem componentes opcionais como, por exemplo, sensores, atuadores e outros acessórios, como podem visto na Figura 31. A programação foi baseada na linguagem

de programação do micro controlador Arduino UNO, fazendo 3 principais códigos sendo um para a configuração do rádio controle, outro para o acelerômetro e giroscópio e outro para a configuração de voo. O *drone* é controlado por um rádio controle bem similar ao um controle de carro de brinquedo como pode ser visto na Figura 32.

Figura 31 - Componentes que compõem um VANT.



Fonte: [40]

Figura 32 - Rádio Controle do *drone*.

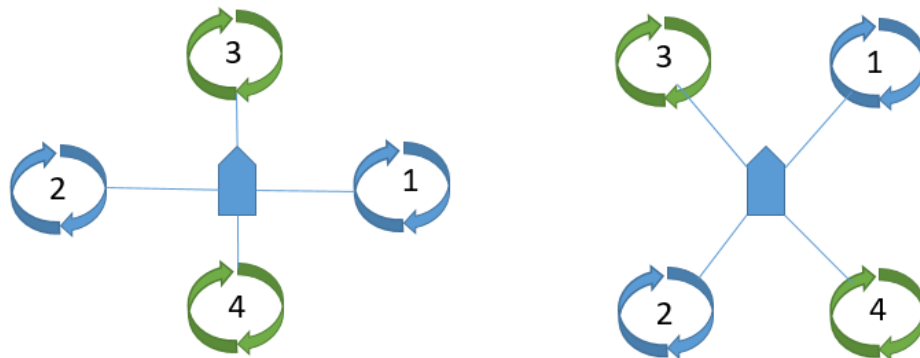


Fonte: [40]

O *software* por sua vez nos primeiros segundos para a calibragem de voo o Arduino não necessita da conexão com o computador e é responsável pela calibração do acelerômetro e giroscópio e para que isso ocorra é levado em consideração o ângulo da plataforma que o *drone* se encontra posicionado. Em relação aos motores para manter a dinâmica do voo se faz necessário que dois motores girem no sentido horário e os outros dois girem no sentido anti-horário, pois, se todos os motores girarem no mesmo sentido o *drone* ficará sem instabilidade de voo fazendo que ele não decole ou até sofra uma queda. Importante destacar que a inversão de direção dos motores deve ser intercalada, como pode ser visto na Figura 33 e o robô desenvolvido na Figura 34.



Figura 33 - Intercalação do sentido de funcionamento dos motores.



Fonte: [40]

Figura 34 - *Drone* desenvolvido por CARVALHO, B.R.



Fonte: [40]

Na pesquisa de BERNARDO [20] traz vários tipos de *drones* de diferentes nomenclaturas como VANT ou Aeronave remotamente tripulada (RPAs). Fica evidente em qualquer aplicação e a pesquisa traz isso como informação são os equipamentos presentes em aeronaves deste tipo como câmeras, sensores multiespectrais e *softwares* que geralmente retornam ao usuário relatórios gerados pelos dados coletados.

O comportamento de *drones* de pulverização segue o comportamento de um pulverizador auto propelido ou de arrasto. Um pulverizador auto propelido é na verdade uma máquina agrícola de alto desempenho que de maneira eficiente e assertiva realiza a aplicação de pesticidas em uma determinada área, como pode ser visto na Figura 35. Esses pulverizadores alcançam uma velocidade de 15 a 30 quilômetros por hora (km/h). Essas máquinas trazem como benefícios a redução de custo por hectare da operação agrícola, uma vez que, atingem uma maior área em menor tempo [53]. É possível observar que o modo de pulverização entre a máquina e o *drone* (Figura 36) é como se fosse uma formação de uma nuvem que identifica o comportamento auto propelido ou arrasto.

Figura 35 - Máquina auto propelida.



Fonte: [53]

Figura 36 - Drone pulverizador por arrasto.



Fonte:[53]

Como indicado na pesquisa de BERNARDO [20] o *drone* trabalhando como um auto propelido, ou seja, a pulverização é feita por arrasto o próximo passo é decidir o bico de pulverização.

A aplicação com *drones* apresentam vantagens como conseguir atuar em áreas de difícil acesso como áreas íngremes ou com grandes/diversos obstáculos que dificulta a atuação de outros tipos de pulverizadores [53]. Como qualquer outro robô este apresenta desvantagens devido ao seu porte e dimensão que baseado na área que opera apresentam um baixo rendimento operacional entre 3 a 4 hectares por hora [53]. A pesquisa traz vários tipos de *drones* comerciais que serão usados ao decorrer do estudo para comparação.

Em se tratando de robôs aéreos são muitos modelos destes robôs que estão presentes em serviços comerciais, um desses robôs são as ARPAC (Aeronaves Remotamente Pilotadas de Alta Capacidade). A ARPAC oferece um serviço de pulverização com o acompanhamento do operador sobre a área de aplicação definida pelo cliente. O *drone* garante uma cobertura de

até 1000 hectare por dia, uma autonomia de voo de até 67 minutos entre outros benefícios [26]. No Brasil tem-se também a *Skydrones* que oferece diversos serviços no ramo de agricultura [27], para o ramo de pulverização em especial, é utilizado o *drone* PELICANO [28]. O *drone* comercial da DJI mostrado na Figura 37 é outro exemplo de *drone* pulverizador comercial.

Figura 37 - Exemplo de *drone* Pulverizador da DJI.



Fonte: [29]

Todas essas empresas, como Dronescompany, Facilitair, Xmobots, que oferecem serviços com *drones* pulverizadores garantem ao cliente uma economia no intervalo de 50% até 60% em termos de cuidado da plantação em relação a um processo que demandaria mais tempo se fosse manual. Além disso, também garantem uma maior segurança para a plantação e para o produtor [30] [31].

A aplicação do *drone* tem suas limitações como, por exemplo, a autonomia de voo e seu alcance, o elevado custo, a interferência com o espaço aéreo, a dependência de regulamentação com os órgãos de aviação (caracteriza aplicação comercial), é dependente de clima, dependente da habilidade do piloto e possui limitação na altura de aplicação em relação a plantação (30 cm acima da plantação) [30] [31].

MOGILI [46] já traz conceitos variados de *drones* com vários rotores como pode ser visto na Figura 38. Os *drones* apresentam motores de corrente contínua sem escovas (BLDC), que são motores formados por ímãs permanentes ligados a um eixo ou um cilindro rotativo ao ser acionado os mesmos são empurrados e/ou puxados por campos eletromagnéticos dos enrolamentos elétricos os quais são controlados por um controlador eletrônico de velocidade. Enquanto os motores DC possuem escovas de contato elétrico os motores BLDC, Figura 39,

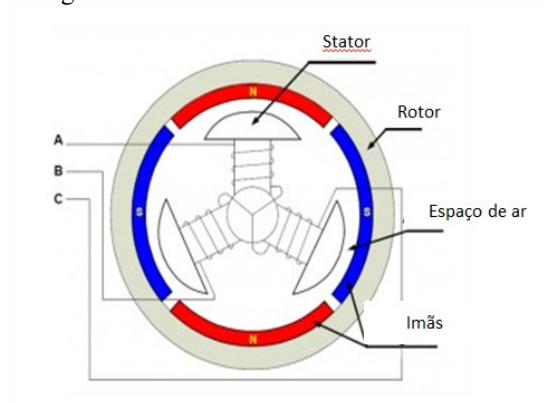
convertem a energia elétrica em mecânica através de força de atração/repulsão magnética [54].

Figura 38 - Exemplo de um octa robô apresentado por UM Rao MOGILI.



Fonte: [46]

Figura 39 - Corte de um motor BLDC.



Fonte: [54]

Esses motores geralmente apresentam alimentação de 12V, 24V, 36V ou 48V, uma rotação nominal de 3000 Rotações Por Minuto (RPM) e uma potencia real de 3,4 a 660W [54].

#### 4.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de serem os mais populares atualmente para a pulverização de plantações, os *drones* não possuem muitas informações técnicas disponíveis, uma vez que, a maioria das pesquisas realizadas tem como objetivo divulgar um modelo de *drone* já existente ou existe uma pretensão de inserir um modelo no mercado, o que se faz justificável a falta de informações técnicas. É importante ressaltar que o serviço de aplicação de pesticidas com a utilização de *drones* é eficiente e tem bons resultados, mas é um serviço com um alto investimento monetário.

## 5 ROBÔS TERRESTRES PARA APLICAÇÃO DE PESTICIDAS

Robôs terrestres com rodas podem apresentar de 2 até 4 rodas em sua estrutura. Para robôs com mais de 4 rodas somente 2 rodas controlam a direção do robô, já para robôs de 2 rodas o sistema de controle é bem simples pois, se baseia em um motor para cada roda, já que só possuem a opção de se movimentar para frente ou para trás.

Robôs terrestres com pernas podem apresentar 2,4 ou 6 pares de pernas em sua estrutura. Para que a locomoção do mesmo ocorra é necessária uma sincronização de uma perna com outra, uma vez que, caso não tenha uma sincronização o robô não irá se movimentar ou se sustentar.

Comparando um robô terrestre com pernas com um robô terrestre com rodas, é possível notar várias diferenças. Por exemplo, em termos do número de motores, o robô terrestre com rodas costuma apresentar de 1 a 2 motores e o robô terrestre com pernas apresenta um servomotor para cada articulação da perna. No caso do hexápode, uma perna pode possuir 3 servomotores e como a estrutura total apresenta 6 pernas, resulta assim em 18 servomotores.

E como já evidenciado neste trabalho na agricultura existem vários tipos de robôs onde a maioria deles apresentam funções específicas e distintas de um modelo para o outro [42]. Podendo evidenciar também que para tais trabalhos são mais comuns para tal serviço e aplicação e o que faz com que esse filtro exista, são seus diferenciais.

### 5.1 ROBÔS TERRESTRES COM PERNAS

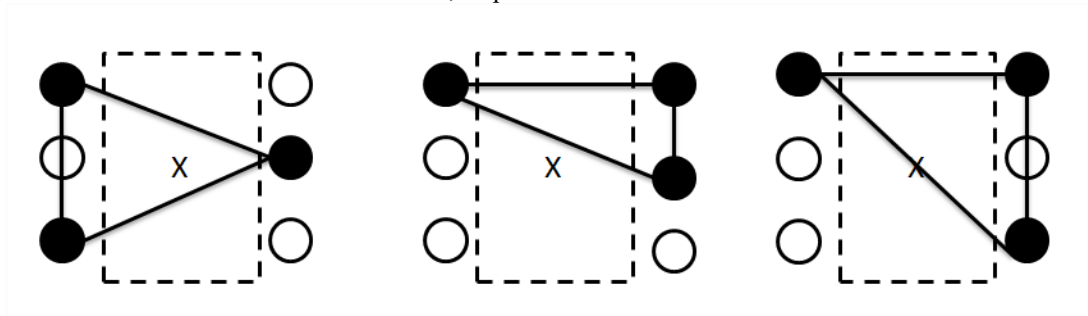
O grande diferencial em trabalhar com robôs com muitas pernas, como os hexápodes, são as condições que o robô retorna e oferece para o usuário como: economia de combustível, mobilidade e suavidade. São robôs que não oferecem nenhum tipo de dano ambiental quando aplicado em algum solo áspero e duro. O hexápode é leve, ágil e eficiente devido as suas seis pernas que permitem a sua movimentação [56].

No trabalho de SCHILDT (2017) é apresentado um hexápode de formato retangular, como pode ser visto na Figura 41. O robô é microcontrolado e é operado via *Bluetooth*. O controle dos servomotores funciona por PWM com intervalo de 2 mili segundos. Um pulso de 1 mili segundos resulta na posição do servomotor  $0^\circ$ , um pulso de 1,5 mili segundos resulta na posição do servo em  $90^\circ$  e um pulso de 2 mili segundos na posição do servo em  $180^\circ$ . O acionamento de cada motor presente em cada perna precisa ser sincronizado.

A complexidade do robô hexapode é tornar toda estrutura dinamicamente estável durante todo o trajeto percorrido. É necessário que o robô permaneça equilibrado de forma

simétrica para não apresentar instabilidade mesmo estando parado. Para um hexápode ficar estável ele deve apresentar no mínimo 3 pernas fixadas no solo de uma maneira que o centro de massa da estrutura esteja no centro do polígono como é mostrado na Figura 40.

Figura 40 - Casos de estabilidade para o hexápode: estaticamente estável, estaticamente instável e criticamente estável, respectivamente.



Fonte: [23]

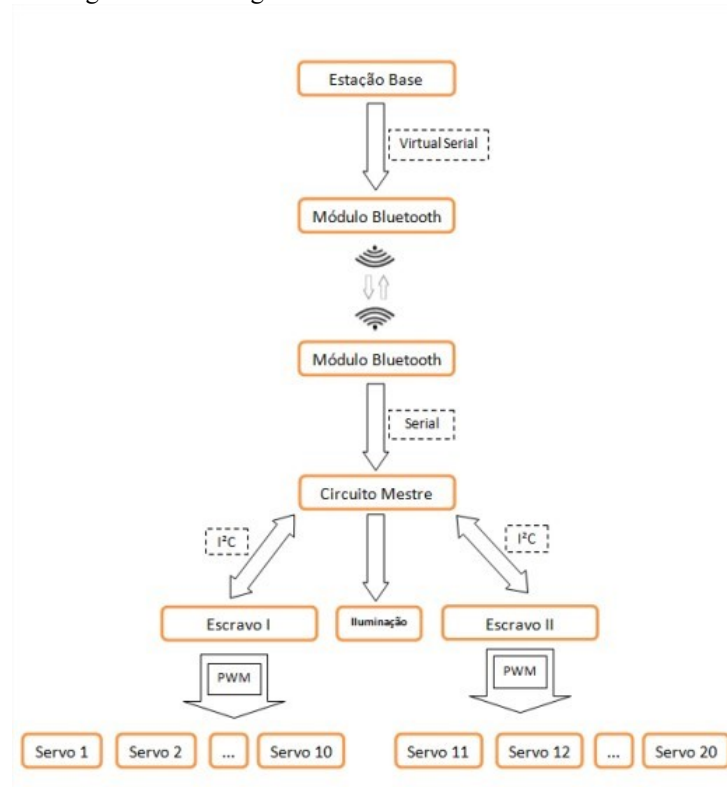
Figura 41 - Protótipo de robô hexápode desenvolvido por Alessandro SHILDT.



Fonte: [23]

A comunicação entre o usuário com a estrutura se inicia quando o usuário se conecta ao módulo *Bluetooth* instalado no robô. Ao receber algum comando o circuito mestre decodifica a informação recebida e emite sinais de referências para os circuitos escravos, estes conseqüentemente geram sinais PWM que resulta na movimentação da estrutura até que o circuito mestre receba outro comando passando por todo processo novamente, esse processo fica evidente na Figura 42.

Figura 42 - Fluxograma de funcionamento do robô.



Fonte: [23]

O trabalho de REIMBOLD (2013) observa-se um protótipo de robô hexápode para inspeção em tubulações de ar condicionado. Inicialmente o propósito é desenvolver um hexápode com uma estrutura leve. A confecção usada foi de acrílico, o que possibilitou que o robô tivesse uma redução significativa de peso em torno de 50%. Este trabalho é um exemplo da diversidade de aplicações que os robôs hexápodes podem ter, mesmo com sua complexidade de estrutura.

Um exemplo de robô hexápode aplicado à agricultura é o Prospero, o robô fazendeiro [57] (Figura 43). O Prospero é um protótipo funcional de uma Micro Plantadeira Autônoma (AMP) que utiliza conceitos de robótica de enxame e de teoria de jogos para se guiar e cooperar com outros robôs idênticos em uma determinada tarefa. Este robô utiliza uma placa controladora da *Parallax* que permite processamento em paralelo e sua estrutura foi planejada para deslocamento em qualquer direção, podendo facilmente desviar de obstáculos.

Figura 43 - Robô Fazendeiro Prospero.



Fonte: [57]

O Prospero pode cavar buracos, plantar sementes e cobrir com solo, aplicando também fertilizantes e/ou herbicidas no mesmo ponto. Além disso, cada robô Prospero pode sinalizar outros robôs em suas proximidades para indicar que necessita de ajuda em plantar uma área ou para avisar que a área já foi cultivada.

Ao decorrer deste estudo foi notou-se que robôs pulverizadores com pernas não são usualmente comercializados, o que se faz mais comum se tratando de robôs terrestres são os robôs com rodas que são os mais utilizados. Portanto, tem-se uma facilidade maior de achar mais artigos científicos, exemplos de protótipos, ao comparar com um robô de pernas.

## 5.2 ROBÔS TERRESTRES COM RODAS

Tratando-se de robôs terrestres com rodas como é o caso mostrado na pesquisa de JUNIOR [24] o Hortibot desenvolvido por JØRGENSEN [58], mostrado na Figura 44, onde é apresentado um robô com uma capacidade alta de horas trabalhadas, ainda que seja uma máquina de pequeno porte existem ganhos na parte de compactação dos solos. Diferente dos robôs com pernas como o Prospero ou até os aéreos como os *drones*, o Hortibot atua em preparação do solo, adubagem, e na eliminação/identificação de pragas e insetos [24].



Figura 44 - Robô Hortibot apresentado por JUNIOR e desenvolvido por JØRGENSEN.



Fonte: [24]

O Hortibot é guiado por um sistema de posicionamento local baseado em visão computadorizada mais conhecido como Eco-Dan A/S e a utilização deste sistema inutiliza o uso de GPS. O robô apresenta a opção de ser operado nas funções básicas por usuários que não possui habilidades técnicas, uma vez que, a interface é prática e de fácil manuseio. Todos os dados coletados pelo Hortibot são enviado para um banco de dados através da internet e isso possibilita emitir relatórios operacionais baseados na operação.

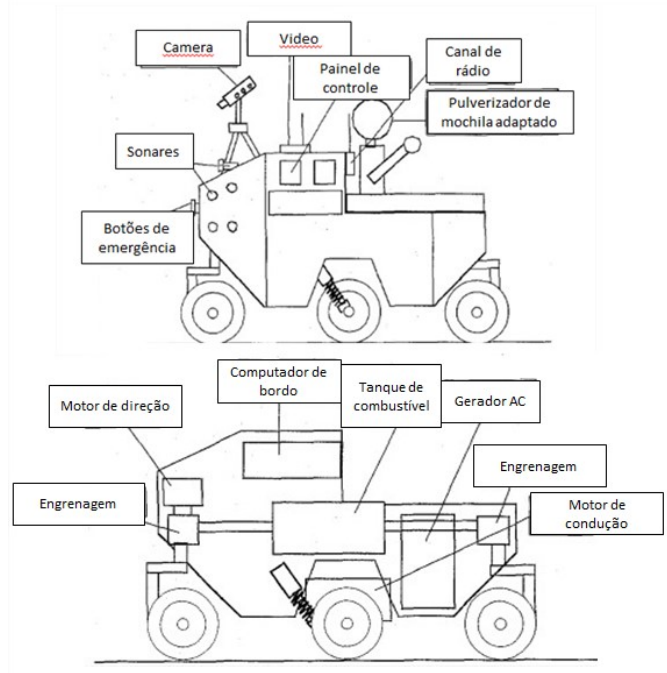
Permanecendo no mesmo raciocínio do Hortibot outro robô com rodas é o protótipo AURORA apresentado no trabalho de MANDOW [32] que foi montado e regrado em alguns requisitos, são eles:

- **Confiabilidade:** o AURORA apresenta uma confiabilidade de atuação diante os fatores ambientais como temperatura e umidade, uma vez que, os sensores estão presentes no mesmo para retornar dados concretos. O robô tem atuação predominante em estufas o que faz com que o projeto tenha um desenvolvimento focado para aquele ambiente.
- **Navegação:** o local de atuação neste caso estufas geralmente são espaços fechados para controlar a umidade, temperatura e com uma determinada área. Área a qual é usada para o funcionamento do robô, uma vez que, será programado para a navegação acontecer somente naquela área determinada, caso apresentar alguma variação é necessário modificar o layout do AURORA. Porém o robô funciona em extensas estufas com uma grande variedade de cultura.
- **Baixo custo:** para impulsionar o AURORA comercialmente a um baixo custo com o intuito que ele fique mais competitivo entre os robôs no mercado atuantes em estufas e plantações.

- Multifuncionalidade: é uma característica importante e indispensável para um robô que quer ter um diferencial no mercado. Baseado nisso o robô consegue alternar diferentes tipos de tarefas sem dificuldades.
- Autonomia: a operação do AURORA é autônoma supervisionável. Isto é, enquanto o robô trabalha de forma autônoma dentro da estufa o usuário tem informações imediatas e abrangentes sobre o status do trabalho que está sendo realizado.
- Interface amigável: o usuário consegue com o mínimo de treinamento ter acesso e obter o máximo de informações.
- Sistema de controle robusto: embora seja um protótipo e o dispositivo ser algo simples para pulverização, a plataforma é reforçada e foi incorporada para realizar uma variedade de operações. A mesma apresenta atuadores e sensores apropriados para considerar a plataforma reforçada.

É possível ter uma visão geral do AURORA na Figura 45 e fica evidente que é um robô com muito recurso como câmera de boa definição, link de rádio, sensores sonares, um adaptador de mochila de pulverização, botões de emergência, gerador, computador de bordo entre outros. E isso só faz com que ele tenha uma boa apresentação de todos os requisitos como foi desejável pelos pesquisadores.

Figura 45- Visão geral do AURORA desenvolvido por Anthony MANDOW.



Fonte: [32]

O AURORA foi testado em diversos tipos de estufa e se mostrou um sucesso aos proprietários. O robô navega autonomamente pelos corredores da estufa usando como direção apenas os dados dos sensores ultrassônicos. A pulverização é realizada durante a navegação do robô pelos corredores da estufa, o programa de navegação do AURORA funciona em *loop* sendo que no mesmo existe marcos como corredor, ponto de curva e parede fazendo com o robô consiga navegar na estufa sem problemas, independentemente da posição inicial. O problema de ter estufas alteradas é que esse marcos fica flutuante fazendo com que seja necessário alterar o *layout* do robô sendo adicionar algum sensor ou até remover algum.

A pesquisa de SULAKHE [33] traz uma nova tecnologia de cultivo que o Japão utiliza visando um alto grau de automação, o modelo de “fábrica de verduras”. Esta tecnologia está em crescimento no Japão com o objetivo de substituir campos atingidos por catástrofes naturais, uma vez que o país apresenta várias catástrofes naturais que prejudica a agricultura local. Essa tecnologia utiliza a luz artificial para substituir a luz do Sol e mantendo a qualidade da temperatura necessária para a cultura, a dosagem de luz correta para que a plantação tenha bons resultados [59]. Existe uma fábrica de verduras em um edifício industrial comum da empresa Spread, localizada entre Kyoto e Osaka, que crescem cerca de 11 milhões de alfaces por ano – 30.000 por dia – com atuação de apenas 25 funcionários. Um modelo totalmente automatizado que dispensa o uso de pesticidas e é pulverizada apenas com água hidropônica, isto é, água rica em nutrientes [59]. A fábrica de verduras se encontra em uma sala asséptica, com várias prateleiras extensas que se movem ao longo do dia garantindo que a alface tenha uma maior absorção de nutrientes, como pode ser visto na Figura 46.

Figura 46 - Fábrica de verduras.



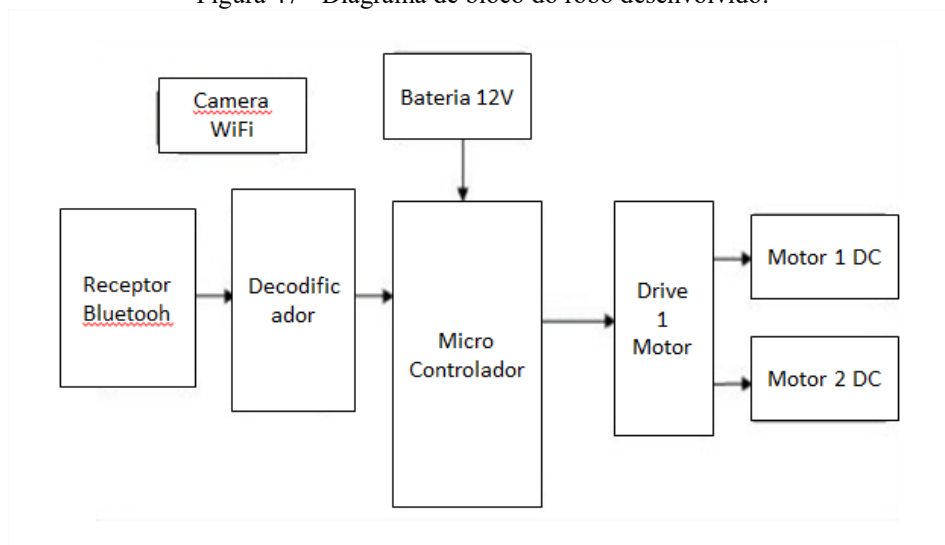
Fonte: [60]

Este conceito de fábrica de verduras se encontra neste tópico, pois, não fica bem definido na pesquisa se o robô de SULAKHE funciona em outros ambientes diferentes da fábrica de verduras, portanto, pela interpretação o robô é aplicado somente em espaços confinados com foco na fábrica de verduras.

SULAKHE [33] trouxe em sua pesquisa o valor que os *smartphones* apresentam atualmente como excelentes processadores e também uma alta capacidade de armazenamento e a cada dia que passa isso se fortalece nos aparelhos. Unindo com a tecnologia *Bluetooth* que além de ser um apetrecho do próprio *smartphone* é usado muito como módulos de comunicação de troca de dados.

O robô desenvolvido na pesquisa é controlado por um *smartphone* com sistema operacional *Android* através da comunicação via *Bluetooth* utilizando o módulo HC-06. O microcontrolador do projeto é um PIC16F877A que é encarregado de receber o programa. Em sua movimentação são utilizados indicadores diodo emissor de luz (LED) para indicar a direção e dois motores DC mais uma bateria de 12V para alimentar todo o projeto como é possível ver o robô na Figura 10 e o esquemático do esqueleto do robô na Figura 47.

Figura 47 - Diagrama de bloco do robô desenvolvido.



Fonte: [33]

Por fim, a pesquisa de SULAKHE [33] basicamente mostrou que o robô, Figura 10, atende os requisitos de pulverização e funciona em modo autônomo e o sistema como um todo apresenta boa estabilidade e confiabilidade. Foram identificadas também pontos a se corrigir, como por exemplo, o robô não apresenta ponto de localização do bico pulverizador isso significa que, o robô ainda não tem um ajuste automático para a quantidade de calda, que será pulverizada ou foi pulverizada.

Na pesquisa de ADAMIDES [35] são apresentados dois modelos de robôs, Figura 48 e Figura 49, a informação generalizada que por trás de toda tele operação de controle de movimentação ou coleta de dados de um robô agrícola na maioria das vezes existe um agricultor/controlador por trás. Esse controlador faz todo o trabalho agrícola a distância através de dados recebidos pelos sensores e câmeras, portanto, o trabalho autônomo de robôs agrícola não acontece sem supervisão de um ser humano. Ponto importante devido a essa supervisão é o sistema conter uma interface amigável para que alguém com o mínimo de treinamento consiga fazer o controle do robô sem muitas dificuldades.

Figura 48 – AgriRobot desenvolvido por George ADAMIDES.



Fonte: [35]

Figura 49 – SAVSAR utilizado para comparação do AgriRobot.



Fonte: [35]

Um dos robôs trabalhados na pesquisa é o SAVSAR que é uma plataforma que sofreu modificações para que se adequasse um robô móvel de pulverização e também foi incrementado na infraestrutura sensores. A plataforma ainda contém um braço robô, um pulverizador elétrico, vários atuadores e sensores. Outro robô mostrado na pesquisa é o AgriRobot que em comparação ao SAVSAR possui algumas diferenças, a comparação é mostrada na Tabela 5.

Tabela 5 - Requisitos do AgriRobot e SAVSAR.

Tipos de robôs e seus requisitos	AgriRobot	SAVSAR
Mobilidade em todo terreno	Sim	Não informado
Ângulo de escala	45°	Não informado
Direção deslizante	4 rodas motrizes de alta potência	Não informado
Velocidade	3m/s	Não informado
Odometria	Codificador em cada roda e um sensor angular de alta precisão montado dentro do chassi	Não informado
Autonomia da bateria	5 horas	Não informado
Câmera Pan/Tilt	Sim	Não informado
Câmeras adicionais	Sim	Não informado
Pulverizador elétrico	Sim	Não informado
Capacidade de carga	25kg	65kg
GPS	Não	Sim
Sensor sonar	Sim	Não
Sensor Laser	Não	Sim
Sensor Lidar (óptico)	Não	Sim
Unidade de medida inercial	Não	Sim
Pará-choque	Sim	Sim
Braço robótico	Não	Sim

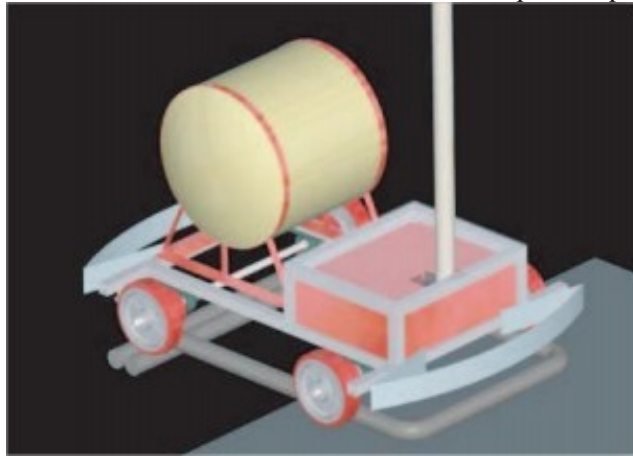
Fonte: [35]

Ao decorrer da pesquisa foi concluí-se que uma das desvantagens do SAVSAR é o seu porte que é pequeno e isso traz limitações e também o tanque do pulverizador é pequeno o que torna difícil a operação em grandes culturas. Uma proposta futura é a adaptação da plataforma para um estilo de trator robótico aumentando o porte proporcionando um espaço maior para trabalho.

Na pesquisa de SAMMONS [36] está evidenciado o crescimento da cultura de estufa e o quando, devido a esse crescimento, se fez necessário a automação do plantio e do cultivo das mesmas. Em teoria o trabalho automático robótico neste ambiente substitui a mão-de-obra no ambiente hostil que é a estufa, pois, tem que apresentar temperatura controlada, umidade controlada, uma vez que, qualquer alteração brusca de condições ambientais resulta em grandes perdas.

A pesquisa de SAMMONS [36] mostrou que o robô desenvolvido atendeu as especificações definidas pelo Centro Nacional de Estufas e Horticultura, o robô, Figura 50, apresenta um bom custo-benefício.

Figura 50 - Esquemático desenvolvido no CAD do robô desenvolvido por Philip J. SAMMONS.



Fonte: [36]

O robô foi adaptado com alguns botões emergências para que não ocorra nenhum acidente com pessoas que estejam na estufa, uma vez que, este robô funciona em cima de trilhos que são distribuídos entre as plantações como pode ser visto na Figura 51. Existem no robô botões de emergência de fácil acesso, botão de anti-colisão, chaves separadas de bomba e motor, chave interruptora de energia ativada, fusíveis de queima rápida e sensores de prevenção a colisões.

Figura 51 - Trilhos distribuídos em uma estufa de plantação de tomates.



Fonte: [36]

O sistema de pulverização do robô é formado por um grande reservatório, uma bomba e quatro válvulas tendo como objetivo direcionar o *spray* para a direção de pulverização desejável. As válvulas são controladas eletronicamente via microprocessador que interpreta os sinais recebidos dos sensores. Nos trilhos existem marcadores que conforme o robô vai se movimentando e passando por esses marcadores o mesmo ativa e desativa eles fazendo com que a bomba seja ligada e desligada, isso acontece para permitir a pulverização seletiva, uma vez que, não são todas as plantas encontradas no percurso do robô que necessita de pulverização. Um apetrecho interessante que o robô apresenta é uma válvula adicional que recicla o pesticida fazendo com que o mesmo volte para o tanque para ser pulverizado novamente evitando assim um desperdício desnecessário.

A pesquisa traz como conclusão que o robô tem uma viabilidade na atividade de remoção de ervas daninha e é mais viável a sua utilização ao comparar com máquinas agrícolas convencionais que deterioram o terreno/plantação pelo seu grande porte. O Hortibot é facilmente gerenciável, uma vez que, apresenta uma lógica de decisões de fácil entendimento e uma alta flexibilidade proporcionando uma maior facilidade para o usuário.

### 5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi visto que em relação à pulverização o campo é muito vasta se tratando de robôs terrestres na agricultura principalmente se o meio de locomoção for rodas do que pernas. Pode-se dizer que isso deve pela condição íngreme e estada que os solos de áreas rurais apresentam as trações, por mais que pequena existe, que a roda apresenta em comparação com pernas é maior podendo oferecer em alguns casos uma melhor mobilidade. Será apresentado



ao decorrer do estudo como todos os tipos de robôs se encaixam nos critérios apresentados no subitem 3 apresentado no tópico 3.1.

## 6 COMPARAÇÃO ENTRE ROBÔS PULVERIZADORES

O intuito deste estudo é a comparação entre os diversos modelos de robôs que foram apresentados ao decorrer do trabalho. Esta comparação terá como base os critérios citados no capítulo de Metodologia, totalizando 10 critérios, todos específicos e fundamentais tanto para o funcionamento do robô quanto para diferenciar um modelo de outro, fazendo com que fique mais fácil filtrar qual modelo se comportará melhor em determinadas situações.

Os critérios a serem analisados serão:

- Tipo locomoção do robô.
- Bateria.
- Tipos de sensores.
- GPS.
- Comunicação e Controle.
- Preço do robô.
- Tipo de micro controlador/tipo de sistema embarcado).
- Velocidade Máxima do robô.
- Volume / peso do tanque com pesticida.
- Limitações.

Os trabalhos que fazem parte do banco de artigos que foram escolhidos para serem apresentados e comparados são os estudos de SHILDT [23], JUNIOR [24], MANDOW [32], SULAKHE [33], ADAMIDES [35], SAMMONS [36], CARVALHO [40], BERNARDO [20], MOGILI [46]. Esses trabalhos foram escolhidos por serem diversificados entre si, são de tipos de robôs distintos, contém projetos apresentados neles tanto comerciais como resultados de pesquisa, atuam na área de agricultura e engenharia, diferentes tipos de controle e programação, preços, peso, microcontroladores, diferentes limitações e diferentes vantagens para tal aplicação. Não foram os únicos artigos encontrados, porém, pelo filtro dos critérios apresentados acima os artigos escolhidos forneciam mais informações, resultando assim em um enriquecimento deste trabalho.

## 6.1 LOCOMOÇÃO

É o critério que diz respeito ao meio de locomoção do robô e a informação de como o mesmo se movimenta, seja:

- Por rodas, duas, quatro, seis ou oito rodas;
- Por pernas duas, quadro ou seis pernas;
- Aéreos que pode apresentar asas ou hélices.

Dependendo da situação este critério filtra e auxilia qual o meio de locomoção irá atender melhor cliente, como por exemplo, o aéreo tem uma maior flexibilidade de espaço para atuar. Portanto fica claro na Tabela 6, que para aplicação de pulverização na agricultura foi encontrado mais pesquisas com modelos com rodas e aéreos do que com pernas. Vale a observação que comercialmente é mais usado o aéreo do que com rodas.

Tabela 6 - Tabela com os tipos de locomoção dos robôs apresentados.

[23]	Robô com 6 pernas (Hexapod)
[24]	Robô com 4 rodas
[32]	Robô com 4 rodas
[33]	Robô com 4 rodas
[35]	Robô com 4 rodas
[36]	Robô com 4 rodas
[20]	Robô aéreo – <i>drone</i> com 4 a 8 hélices
[40]	Robô aéreo – <i>drone</i> com 4 hélices
[46]	Robô aéreo – <i>drone</i> 4 a 8 hélices

Fonte: O Autor

Com os dados apresentados fica claro que os mais usuais são os robôs terrestres com rodas e os *drones*. Os robôs com rodas mais comuns a serem utilizados são com 4 rodas por oferecer uma melhor velocidade, estabilidade e controle. Já os *drones* o número de hélices fica bem flexível oferecendo assim mais opções para o consumidor. Os robôs com pernas não são comuns na funcionalidade, porém, pode ser algo que mude ao decorrer do tempo.

## 6.2 BATERIA E AUTONOMIA

A bateria é um critério essencial para conhecer a autonomia que o robô tem ao realizar a pulverização, porém, nem todos os estudos trazem este tipo de informação como pode ser visto Tabela 7 e na Tabela 8.

Tabela 7 - Tabela de baterias dos robôs apresentados.

[23]	Bateria de Níquel Metal Hidreto com uma voltagem de 7.2V e 3800mAh
[24]	Não foi informado pelo autor a tensão, porém, o motor utilizado é um motor de válvula hidráulica
[32]	É utilizado um Gerador AC, porém, o autor não divulgou a potência ou voltagem do gerador
[33]	Bateria de 12V
[35]	Não foi informado pelo autor
[36]	Motor de 0V à 5V
[20]	Bateria Lipo 3S de 2800mA
[40]	Motor 13t 1000kv Drone F450 Outrunner Brushless Aeros
[46]	Motores utilizados são do tipo BLDC, não foi especificado a tensão dos motores utilizados, mas os mesmos apresentam tensão como 12V, 24V, 36V e 48V

Fonte: O Autor

Tabela 8- Tabela de autonomia dos robôs apresentados.

[23]	Autonomia próxima de 10 minutos de uso intenso
[24]	De 50 a 300 horas de operação
[32]	Não foi informado pelo autor
[33]	A área de trabalho e de até 8 metros mais não foi informado pelo autor sua autonomia
[35]	Pelo menos 3 horas de autonomia
[36]	Não foi informado pelo autor
[20]	Nos exemplos que o autor apresenta o tempo de autonomia vai de 10 – 15 minutos geralmente
[40]	Não foi informado pelo autor
[46]	Estima-se uma autonomia de 10 minutos a 5 horas

Fonte: O Autor

Para estes critérios nota-se que poucas coisas sobre o tempo de autonomia e de o valor da bateria é informado devido ao fato de ser dados que oferecem um diferencial comercial. Sobre a bateria pelos modelos utilizados por uma estimativa é usado baterias entre 5V a 12V dependendo do número de recurso que exige uma corrente de alimentação para fazer o robô funcionar.

Já em relação a autonomia nota-se que robôs terrestres com rodas apresentam um maior tempo de trabalho autônomo, sendo uma boa escolha para obter um trabalho mais contínuo e com menos pausas, já os *drones* apresentam geralmente um tempo de autonomia entre 10 no

máximo 30 minutos apesar de atingir uma maior área de pulverização. Os robôs com pernas são poucos usuais e apresentam uma autonomia baixa tendo uma difícil aplicabilidade em algumas situações.

### 6.3 TIPOS DE SENSORES

Este critério traz todo o diferencial do robô, pois, os sensores possibilitam a coleta/processamento de dados fazendo com que o robô funcione ou adote algum tipo de comportamento em alguma determinada situação. E o tipo de sensor que o robô apresenta é um fator importante para ser considerado para alguma determinada situação. Os sensores que os robôs estudados apresentam estão representados na Tabela 9.

Tabela 9 - Tabela de tipos de sensores dos robôs apresentados.

[23]	Não possui sensores
[24]	Sensores de posição, de velocidade e que emite alarme. Existem outros que não são especificados pelo autor, porém, todos são ligados no Computador Controlador do robô e controlados por CAN ( <i>Controller Area Network</i> )
[32]	Sensores ultrassônicos de curto e médio alcance
[33]	Não foi informado pelo autor sobre sensores, porém, o robô apresenta uma câmera WiFi que se comporta como um sensor
[35]	Sensor ultrassônico, sensor infravermelho, sensor lidar scanner, acelerômetro e giroscópio
[36]	Sensor de colisão, sensor infravermelho e sensor de indução
[20]	Não é informado pelo autor, porém, se tratando de <i>drones</i> estima-se que os projetos apresentam sensor ultrassônico, sensor infravermelho, sensor de mapeamento de área de pulverização, acelerômetro, giroscópio e outros que não são citados nos projetos apresentados
[40]	Acelerômetro e giroscópio
[46]	Acelerômetro, Giroscópio, Magnetômetro, sensores IMU, GPS, Scanner, Altímetro, Sensor de pressão de ar, Barômetro, Anemômetro, termômetro

Fonte: O Autor

É possível notar que existem sensores que praticamente são quase que obrigatórios quando se trata de robôs pulverizadores, sendo eles o sensor de colisão, seja o infravermelho, ultrassônico, scanner ou qualquer outro tipo. O acelerômetro e o giroscópio se mostram muito importante quando a diretriz é sensor para auxiliar a movimentação. Podendo ter como resultado também que pouco usam sensores/apetrechos *online* para funcionar como um sensor e isso se deve a carência de rede de Internet que o campo apresenta.

## 6.4 GPS

Apesar de ser um diferencial, muitos robôs apresentados neste estudo não apresentam GPS por opção do desenvolvedor em tornar o projeto com um bom custo benefício, porém, ter ou não o GPS é um diferencial em qualquer robô pela importância que a localização que ele se encontra é importante para a pulverização, é possível ver na Tabela 10 quais robôs apresentam GPS.

Tabela 10 - Tabela de especificações de GPS.

[23]	Não possui GPS
[24]	Não apresenta GPS, porém, trabalha com um sistema de posicionamento local baseado em visão computadorizada
[32]	Não possui GPS
[33]	GPS Via <i>Bluetooth</i>
[35]	Possui GPS, porém, não é especificado o tipo
[36]	Não possui GPS
[20]	O autor não especificou o tipo de GPS ou se os projetos apresentam, porém, se tratando de projetos de drones provavelmente os mesmos apresentam GPS
[40]	Não possui GPS
[46]	Possui GPS, porém, não é especificado o tipo

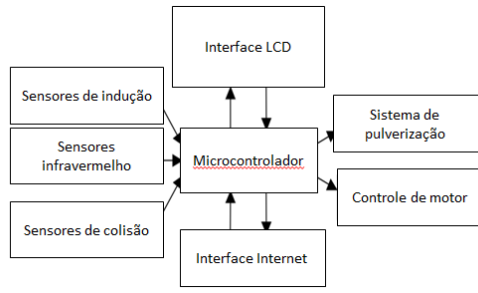
Fonte: O Autor

Basicamente, é de extrema importância retornar ou fornecer à posição geográfica em que o robô pulverizador se encontra ou a posição que ele ainda não pulverizou. Por isso o GPS vem como um adicional que transforma o robô pulverizador mais aplicável em diversos terrenos seja extenso ou com irregularidades. Pode-se afirmar que robôs mais eficazes e eficientes neste ramo apresentam GPS.

## 6.5 COMUNICAÇÃO E CONTROLE

Este critério em particular já mostra muito como é o funcionamento do robô, se ele é aplicável ou não, se o usuário apresentará dificuldades em manuseá-lo caso ele apresente uma autonomia baixa. Alguns dos projetos dispensa rede móvel tendo assim seu funcionamento normal, já outro tipo de robô precisa estar conectado à rede para estar transmitindo sinal e a existência deste sinal no campo muitas das vezes é o desafio pela falta de acessibilidade. As informações de comunicação e controle dos robôs estudados são apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11 - Tipos de comunicações e controles dos robôs estudados.

[23]	A comunicação do programa para o robô é feita por meio de uma transmissão RS232 e controlado por um módulo <i>Bluetooth</i>
[24]	Não foi informado pelo autor o tipo de microcontrolador, porém, é utilizado algum com grande poder de processamento, uma vez que, o projeto é rodado em sistema Linux
[32]	Comunicação feito através de um rádio transmissor de 1200bauds, <i>half-duplex</i> que está ligado através de uma porta RS232 em um PC com MS-DOS com Kernel real-time que transmite os controles possibilitando ser controlado por um joystick. É utilizado também a técnica de controle proporcional integral derivativo (PID)
[33]	Programado em um PIC16F877 que ao ser processado é controlado por <i>Bluetooth</i>
[35]	Sistema conectado os WiFi e controlado por um <i>gamepad</i> de um PS3 da Sony, protocolo ModBus IO
[36]	<p>Não foi informado pelo autor qual tipo de microcontrolador é usado, porém, fica explícito o uso do mesmo pelo esquemático apresentado pelo autor:</p> 
[20]	Não foi informado pelo autor provavelmente pelo motivo que são projetos comerciais que não divulgam tal informação
[40]	É programado em um Arduino UNO o autor não especifica o protocolo que através da programação é controlado por um rádio controle
[46]	O robô é programado em um micro controlador ATmega 2560 e o sistema de pulverização em Arduino Nano, porém, não é especificado qual tipo de protocolo e controle utilizado pelo autor

Fonte: O Autor

Nestes dados apresentados na Tabela 11 fica claro que robôs feitos mais na área de pesquisa utiliza o microcontrolador Arduino que é mais didático para o aprendizado e poucos projetos comerciais utiliza-o. Projetos mais comerciais apresentam outros tipos diferentes do Arduino por serem mais robustos como o ATmega, PIC e outros que não foram informados pelos autores. Vários dos robôs são controlados por um computador, *joystick* e utilizam a o

protocolo *Bluetooth* para realizar a programação, assim como são utilizados vários protocolos como o ModBus e o WiFi.

## 6.6 PREÇO DO ROBÔ

Diretriz importante para analisar se esses robôs são ou não acessíveis para todos os agricultores, uma vez que, infelizmente os pesticidas são usados tanto para o grande, médio ou pequeno agricultor. O grande até o médio agricultor tem condições de contratar serviços que envolvem robôs mais avançados, robustos e com mais funções para fornecer na atividade de pulverização. Infelizmente no caso do pequeno produtor usa uma grande quantidade de pesticida, pois, sua produção não é latifúndio, com grandes lavouras como grandes produtores, o que resulta em diferentes culturas, conseqüentemente pesticidas diferentes e doses diferentes limitando assim o recurso financeiro que o pequeno produtor tem de fazer uso de uma pulverização robotizada. Os valores são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12- Tabela de preços dos robôs estudados.

[23]	Não foi informado pelo autor
[24]	Não foi informado pelo autor o preço exato, porém, estimado pelos mesmos que seja mais do que US\$ 70.000
[32]	Projeto parcialmente financiado pelo P.N.I.C. Almeria Leuante (Junta de Andalucia) e CICYT TAP93-0581. Não são informados valores.
[33]	O preço do robô não foi informado pelo autor. Porém levantando os preços dos componentes bateria 12V, 2 motores DC, Camera WiFi, Serial Bluetooth, SmartPhone Android e PIC16F877A estima-as um preço de R\$991,09 que resulta em ₹13,666.05 (rupias indiana) e US\$184.29
[35]	Projeto financiado parcialmente pela Fundação de Pesquisa do Chipre e pelo Secretariado Geral de Pesquisa e Tecnologia da Grécia, porém, não foi divulgado o valor
[36]	Este trabalho foi apoiado pelo Centro Nacional de Estufas de horticulturas, financiado pela NSW Agri culture, apoiado pelo programa ARC Centre of Excellence, e financiado pela Australian Research Conselho de Pesquisa Australiano e o Governo do Estado de Nova Gales do Sul, porém, não foi divulgado os valores
[20]	A pesquisa apresenta diversos preços de acordo com o robô que será utilizado, os valores são: R\$ 107.000, R\$ 65.000, R\$ 38.000, R\$ 123.000
[40]	R\$ 600,00
[46]	Este projeto foi apoiado pela SERB, Govt. da Índia, não foi divulgado nenhum valor

Fonte: O Autor




Foram desenvolvidos somente para pesquisa ou ainda estão em processo de avaliação de valor de serviço. Nos estudos fica claro que o serviço de pulverização é de alto investimento limitando os usuários do mesmo. Protótipos baratos são realmente desenvolvidos somente para pesquisas, porém, nada impede da inserção de algo mais barato no mercado que atenda esse nicho de pequenos produtores.

## 6.7 TIPO DE MICROCONTROLADOR

Existem N modelos de microcontroladores uns mais direcionados para produto comercial e outro usado mais para pesquisa e estudo. Não necessariamente isso se torna uma limitação, porém, existem alguns mais usuais se a aplicação for estudo ou produto de mercado. A escolha influencia em diversos fatores como preços, de certa forma potencializa o robô possibilitando ter mais atuadores, sensores. Os micros controladores são apresentados na Tabela 13

Tabela 13 - Tipos de micro controladores utilizados.

[23]	<p>Não é informado o tipo usado, porém, fica claro que é utilizado um microcontrolador que utiliza o protocolo I<sup>2</sup>C e fica claro pela foto que algum microcontrolador é utilizado:</p> 
[24]	Microcontrolador Atmel AVR
[32]	Não informado pelo autor
[33]	Micro controlador PIC16F877
[35]	Não foi informado pelo autor
[36]	É utilizado um micro controlador que é programado em Dynamic C, porém, o autor não especifica o modelo
[20]	Não foi informado pelo autor provavelmente pelo motivo que são projetos comerciais que não divulgam tal informação
[40]	Arduino UNO
[46]	O robô apresenta o ATmega 2560 e o sistema de pulverização apresenta o Arduino Nano

Fonte: O Autor

Muitos não são informados nos estudos pela questão de sigilo de projeto. O projetista evita divulgar várias coisas que comprometam o funcionamento do seu projeto por questão de

patentes, modo de operar evitando assim projetos similares no mercado. É possível notar que projetos mais para o ramo da pesquisa a tendência é utilizar Arduino, PIC, apesar de que, o PIC é presente em alguns projetos comerciais pela sua robustez. Porém com a evolução da tecnologia não são os mais usuais para projetos mais modernos e que na maioria das vezes não é divulgado o tipo do micro controlador utilizado.

## 6.8 VELOCIDADE MÁXIMA DO ROBÔ

Devido a tal funcionalidade de pulverização o robô deve apresentar uma velocidade que garanta um bom espalhamento pela plantação, uma vez que, caso o mesmo apresentar uma velocidade maior/menor do que o esperado a pulverização pode não apresentar o resultado esperado. Cada plantação e área tem uma velocidade ideal, segue na Tabela 14 as velocidades dos robôs estudados neste artigo.

Tabela 14 - Tabela de apresentação das velocidades dos robôs estudados.

[23]	Não foi informado pelo autor
[24]	0,5m/s até 1m/s
[32]	0,82m/s
[33]	0,5m/s
[35]	3m/s
[36]	0,26m/s
[20]	Pelos <i>drones</i> apresentados o DJI apresenta uma velocidade de até 8,33m/s; Pelicano uma velocidade de até 15m/s; JT Sprayer uma velocidade de até 8,33m/s e o AGL-20 uma velocidade de até 10m/s
[40]	Aproximadamente 1,25m/s
[46]	Pelos <i>drones</i> apresentador com diferentes micro controladores pode ir de 3m/s até 22,22m/s

Fonte: O Autor

Nem sempre o que tem uma velocidade maior apresenta um serviço melhor ele pode sim fazer o serviço em menos tempo, porém, tem um maior gasto de energia, processamento mais rápido. Fica claro na Tabela 14 que robôs terrestres apresentam uma velocidade bem menor comparado a robôs aéreos, diferença de velocidade que é muito considerável para a escolha do tipo de robô que será usado para pulverização. Portanto os dados mostram que a melhor escolha seria *drones*.

## 6.9 LIMITAÇÕES

Como já apresentado neste trabalho muitos robôs sejam eles para pesquisa ou comercial apresentam suas limitações seja de funcionamento, execução e outros, como é mostrado na Tabela 15. Um dos principais critérios está sendo apresentado pois, a parte eletrônica, elétrica, mecânica de uma certa forma é adaptável em um robô caso precise mudar ou até adicionar um recurso, porém, sempre terá uma limitação e isso é o que pesa na escolha de qual tipo de robô utilizar para pulverização.

Tabela 15 - Desvantagens dos robôs estudados.

[23]	Problemas de comunicação no protocolo I <sup>2</sup> C e os sinais PWM gerados não atingiu o proposto, uma vez que, o micro controlador entrou em conflito com os sinais.
[24]	O robô para atender algo diferente que ele está programado ele precisa passar por modificações e adaptações que gera um custo
[32]	A principal desvantagem deste sistema de locomoção é a redundância do atuador que surge da dificuldade em sincronizar perfeitamente os sistemas de direção e propulsão.
[33]	Suas principais desvantagens estão relacionadas por sua falta de flexibilidade, uma vez que, não são adequados para todos os tipos de estufas, exigem um investimento para cada estufa diferente e sua operação é limitada a pulverização bruta de uma posição para cima, o que não permite uma localização eficiente ou tratamentos sistemáticos.
[35]	Algumas falhas no algoritmo de navegação do robô na área como na identificação do alvo a ser pulverizado
[36]	É limitado em estufas que possuem trilhos para se locomover o que torna o protótipo não aplicável em diversos ambientes
[20]	Pelo porte e dimensão possui um baixo rendimento operacional entre 3 a 4 hectares por hora e também há uma necessidade de mão de obra especializada para se pilotar o mesmo
[40]	Por ser um protótipo com o objetivo de ser de baixo custo, sua própria estrutura virou a limitação.
[46]	Foi apontado em possíveis melhoras ao decorrer do projeto na câmera, bateria, tempo de voo, sensoriamento remoto, uma vez que, não foi indicado que os mesmos foi um problema, porém devem ser melhorados.

Fonte: O Autor

Todas as pesquisas que compõem o banco de artigo levantam que o próprio uso de pesticidas é uma desvantagem agredindo o meio ambiente e provocando problemas no solo,

na plantação e até em seres-humanos e usam a robótica para mostrar uma possível forma de controlar e amenizar esses problemas.

Fica claro também que muitas limitações dos robôs é a falta de flexibilidade que apresentam já que muitos deles são padronizados para trabalhar em um tipo de ambiente, com uma metragem específica, cultura específica e caso ocorra alguma mudança é necessário adaptar o projeto.

## 6.10 VOLUME / PESO DO TANQUE COM PESTICIDA

Se tratando de pulverizadores o peso e o volume do tanque de armazenamento de calda afetam diretamente em fatores como gasto de energia do robô, uma vez que, quanto maior o tanque mais energia o robô gastara para funcionar devido ao peso e o volume que ditará quanto litros de calda o robô armazena para pulverizar afetando assim sua eficiência e eficácia, sobre o volume de armazenamento e peso dos robôs estudados podem ser vistos na Tabela 16.

Tabela 16 - Volume e pesos dos tanques utilizados pelos robôs estudados.

[23]	Não foi informado pelo autor
[24]	Não foi informado pelo autor
[32]	É utilizado um sistema de bomba costal aproximadamente 15-20 litros e não foi informado o peso pelo autor
[33]	Não foi informado pelo autor
[35]	Carga útil é de $\geq 25\text{kg}$ o que garante uma sessão de pulverização significativa, porém, não é fornecido quantos litros
[36]	Não foi informado pelo autor
[20]	Reservatório de 10 a 20 kg
[40]	Reservatório de 500 ml e uma bomba de aquário, visto que o peso total dos componentes resultou em 1,1Kg, e a carga máxima para os motores é de 1,6Kg
[46]	Não foi informado pelo autor

Fonte: O Autor

Em se tratando de peso e volume os resultados informados proporciona uma estimativa de que o volume para o armazenamento da calda que será pulverizada é de 10 a 20 litros que é o usual da operação manual que ocorre nessas situações, já na pesquisa de CARVALHO [40] como o robô é de uma estrutura de baixo custo o reservatório usado é de 500ml para não afetar no funcionamento do protótipo. Já referente ao peso diferente de

ADAMIDES [35] que o robô apresentado é uma plataforma que por consequência consegue carregar mais peso os outros robôs chegam aproximadamente aos 2Kg não passando muito disso.

## 6.11 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Revisando os dados apresentados é relevante observar que existem pontos fortes e fracos em cada projeto independente do meio em que o mesmo se locomove. Ao primeiro critério é possível notar que, para este tipo de serviço de pulverização, o mais utilizado são os *drones* e os menos usuais são os robôs terrestres com pernas. Isto futuramente pode mudar, uma vez que, o de pernas consegue fazer uma aplicação mais concentrada e direcionada que o *drone*, porém, o *drone* consegue atingir uma melhor área em menos tempo tornando assim o serviço rápido e eficiente e de alto investimento.

A bateria não tem um valor muito diferente fora do intervalo de 5V – 12V dependendo do robô pode ser um pouco maior, porém, não muito além de 15V unindo também a autonomia, que ficou claro que robôs apresentam uma autonomia de no máximo 20 minutos, com exceção do projeto ADAMIDES [35] que vem de um projeto já concretizado a mais tempo e apresenta uma autonomia de 3 horas. Foi possível ver que todos os robôs apresentados têm como aplicação sensores de colisão seja ele infravermelho ou ultrassônico, uma vez que, o ambiente de trabalho apresenta obstáculos e irregularidades trazendo a importância da presença desses sensores nos robôs.

O uso de GPS é apresentado em projetos que tendem mais a área comercial e serviços, já que a localização geográfica é importante quando se trata de pulverização justamente para evitar desperdícios e controle de área já pulverizada, o conceito GPS por *Bluetooth* é o mais utilizado por apresentar um ótimo custo benefício. O microcontrolador apresenta o mesmo ideal caso o robô tender mais para área comercial/serviços dificilmente ele será Arduino variando entre PIC, AT Mega entre outros.

Em relação a comunicação são apresentadas 3 maneiras que se estima as mais usuais, são elas o protocolo WiFi, controle por *Bluetooth* e serial RS232. As três maneiras apresentam bons resultados, porém, o protocolo WiFi fica mais prejudicado pela carência de sinal de rede que a área rural apresenta. Já em relação as velocidades os robôs aéreos são os mais rápidos atingindo até 8,33m/s até 22,22m/s, em contrapartida, os robôs terrestres apresentam uma velocidade em um intervalo de 0,26m/s a 3m/s.

No critério volume e peso influencia muito na estrutura física do robô podendo ser uma limitação. A estimativa de tanques usados em projetos vai de 10 a 20 litros com uma observação no projeto de CARVALHO [40] que apresentou um projeto de baixo custo com apenas um tanque de 500ml. Influenciando também no peso os robôs não ultrapassam dos 2Kg, exceto, o de ADAMIDES [35] que por ser uma plataforma móvel suporta mais peso.

As limitações apresentadas basicamente por todos os pesquisadores foram à falta de flexibilidade, sendo necessárias, possíveis modificações conforme o ambiente de aplicação demandar. Importante apontar que como desvantagem de todos os projetos os autores trazem o uso de pesticidas que é prejudicial ao meio ambiente e aos seres humanos, mostrando que a automação pode ser um caminho para uma melhor conservação ambiental se tratando de pulverização de pesticidas.

Os preços mais elevados são dos *drones*, uma vez que, são os mais utilizados no mercado, tem mais demanda e apresenta melhores resultados se tratando de robôs que realizam a pulverização de plantações. Em se tratando de preços dos robôs terrestres estima-se em um valor entre R\$1.000,00 a R\$1.500,00 somente o protótipo aplicado a mercado, o serviço propriamente dito de pulverização por meio terrestre não tem estimativa de preço. Em robôs que tem como intuito pesquisa apresenta um valor no intervalo de R\$ 500,00 a R\$900,00.

## 7 CONCLUSÃO

Através de um levantamento bibliográfico foi possível ver que a robótica hoje é muito presente na agricultura e atua em diversas aplicações como plantio, colheita, aplicação de pesticidas, manuseio de gado, controle administrativo, controle de quantidade de gado, entre outros.

Notou-se que existem vários modelos de robôs pulverizadores em diferentes meios de atuação sendo ele terrestre com rodas, terrestre com pernas ou aéreos. O trabalho tem o propósito de através de um banco de dados de artigos, utilizar critérios para classificar diferentes tipos de robôs e compara-los, apresentando suas características técnicas, suas diferenças e suas limitações. O trabalho atingiu os objetivos propostos ao elaborar um banco de dados de artigos, apresentar diversos modelos de robôs pulverizadores e ao comparar as características que são essenciais para robôs pulverizadores.

Aos critérios apresentados o primeiro, locomoção do robô, é o melhor critério para se decidir qual é o melhor robô para tal aplicação. Os outros critérios são de implantação, não é porque um robô apresenta que o outro não pode apresentar. Já a locomoção filtra muitas situações. Portanto é aconselhável para grandes plantações como latifúndios, que é uma área que apresenta um território 600 vezes maior que o módulo rural, são geralmente territórios que suportam monocultura como cana-de-açúcar, algodão, café, laranja entre outros. Para territórios de latifúndios é recomendado a utilização de drones, uma vez que, o mesmo consegue cobrir uma área maior, com uma boa velocidade e autonomia.

Já relacionado a minifúndio o drone e robôs terrestres com pernas apresentam aplicação, dependerá do “cliente” qual robô apresentará um resultado melhor gerando assim um maior retorno. Quando está relacionado a estufas, já que várias culturas como repolho, alface, morango, culturas que necessita de um controle de temperatura maior o drone perde espaço dando um maior foco em robôs terrestres com rodas que ao programado entrega um serviço de pulverização eficiente.

O robô com pernas, neste caso o hexápode, ainda não apresenta um espaço em aplicação. Sua aplicabilidade e uso estão direcionados principalmente à pesquisa até o momento, uma vez que, o resultado do mesmo provavelmente não apresenta bons resultados já que não existem muitos trabalhos utilizando este tipo para realizar pulverização.

Dentre as dificuldades ao longo do trabalho, destaca-se a de se obter informações mais precisas, por questões de sigilo, o autor não faz a divulgação de todas as características. Caso fosse feito, o artigo teria mais informações dando a ele uma maior riqueza de informações que

ele já apresenta. Filtrar a quantidade de artigos que seria usado para direcionar o trabalho foi uma dificuldade, pois, muitos artigos apresentam robôs que executam controle de pragas, porém, não na forma de pulverização, portanto foi feito esse filtro de robôs que fazem controle de pragas por pulverização.

Foi observado também ao decorrer do trabalho que os trabalhos que fazem parte do banco de artigos, apesar de atuarem na área de pulverização, apontam o malefício do uso de pesticidas devido aos danos causados ao ambiente e ao próprio ser humano. Tal opinião se iguala a opinião de produtores rurais que veem o pesticida hoje como um “mal necessário”, que muitas das vezes por mais danos colaterais em longo prazo que o pesticida pode apresentar, ele oferece uma proteção e potencialização na produção do agricultor.

A partir deste trabalho abre probabilidades de pesquisas futuras em diversas áreas como um aprofundamento em robôs terrestres com pernas e de como ele pode ser vantajoso em situações e em aplicações. Possibilita também em ter algumas orientações de diversos tipos de robôs que exercem a função de pulverizador dando uma base para o desenvolvimento de algo novo na área através das características, mecânicas e limitações apresentadas neste trabalho. O trabalho proporciona também através do apanhado de informações apresentadas a possibilidade de desenvolver um protótipo de robô pulverizador, seguindo os modelos menos presentes no mercado que no caso são os robôs terrestres com pernas, apresentando um estudo melhor de aplicabilidade, rendimento, funcionalidade e autonomia utilizando o mesmo para pulverização. E não só um robô terrestre com pernas, mas também uns aéreos ou um com rodas, uma vez que, o trabalho mostra teoricamente as especificações que podem dar certo e os resultados de tal aplicação, se é ou não vantajoso o desenvolvimento do mesmo utilizando tal especificação.



## REFERÊNCIAS

- [1] EMBRAPA (2019) – **Trajatória da agricultura brasileira**, Disponível em: < <https://www.embrapa.br/visao/trajetoria-da-agricultura-brasileira>> , Acesso em: 09 de Abril de 2019
- [2] ROSSETTO,R., SANTIAGO,A.D. (2019) **Pragas**, Disponível em:< [http://www.agencia.nptia.embrapa.br/gestor/canadeacucar/arvore/CONTAG01\\_53\\_711200516718.html](http://www.agencia.nptia.embrapa.br/gestor/canadeacucar/arvore/CONTAG01_53_711200516718.html)> , Acesso em: 22 de Abril de 2019
- [3] PIX FORCE (2017) – **Controle biológico de pragas na agricultura: como garantir a saúde das plantações**, Disponível em: < <https://pixforce.com.br/controle-biologico-de-pragas-na-agricultura/>> , Acesso em: 18 de Abril de 2019
- [4] VASCONCELOS, Y. (2017) – **Agrotóxicos na berlinda**, Disponível em: < [http://revista.pesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2018/09/018-027\\_CAPA-Agrot%C3%B3xicos\\_271.pdf](http://revista.pesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2018/09/018-027_CAPA-Agrot%C3%B3xicos_271.pdf)> , Acesso em: 18 de Abril de 2019
- [5] FABRO, N. , RIBEIRO, C. (2017) – **Os cinco erros mais comuns na aplicação de defensivos**, Disponível em: <<https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Agricultura/noticia/2017/04/os-cinco-erros-mais-comuns-na-aplicacao-de-defensivos.html>> , Acesso em: 09 de Abril de 2019
- [6] RIBEIRO, M.L. et al (2008)– **Pesticidas: usos e riscos para o meio ambiente**, Tese de Mestrado, Araraquara – São Paulo
- [7] CRISTIANE, Sara Machado Vaz, SORDI Victor Freire. **Smart Farming: Contexto e desafios**. III Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação, Naviraí- Mato Grosso do Sul, 2019.
- [8] PARISOTO, Greici Joana. **Smart Farming e seu Estado da Arte: Uma revisão bibliométrica**. VI Simpósio da Ciência do Agronegócio, Porto Alegre – Rio Grande do Sul, 2018.
- [9] ROMERO, Roseli A. F. et al (2014) **Robótica Móvel**. 1ª edição, LTC.
- [10] MATARIC, Maja J. (2014) **Introdução À Robótica**, Editora Blucher, 1ª Ed.
- [11] BENTO,T. DOMINGUES,A. , GONÇALVES,E. (2019)– **Agricultura 4.0 : primeiros passos para entender a inovação no agronegócio brasileiro**, Disponível em: < <https://joaoricardao.files.wordpress.com/2018/08/agricultura4.pdf>> , Acesso em: 22 de Abril de 2019
- [12] HACKENHAAR, N.M., HACKENHAAR, C. , ABREU, Y.V. (2014) – **Robótica na agricultura**, Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/inter/v16n1/1518-7012-inter-16-01-0119.pdf>> , Acesso em: 20 de Abril de 2019
- [13] HACKENHAAR, Neusa et al (2014). **Robótica na agricultura**. INTERAÇÕES, Campo Grande, v. 16, n. 1, p. 119-129, jan./jun. 2015.

- [14] REVISTA GALILEU (2013)– **Pesquisadores criam robô que faz colheita de morangos**, Disponível em: < <http://revistagalileu.globo.com/Revista/Common/0,,EMI195571-17770,00-PESQUISADORES+CRIAM+ROBO+QUE+FAZ+COLHEITA+DE+MORANGOS.html>> , Acesso em: 22 de Abril de 2019
- [15] SILVA, C.L.A. (2017)– **Fazenda consegue plantar e colher usando somente robôs**, Disponível em: <<https://www.codigofonte.com.br/noticias/fazenda-consegue-plantar-e-colher-usando-somente-robos>> , Acesso em: 22 de Abril de 2019
- [16] NETTO, C.G. (2017)– **Robô de baixo custo executa tarefas agrícolas**, Disponível em: <<https://www.unicamp.br/unicamp/ju/noticias/2017/05/17/robo-de-baixo-custo-executa-tarefas-agricolas>> , Acesso em: 22 de Abril de 2019
- [17] FOWLER, J. (2019) – **Drone pulverizador: tudo sobre os drones para pulverização**, Disponível em : <<https://tecnologianocampo.com.br/drone-pulverizador/>> , Acesso em: 20 de Abril de 2019
- [18] SOARES, W. , ALMEIDA, R.M.V.R , MORO, S.(2003)– **Trabalho rural e fatores de risco associados ao regime de uso de agrotóxicos em minas gerais, brasil**, Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-311X2003000400033&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-311X2003000400033&script=sci_abstract&tlng=pt)> , Acesso em: 22 de Abril de 2019
- [19] PENA, R.F.A. (2019)– **Cultivo e conservação do solo**, Disponível em: < <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/cultivo-conservacao-solo.htm>> , Acesso em: 22 de Abril de 2019
- [20] BERNARDO, Rodrigo et al (2019). **Uso de drones para aplicações de defensivos agrícolas**. Artigo apresentado na 8ª Jornada Científica e Tecnológica da Fatec de Botucatu, São Paulo.
- [21] HORUS (2018). **Como escolher o melhor drone?** Disponível em: < <https://horusaeironaves.com/como-escolher-o-melhor-drone/>>. Acesso em 08 de junho de 2021.
- [22] DAMICO, L. (2013)– **Dicas para combater pragas e deixar suas plantas saudáveis**, Disponível em : < <https://sustentabilidade.estadao.com.br/blogs/flores-de-lulu/dicas-para-combater-pragas-e-deixar-suas-plantas-saudaveis/>> , Acesso em: 20 de Abril de 2019
- [23] SHILDT, A.N. et al (2015) – **Desenvolvimento de um robô terrestre hexapod**, Disponível em : <<http://sistemaolimpo.org/midias/uploads/26c4ee8c94bc4959081e76c1e7940ace.pdf>> , Acesso em: 20 de Abril de 2019
- [24] JUNIOR, Antonio (2010). **Análise dos requisitos da qualidade em projetos de robôs agrícolas**. Tese de dissertação da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo
- [25] SHAREAMERICA (2020). **Estes robôs ajudam os agricultores a aumentar a produção agrícola**. Disponível em: <<https://share.america.gov/pt-br/estes-robos-ajudam-os-agricultores-a-aumentar-a-producao-agricola/>>. Acesso em 08 de junho de 2021.
- [26] ARPAC (2019) - **Pulverização agrícola com drones**, Disponível em : <<http://www.arpacbrasil.com.br/>>, Acesso em : 01 de Junho de 2019

- [27] EMBRAPA (2019) - **O que é Agricultura de precisão**, Disponível em: <<https://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/redeap2/o-que-e-agricultura-de-precisao>> , Acesso em : 01 de Junho de 2019
- [28] SKYDRONES (2019) - **Soluções em agricultura**, Disponível em: <<https://skydrones.com.br/solucoes-agricultura/>> , Acesso em : 01 de Junho de 2019
- [29] AGRAS MG-1 (2019) – **DRONE DJI AGRAS T20 SEM BATERIAS**, Disponível em <<https://www.superimportadora.com.br/drone-dji-agras-t20>> , Acesso em 04 de Junho de 2019
- [30] GROENEVELD, R. (2018) -**Possibilities for *drones* in agriculture seem endless – but are they?** – Disponível em : <<https://www.futurefarming.com/Tools-data/Articles/2018/12/Possibilities-for-drones-in-agriculture-seem-endless--but-are-they-369704E/>> , Acesso em 04 de Junho de 2019
- [31] KIPKEMOI, P. (2019) - **The pros and cons of *drones* in agriculture** – Disponível em <<http://www.droneguru.net/the-pros-and-cons-of-drones-in-agriculture/>> , Acesso em 04 de Junho de 2019
- [32] MANDOW, Anthony et al. **The autonomous Mobile Robot AURORA for Greenhouse Operation**. IEEE Robotics & Automation Magazine, Dezembro 1996.
- [33] SULAKHE, Amruta, KARANJKAR, M.N. **Design and Operation of Agriculture Based Pesticide Spraying Robot**. Dept. of Electronics and Telecommunication, Shree Tuljabhavani College of Engineering, Tuljapur, Osmanabad, IJECT Vol. 6, Issue 4, Oct - Dec 2015 India.
- [34] EMMI, Luis et al. **Configuring a Fleet of Ground Robots for Agricultural Tasks**. Center for Automation and Robotics, 2014, Madrid-Spain.
- [35] ADAMIDES, George et al. **Design and development of a semi-autonomous agricultural vineyard sprayer: Human-robot interaction aspects**. Wiley Systems Article, 1 April, 2017.
- [36] SAMMONS, Philip J. **Autonomous Pesticide Spraying Robot for use in a Greenhouse**. The University of New South Wales, Australia, September 9, 2005.
- [37] MOITINHO, Fabio. (2019) **E a robótica reinventa o campo**, Disponível em < <https://www.dinheirorural.com.br/e-a-robotica-reinventa-o-campo/>> , Acesso em 04 de Junho de 2019
- [38] FORNER-CORDERO, A., **Robôs móveis: locomoção PMR3502** Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4578567/mod\\_resource/content/1/PMR3502\\_Aula2\\_Locomo%C3%A7%C3%A3oPataseRodasFinal.pdf#:~:text=%E2%9E%A2Estabilidad e%2C%20tra%C3%A7%C3%A3o%2C%20manobrabilidade%20e,das%20rodas%20com%20o%20ch%C3%A3o.](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4578567/mod_resource/content/1/PMR3502_Aula2_Locomo%C3%A7%C3%A3oPataseRodasFinal.pdf#:~:text=%E2%9E%A2Estabilidad e%2C%20tra%C3%A7%C3%A3o%2C%20manobrabilidade%20e,das%20rodas%20com%20o%20ch%C3%A3o.)>. DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECATRÔNICA-USP. Acesso em 27 de julho de 2021.
- [39] GEARBEST (2019) **Tipos de sensores**, Disponível em < [https://br.gearbest.com/kits/pp\\_226897.html](https://br.gearbest.com/kits/pp_226897.html)> , Acesso em 04 de Junho de 2019

- [40] CARVALHO, B.R., **DRONE PARA PULVERIZAÇÃO AGRÍCOLA E DE INSETICIDAS**. III Encontro de Desenvolvimento de processos agroindustriais, UNIUBE-UFTM-IFTM, 2019.
- [41] SENSE & INSTRUMENTS, **Sensores Ultrassônicos**. Disponível em: < [https://www.sense.com.br/arquivos/produtos/arq1/Sensores\\_Ultrass%C3%B4nicos\\_Sense\\_Folheto\\_Rev\\_%20J.pdf](https://www.sense.com.br/arquivos/produtos/arq1/Sensores_Ultrass%C3%B4nicos_Sense_Folheto_Rev_%20J.pdf)>. Acesso em 06 de julho de 2021.
- [42] JFL ALARMES, **O que são e para que servem os sensores infravermelhos passivos num sistema de alarme?** Disponível em: < <https://jflalarmes.com.br/o-que-sao-e-para-que-servem-os-sensores-infravermelhos-passivos-num-sistema-de-alarme/>>. Acesso em 06 de julho de 2021.
- [43] SOLECTRO, **Sensores inerciais IMU** Disponível em: < <https://solectroshop.com/pt/14255-sensores-inerciais-imu/>>. Acesso em 06 de julho de 2021.
- [44] BAUERMEISTER,G., **Usando Arduino GPS Shield com Google My Maps** Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/arduino-gps-shield-com-google-my-maps/>>. Acesso em 27 de julho de 2021.
- [45] VERZUTTI, J. **Como funciona os sensores de umidade na Agricultura?** Disponível em: <<https://agropos.com.br/sensores-de-umidade/>>. AGROPÓS. Acesso em 27 de julho de 2021.
- [46] MOGILI, U.R., **Review on Application of drone Systems in Precision Agriculture**. International Conference on Robotics and Smart Manufacturing (RoSMa2018), 2018.
- [47] SIEGWART, R. , NOURBAKHSI, I.R., SCARAMUZZA, D. (2011)– **Autonomous Mobile Robots** , Editora The MIT Press, Segunda Edição
- [48] MELO, R. F. et al (2017) **Pesticidas e seus impactos no ambiente**, Embrapa, Cap 4, pag. 101-136
- [49] MACHADO, Lucas (2016). **Broca da cana-de-açúcar, a principal praga da cultura**. Disponível em: <<https://3rlab.wordpress.com/2016/09/28/broca-da-cana-de-acucar-a-principal-praga-da-cultura/amp/>>. Acesso em 04 de junho de 2019.
- [50] EMBRAPA (2005) - **Tecnologia de aplicação de defensivos** , Disponível em : < <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Ameixa/AmeixaEuropeia/tecnologia.htm> > , Acesso em 04 de Junho de 2019
- [51] JACTO (2019) – **Bicos de pulverização**, Disponível em <<https://blog.jacto.com.br/bicos-com-inducao-de-ar/>> , Acesso em 04 de Junho de 2019
- [52] MERCADO LIVRE - **Bico sprayer**, Disponível em < [https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-833177308-bico-leque-laranja-110graus-p-pulverizador-costal-\\_JM?quantit y=1](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-833177308-bico-leque-laranja-110graus-p-pulverizador-costal-_JM?quantit y=1)>, Acesso em 04 de Junho de 2019
- [53] PRISCILA, **Autopropelido: entenda as vantagens de se usar um pulverizador autopropelido**. Disponível em: < <https://tecnologianocampo.com.br/auto-propelido/>>. Acesso em 19 de julho de 2021.

[54] CRAVO, E. **Motores BLDC – O que você precisa saber?** Disponível em: <<https://blog.kalatec.com.br/motores-blcd-vantagens/>>. AGROPÓS. Acesso em 29 de julho de 2021.

[55]BRAGA, N. **Tipos de movimentos para robôs terrestres** Disponível em: <<https://www.newtonbraga.com.br/index.php/robotica/4018-rp0001.html>>.AGROPÓS. Acesso em 12 de agosto de 2021.

[56] REIMBOLD, M. M. P. et al (2013) - **Protótipo robô hexápode para inspeção em tubulações de ar condicionado**, Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics, Vol. 1, N. 1.

[57] DORHOUT, D.(2010) - **Prospero: robotic farmer**, Disponível em : <[http://schmartboard.com/content/Circuits/project\\_0008\\_description.pdf](http://schmartboard.com/content/Circuits/project_0008_description.pdf)> , Acesso em 04 de Junho de 2019

[58] JØRGENSEN, R. **Mower into a Robotic Tool Carrier for High-Tech Plant Nursing - Part I** , American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2006

[59] AFP, **Japão cria “fábricas de verduras” para substituir agricultura no campo** Disponível em: < [https://www.em.com.br/app/noticia/internacional/2020/01/02/interna\\_internacional,1111730/japao-cria-fabricas-de-verduras-para-substituir-agricultura-no-campo.shtml](https://www.em.com.br/app/noticia/internacional/2020/01/02/interna_internacional,1111730/japao-cria-fabricas-de-verduras-para-substituir-agricultura-no-campo.shtml)>. Acesso em 21 de julho de 2021.

[60] AGRONEWS, **Es este el futuro de los alimentos una fabrica de verduras inócuas** Disponível em: <<http://www.agronews.co/es-este-el-futuro-de-los-alimentos-una-fabrica-de-verduras-inocuas/>>. Acesso em 21 de julho de 2021.