

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

GUILHERME JOSÉ TONETTI ASSIS

WILLIAN CAMARGO PEDERIVA

**DESENVOLVIMENTO DE PROJETO E PROTÓTIPO DE UM VANT PARA
APLICAÇÃO EM ATIVIDADE DE PULVERIZAÇÃO**

CURITIBA

2023

GUILHERME JOSÉ TONETTI ASSIS
WILLIAN CAMARGO PEDERIVA

**DESENVOLVIMENTO DE PROJETO E PROTÓTIPO DE UM VANT PARA
APLICAÇÃO EM ATIVIDADE DE PULVERIZAÇÃO**

**Design and development of an unmanned aerial vehicle for agricultural
spraying**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Engenheiro do curso de Engenharia Mecânica, do Departamento Acadêmico de Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Profº Carlos Cziulik, Ph.D

Coorientador(a): Profº Sérgio Miguel Mazaro, Dr.

CURITIBA

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

GUILHERME JOSÉ TONETTI ASSIS
WILLIAN CAMARGO PEDERIVA

**DESENVOLVIMENTO DE PROJETO E PROTÓTIPO DE UM VANT PARA
APLICAÇÃO EM ATIVIDADE DE PULVERIZAÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Engenheiro do curso de Engenharia Mecânica, do Departamento Acadêmico de Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 26/Junho/2023

Profº Dr. Claudio Tavares da Silva
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profº Dr. Tiago Rodrigues Weller
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profº Carlos Cziulik, Ph.D.
Ph.D.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CURITIBA

2023

AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que estiveram nos ajudando em nosso caminho, nossas mais sinceras condolências, por aqueles que uma vez passaram na nossa vida e não pudemos retribuir, e por aqueles a quem pretendemos deixar um mundo melhor.

Agradecemos aos orientadores Prof. Dr. Carlos Cziulik, e Profº Sérgio Miguel Mazaro que foram inspiração para os objetivos a que queremos alcançar.

Aos colegas de sala, de curso e de atividades.

A Secretaria do Curso, pela cooperação.

A companheira de excelentes momentos Paula Geremia.

Aos amigos e parceiros, Christopher Akira, Adriel Leão, Edina Mara, e Marcos Santos, parceiros de projetos vindouros.

Aos membros das equipes Crossbots e Acalântis, por nos ensinarem tanto que utilizamos neste trabalho.

Aos amigos de outros momentos, Leonello, Rodolfo, Leonardos, Rubia, Aline, Anderson Sakuma e Sueli, que nos ensinaram conhecimentos fundamentais.

Gostaríamos de deixar registrado também, o reconhecimento às famílias, pois acreditamos que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

Responsável por 27,4% do PIB brasileiro em 2019, a agricultura é um dos setores de maior importância para o país. As atividades agrícolas demandam tratamentos no cultivo, de forma a aumentar sua produtividade. A pulverização se destaca como elemento fundamental nessa atividade, uma vez que demanda significativo tempo e recursos em relação a outras atividades. Além de ser a operação mais impactada por regulamentações, devido a sua responsabilidade social e ambiental por conta dos produtos tóxicos utilizados. Existem vários métodos de pulverização, porém, seguindo os conceitos da Indústria e Agricultura 4.0, que abriu novas frentes, propõe-se a utilização de VANTs para a pulverização de lavouras. Esse método permite uma eficiência maior, portanto, economia de recursos. Dessa maneira, é proposto como objetivo desse trabalho a realização de projeto e protótipo do tipo prova-de-conceito, de um VANT adaptado para a pulverização. Para o presente trabalho emprega-se a abordagem proposta por Pahl *et al.* (2007), com adaptações para definição da viabilidade técnica e econômica. Realiza-se extensiva revisão bibliográfica acerca dos temas agricultura no Brasil, determinadas culturas específicas, pulverização e seus principais métodos, além de VANTs e suas aplicações na agricultura. Apresenta-se também uma busca de patentes e um benchmarking com sete produtos similares que encontram-se disponíveis no mercado. Tem-se também o documento de especificação de projeto, que norteia as demais etapas do trabalho. Realiza-se uma configuração da arquitetura do sistema, onde este separa-se em módulos para determinações individuais, que resultam em dois projetos preliminares. Com isso, realiza-se a construção de dois protótipos. Dessa maneira, realizam-se testes, que contribuem para a escolha do protótipo final. Os testes mostram que o VANT projetado é capaz de realizar a pulverização eficientemente e sua estrutura final suporta as cargas aplicadas no processo. No entanto, devido a problemas de configuração, não é possível voar estavelmente. Assim, tem-se que o objetivo do trabalho foi atingido parcialmente.

Palavras-chave: VANT; pulverizador; agricultura 4.0.

ABSTRACT

Responsible for 27.4% of the Brazilian GDP in 2019, agriculture is one of the most important economic sectors for the country. Agricultural activities demand treatments in cultivation, in order to increase their productivity. Spraying stands out as a fundamental element in this activity, since it demands significant time and resources in relation to other activities. In addition to being the operation most impacted by regulations, due to its social and environmental responsibility due to the toxic products used. There are several spraying methods, however, following the concepts of Industry and Agriculture 4.0, which opened new possibilities, it is proposed the use of UAVs for spraying crops. This method allows greater efficiency, therefore saving resources. Thus, it is proposed as the objective of this work to project and build a prototype of the proof-of-concept type, of an UAV adapted for spraying. For the present work, the approach proposed by Pahl et al. (2007), with adaptations, will be used to define technical and economic feasibility. An extensive literature review was analyzed on agriculture in Brazil, certain specific crops, spraying and its main methods, as well as UAVs and their applications in agriculture. It also presents a patent search and a benchmarking with seven similar products that are available for purchase. The project specification document is also presented, which will guide the other stages of the work. A configuration of the system architecture is carried out, where it was separated into modules for individual determinations, which resulted in two preliminary designs. Therefore, tests are carried out, which contribute to the choice of the final prototype. The tests show that the designed UAV is capable of performing the spraying efficiently and its final structure supports the loads applied in the process. However, due to configuration issues, it is unable to fly stably. Thus, the objective of the work was partially achieved.

Keywords: UAV; sprayer; agriculture 4.0.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Padrões de densidade e tamanho de gotas de pulverização	25
Figura 2 – Padrões de pulverização hidráulica pelo tipo de bico	27
Figura 3 – Padrões de pulverização hidropneumática pelo tipo de bico	28
Figura 4 – Bico pulverizador com tensão eletrostática	28
Figura 5 – Pulverizador acoplado com barras flexíveis	31
Figura 6 – Pulverizador rebocado	31
Figura 7 – Pulverizador rebocado com turbina.....	32
Figura 8 – Pulverizador autopropelido	32
Figura 9 – Avião pulverizador em voo de baixa altitude	33
Figura 10 – Comparativo entre VANTs e pulverizadores autopropelidos.....	35
Figura 11 – Diferentes tipos de VANTs e seus modelos	38
Figura 12 – Os três tipos de decolagem.....	39
Figura 13 – O aumento da rotação dos motores de um VANT e os efeitos deste gerando movimentos de deslocamento transversal e rotacional.	40
Figura 14 – A disposição e sentido da hélice de acordo com o número de rotores no VANT	40
Figura 15 – Patente WO2015161352A1.	41
Figura 16 – Patente WO2021243428A1.	42
Figura 17 – Convite padrão para responder ao questionário	45
Figura 18 – Principais módulos do sistema	49
Figura 19 - Chassi de fibra de carbono	50
Figura 20 - Quadricóptero	51
Figura 21 - Hexacóptero	51
Figura 22 - Octacóptero	52
Figura 23 - Ponteiras alinhadas	53
Figura 24 - Ponteiras individuais por rotor	54
Figura 25 - Exemplo de padrão de voo.....	56
Figura 26 - Monitoramento de lavoura pelo sistema NDVI.....	58
Figura 27 - Design preliminar do sistema	59
Figura 28 - Design preliminar do sistema	59
Figura 29 - Tensões no caso do VANT estacionário	61
Figura 30 - Deslocamentos no caso do VANT estacionário.....	62
Figura 31 - Tensões no caso do VANT em funcionamento.....	62
Figura 32 - Deslocamentos no caso do VANT em funcionamento	63
Figura 33 - Conexões dos sensores e componentes eletrônicos	71
Figura 34 - Posicionamento dos sensores e componentes eletrônicos	72
Figura 35 - <i>Software Cleanflight</i>	76
Figura 36 - Modelagem da Proposta 1 (vista em perspectiva).....	77
Figura 37 - Modelagem da Proposta 1 (vista frontal).....	78
Figura 38 - Modelagem da Proposta 2 (vista em perspectiva).....	79
Figura 39 - Modelagem da Proposta 2 (vista frontal).....	79
Figura 40 - Lavoura de soja em fileiras	81
Figura 41 - Padrões de voo do VANT.....	82

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 - Motor X6 Hobbywing	64
Fotografia 2 - Bomba Superagri.....	65
Fotografia 3 - Barra de pulverização e bicos selecionados	66
Fotografia 4 - GPS NEO M8T	67
Fotografia 5 - Câmera OV2640	68
Fotografia 6 - Controladora de voo.....	68
Fotografia 7 - Raspberry Pi3 e Invólucro de proteção.....	69
Fotografia 8 - Módulo Arduino Nano	69
Fotografia 9 - Bateria 22000 mAh.....	70
Fotografia 10 - Conversores de tensão impermeáveis.....	72
Fotografia 11 - Medidor de nível d'água	73
Fotografia 12 - Driver para bomba	73
Fotografia 13 - Receptor do controle.....	74
Fotografia 14 - Gimbal e motores SG-90	74
Fotografia 15 - Sensor atmosférico BME280.....	75
Fotografia 16 - Lidar.....	75
Fotografia 17 - Oficina de trabalho	83
Fotografia 18 - Construção do chassi e suas adaptações	84
Fotografia 19 - Marcação dos locais de furação	85
Fotografia 20 - Furação dos componentes	86
Fotografia 21 - Protótipo 1.....	87
Fotografia 22 - Resultados do teste de voo	88
Fotografia 23 - Danos na estrutura após teste de voo	88
Fotografia 24 - Conector modelo intermediário	89
Fotografia 25 - Conector modelo T	90
Fotografia 26 - Conector modelo flexível	90
Fotografia 27 - Trem de pouso do Protótipo 2.....	91
Fotografia 28 - Suporte para o tanque reservatório	91
Fotografia 29 - Construção final do Protótipo 2 (vista frontal)	92
Fotografia 30 - Construção final do Protótipo 2 (vista em perspectiva)	92
Fotografia 31 - Estrutura do VANT com carga de 10 kg	95
Fotografia 32 - Estrutura do VANT com carga de 20 kg.....	95
Fotografia 33 - Aferição da massa do protótipo	96
Fotografia 34 - Resultado da aferição de massa	96
Fotografia 35 - Montagem do teste de pulverização.....	98
Fotografia 36 - Resultados da pulverização no papel Kraft	99
Fotografia 37 - Local do teste de voo	100
Fotografia 38 - VANT levantando voo.....	101
Fotografia 39 - VANT perdendo estabilidade durante o voo.....	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção agrícola brasileira e paranaense	20
Tabela 2 – Tempo de vida e queda em ar parado pela umidade e temperatura	26
Tabela 3 – Densidade de deposição para 100 litros de calda por hectare	26
Tabela 4 – Especificação do Produto VANT.....	47
Tabela 5 - Densidade de soja por hectare, variando com o espaçamento entre fileiras e o número de plantas metro linear.....	80
Tabela 6 – Valores obtidos na casa da qualidade.....	128

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Recomendações de densidade de gotas por tipo	25
Quadro 2 - Usos de VANTs na agropecuária	36
Quadro 3 - <i>Benchmarking</i>	43
Quadro 4 – Segundo sua experiência, o que limita a aplicação com drones?	119
Quadro 5 – Você conhece algum dos usos abaixo para drone na agricultura?	120
Quadro 6 – Qual capacidade que mais deseja aplicada num drone agrícola?	120
Quadro 7 – Qual característica é mais importante?	121
Quadro 8 – Requisitos técnicos de dimensionamento.....	123
Quadro 9 – Requisitos técnicos de componentes eletromecânicos	124
Quadro 10 – Requisitos técnicos por tipo de uso	125
Quadro 11 – Requisitos técnicos por tipo de sensor	125
Quadro 12 – Requisitos técnicos por tipo de sensor (continuação)	126

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Área tratada por cultura em 2020 e 2021	22
Gráfico 2 - Área pulverizada em 2020 e 2021	23
Gráfico 3 - Valor de produto aplicado em 2020 e 2021	23
Gráfico 4 - Volume de produto aplicado em 2020 e 2021	24
Gráfico 5 – Área de maior lavoura	116
Gráfico 6 – Cultura predominante na lavoura	116
Gráfico 7 – Cuidados aplicados na lavoura	117
Gráfico 8 – Quantas vezes foi pulverizado esta lavoura no último cultivo	117
Gráfico 9 – Qual foi o meio utilizado para pulverização	118
Gráfico 10 – O entrevistado conhece ou já operou drones?	119

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ANDEF	Associação Nacional de Defesa Vegetal
CAD	<i>Computer-Aided Design</i> (Desenho Auxiliados por Computador)
CENIPA	Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos
CEPEA	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
CTOL	<i>Conventional Take off and Landing</i> (Decolagem e Pouso Convencionais)
CG	Centro de Gravidade
EMBRAPA	Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i> (Sistema Global de Navegação por Satélite)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICA	Instrução de Comando da Aeronáutica
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MD	Ministério da Defesa
NBR	Normas Brasileiras
NVDI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (Índice de Vegetação de Diferença Normalizada)
PPK	<i>Post Processed Kinematic</i> (Cinemática Pós Processada)
RTK	<i>Real Time Kinematic</i> (Cinemática em Tempo Real)
SVTOL	<i>Short Vertical Takeoff and Landing</i> (Decolagem e Pouso Verticais Curtos)
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
VTOL	<i>Vertical Takeoff and Landing</i> (Decolagem e Pouso Vertical)

SUMÁRIO

1.1	Apresentação do Tema	15
1.2	Oportunidade	15
1.3	Objetivos	16
1.3.1	Objetivo Geral	16
1.3.2	Objetivos Específicos	16
1.4	Justificativa	17
1.5	Abordagem metodológica	17
1.5.1	Projeto informacional.....	17
1.5.2	projeto conceitual	17
1.5.3	Projeto preliminar	18
1.5.4	Projeto detalhado	18
1.5.5	Construção e testes do protótipo.....	18
1.6	Estrutura do Trabalho	18
2	AGRICULTURA: PULVERIZAÇÃO E O POTENCIAL DE EMPREGO DE	
VANTS	20	
2.1	Agricultura no Brasil	20
2.2	Pulverização	21
2.3	Métodos de Pulverização	29
2.3.1	Pulverizador Manual.....	29
2.3.2	Pulverizador Tracionado.....	30
2.3.3	Pulverizador Aéreo	32
<u>2.3.3.1</u>	<u>Avião Pulverizador</u>	<u>33</u>
<u>2.3.3.2</u>	<u>Pulverização por helicópteros</u>	<u>34</u>
<u>2.3.3.3</u>	<u>Pulverização com VANTS</u>	<u>35</u>
2.4	VANTS	37
2.5	Busca de Patentes	41
2.6	Benchmarking	42
2.6.1	Análises do benchmarking	44
2.7	Caracterização da oportunidade	44
3	PROJETO INFORMACIONAL	45
3.1	Técnica para Obtenção das Informações	45
3.2	Necessidades do Cliente	46
3.3	Requisitos da Qualidade	46

3.4	Especificações do Produto.....	46
4	CONFIGURAÇÃO DA ARQUITETURA DO SISTEMA.....	48
4.1	Chassi	49
4.2	Rotores e hélices.....	50
4.3	Pulverização	53
4.4	Tanque	55
4.5	Georreferenciamento	55
4.6	Controle e câmeras	57
4.7	Bateria	58
4.8	Proposta preliminar do sistema	58
5	PROJETO PRELIMINAR.....	60
5.1	Chassi	60
5.2	Rotores e hélices.....	63
5.3	Pulverização	65
5.4	Georreferenciamento	66
5.5	Controle e câmeras	67
5.6	Bateria	69
5.7	Sensores e eletrônicos	71
5.7.1	Conversores de tensão	72
5.7.2	Medidor de nível d'água	72
5.7.3	Driver para a bomba.....	73
5.7.4	Receptora de sinal	73
5.7.5	Gimbal.....	74
5.7.6	Sensor atmosférico	74
5.7.7	Lidar	75
5.8	Softwares.....	76
5.8.1	Cleanflight	76
5.8.2	RTKlib	76
5.8.3	PuTTY	76
5.9	Projetos das propostas.....	77
5.9.1	Projeto da Proposta 1	77
5.9.2	Projeto da Proposta 2.....	78
5.10	Parâmetros de pulverização e voo.....	80
6	CONSTRUÇÃO E TESTES DO PROTÓTIPO.....	83
6.1	Estratégias de construção.....	83

6.2	Protótipo 1	84
6.2.1	Descrição	84
6.2.2	Análise dos resultados do protótipo 1	87
6.3	Protótipo 2	89
6.4	Comparativo entre a proposta em CAD e o protótipo final	92
6.5	Testes	93
6.6	Planejamento dos testes	93
6.6.1	Testes preliminares	94
<u>6.6.1.1</u>	<u>Teste de motores e elétrica</u>	<u>94</u>
<u>6.6.1.2</u>	<u>Teste de resistência da estrutura</u>	<u>94</u>
<u>6.6.1.3</u>	<u>Teste de massa</u>	<u>95</u>
6.6.2	Testes funcionais	97
<u>6.6.2.1</u>	<u>Testes do sistema de pulverização</u>	<u>97</u>
<u>6.6.2.2</u>	<u>Testes de voo</u>	<u>100</u>
<u>6.6.2.3</u>	<u>Testes de bateria</u>	<u>102</u>
6.7	Conclusões dos testes	102
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 103	
7.1	Conclusões	103
7.2	Recomendações para trabalhos futuros	104
	REFERÊNCIAS	106
	APÊNDICE A - Questionário de pesquisa	110
	APÊNDICE B - Análise das respostas ao questionário	115
	APÊNDICE C - Correlações entre necessidades do cliente e requisitos do projeto	122
	APÊNDICE D - Casa da Qualidade	127
	APÊNDICE E -	129
	Desenhos dos componentes do sistema	129
	ANEXO A - Portaria mapa nº 298, de 22 de setembro de 2021	139
	ANEXO B - Portaria ANAC nº 94, de 01 de Junho de 2021	145
	ANEXO C - Portaria Anatel 465 de 22 de agosto de 2007	148
	ANEXO D - Portaria N° 3726/GM-MD, de 12 de Novembro de 2020	150
	ANEXO E - Portaria ICA 100-40/2020, de 01 de Julho de 2020	152

1 INTRODUÇÃO

Nesta seção tem-se a apresentação geral do tema, a caracterização da oportunidade, são expostos os objetivos geral e específicos do presente trabalho, a justificativa, e pôr fim a forma como o trabalho está estruturado.

1.1 Apresentação do Tema

A agricultura tem enorme importância para a humanidade. De marco do início das primeiras civilizações, seus avanços tiveram grande relevância para eventos como a revolução industrial, e a revolução verde que legam a humanidade sua população atual e sua qualidade de vida. Agora o mundo está a portas da entrada no cenário da agricultura 4.0 (MIRANDA, 2020).

O Brasil é especialmente impactado pela agricultura, sendo a principal atividade econômica desenvolvida no país. O agronegócio representou em 2021 participação de 27,4% no PIB brasileiro, de acordo com o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA, 2022).

Indispensável para uma boa produtividade das lavouras, a pulverização é parcela essencial no processo. Existem várias formas de realizar essa atividade, tal como a pulverização manual, com pulverizadores acoplados a tratores, a pulverização aérea, através de aviões agrícolas ou helicópteros, entre outros. Cada método possui suas particularidades, com vantagens e desvantagens (CHAIM, 2009).

1.2 Oportunidade

As atividades de pulverização demandam muito tempo e são responsáveis por uma grande parcela do custo de produção de alimentos. Devido ao recente aumento expressivo do custo de defensivos agrícolas e combustíveis, o assunto deverá receber ainda mais atenção. Em muitas formas de pulverização utilizadas amplamente, como tal como a que utiliza avião agrícola que passa em altas velocidades despejando o líquido sobre a lavoura, ocorre significativo desperdício de produto. Fenômenos como deriva, causado pelo vento, e encharcamento, quando ocorre má distribuição de produto que pode até matar as plantas, devem ser combatidos ao máximo de forma a aumentar os lucros e a segurança do processo.

Entre 2010 e 2019, o Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA), registrou 240 ocorrências com aviões de pulverização no Brasil, sendo a maioria grave, contabilizando 54 mortes. A utilização de VANTs diminui o risco de graves acidentes (CENIPA, 2020).

A contaminação com defensivos agrícolas é outro grande problema enfrentado no agronegócio brasileiro. Fenômenos como a deriva acabam espalhando o produto por grandes distâncias, poluindo grandes áreas, inclusive áreas residenciais. Uma pulverização de precisão, possibilitada por VANT, representa uma oportunidade de reduzir a contaminação e possíveis doenças provenientes pelas substâncias químicas.

No caso de uma área específica da lavoura sofrer de alguma doença, é necessário tratar uma área muito maior, devido à falta de precisão dos métodos mais usuais. O VANT possibilita uma pulverização localizada, oportunizando assim uma economia de combustível, produtos, tempo e consequentemente, dinheiro.

Hoje já se constata a utilização com sucesso de VANTs agrícolas em outros países, o que indica uma grande oportunidade utilização no território brasileiro, ainda mais levando em conta o crescimento do setor.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo do presente trabalho é desenvolver projeto e protótipo tipo prova-de-conceito, de um sistema de pulverização agrícola baseado em VANTs.

1.3.2 Objetivos Específicos

Como forma de atingir o objetivo geral, definem-se objetivos específicos:

- a. Determinar os parâmetros quantitativos que caracterizam uma correta e eficiente pulverização;
- b. Caracterizar os elementos que influenciam na decisão de escolha por sistema de pulverização;
- c. Analisar todos os requisitos legais aplicáveis a VANTs para pulverização, que tornem o produto viável para utilização;

- d. Projetar o protótipo;
- e. Construir o protótipo;
- f. Testar o protótipo.

1.4 Justificativa

O sucesso no desenvolvimento do artefato proposto se justifica por:

- a) Reduzir os custos com defensivos agrícolas, pela pulverização de precisão;
- b) Possibilitar pulverização apenas em áreas mais necessitadas;
- c) Diminuir o risco de graves acidentes;
- d) Reduzir o risco de contaminação por produtos químicos tóxicos;
- e) Possibilitar a pulverização em áreas de terreno irregular e com obstáculos, onde outros métodos não conseguem acessar.

1.5 Abordagem metodológica

O desenvolvimento de VANT adaptado para a pulverização agrícola é pautado na metodologia proposta por Pahl *et al.* (2005). A seguir, uma descrição sucinta das etapas a serem executadas.

1.5.1 Projeto informacional

A primeira etapa é constituída do levantamento de dados necessários ao desenvolvimento do projeto, como as necessidades que o cliente encontra nas atividades, pesquisa de maquinários existentes que desempenhem tarefas das necessidades identificadas e estabelecer uma estrutura de funções.

1.5.2 projeto conceitual

Posteriormente a primeira etapa, é realizada uma análise funcional aprofundada para solução da oportunidade e, em seguida, são combinadas e concretizadas alternativas que implementem as funções em variantes de concepção. Logo após, essas alternativas são avaliadas e o resultado do projeto conceitual será a concepção de um novo produto.

1.5.3 *Projeto preliminar*

A partir da possível solução selecionada, inicia-se o desenvolvimento do projeto preliminar, determinando a estrutura básica para o produto, avaliando a possibilidade de o projeto ser concebido daquela forma, baseado em critérios técnicos e operacionais, caso o projeto seja viabilizado segue-se para a próxima etapa, caso a viabilidade seja negativa, será necessário retornar para o projeto conceitual em busca de outra solução.

1.5.4 *Projeto detalhado*

Nesta etapa é desenvolvida e desenhada a estrutura final do produto, colocando-se um teto de gastos, e a partir deste limite estabelecido é selecionados os materiais e custos dos processos necessários, podendo-se ultrapassar este teto em até um quinto do valor estipulado, também são disponibilizadas todas as informações necessárias para a sua produção, uma vez pronto e detalhado, o projeto passa por simulações virtuais com o objetivo de decidir se passa para a próxima fase ou retorna para o projeto conceitual

1.5.5 *Construção e testes do protótipo*

Com base no projeto detalhado, é confeccionado um protótipo realizando-se testes para a validação do mesmo, podendo surgir possíveis revisões no projeto detalhado, aplicando as mesmas na construção do protótipo. O resultado será a apresentação de um protótipo funcional com preços compatíveis com o mercado já existente e a oportunidade identificada. Na negativa, é retornado ao projeto conceitual.

1.6 Estrutura do Trabalho

O presente Trabalho de Conclusão de Curso é composto por sete capítulos. No primeiro capítulo, é apresentado um contexto geral da agricultura e pulverização no Brasil, a oportunidade, os objetivos geral e específicos e a justificativa da escolha do tema desse trabalho.

No segundo capítulo, levanta-se o referencial teórico para o desenvolvimento do projeto. É abordado aqui o contexto geral da agricultura no

Brasil, se aprofundando em alguns tipos específicos de culturas e os tratos culturais necessários para seu cultivo. São apresentados os diferentes tipos e processos de pulverização até que por fim concentra-se em VANTs. Dessa maneira, afinando o tema, são descritos os componentes e as funcionalidades de um VANT adaptado para a pulverização. Ainda nesse capítulo, é realizado uma busca de patentes, de forma a conhecer melhor sobre os projetos já patenteados. Em seguida, tem-se o *benchmarking*, com produtos encontrados no mercado e suas principais características. Assim, com as informações coletadas através do referencial, teórico, busca de patentes e *benchmarking*, são definidos os requisitos fundamentais para o projeto.

No terceiro capítulo, é apresentada a metodologia utilizada para a realização do trabalho. É apresentado também, o levantamento das necessidades do cliente e os requisitos de projeto.

No Capítulo 4, apresenta-se a divisão de módulos do VANT, isso é, quais são os principais sistemas que compõe o todo e breves explicações. Também são apresentadas opções para a arquitetura de cada módulo, assim como as escolhas tomadas e suas razões.

No quinto capítulo, tem-se o projeto preliminar, com o dimensionamento e a seleção dos componentes dos módulos citados anteriormente. São apresentadas simulações realizadas em *softwares* computacionais, assim como o desenho do projeto final.

Estão contidas no Capítulo 6 as principais etapas da construção do protótipo. Além de conter as dificuldades que ocorreram no processo e quais ações foram tomadas para contornar as adversidades. São descritos também os testes realizados com o VANT e seu sistema de pulverização.

No sétimo e último capítulo, são apresentadas as conclusões do projeto. É feita uma reflexão acerca dos objetivos iniciais do projeto, e mais comentários sobre o projeto em geral. Por fim, são descritos quais serão os possíveis trabalhos futuros, de forma a aprimorar ainda mais o protótipo do VANT adaptado para pulverização.

2 AGRICULTURA: PULVERIZAÇÃO E O POTENCIAL DE EMPREGO DE VANTS

Inicialmente, é realizada uma apresentação sobre a agricultura no Brasil, expondo as principais culturas e seus tratos. Em seguida, é abordada a história e os tipos de pulverização mais utilizados, além dos principais parâmetros quantitativos que indicam uma pulverização eficiente. Posteriormente, é apresentado o VANT como forma de pulverização, abordando suas características, suas vantagens e desvantagens, a regulamentação existente em território brasileiro que dita o seu uso e por fim, é feita uma busca de patentes e o *benchmarking*.

2.1 Agricultura no Brasil

A agricultura no Brasil já era praticada pelos índios, através da plantação milho e mandioca em tempos pré-colombianos. Ainda da época do Brasil Colônia, tem-se o início do ciclo do açúcar, produto que chegou a ser virtualmente monopolizada pelo Brasil e cuja indústria suco-alcooeira ainda é importante (MIRANDA, 2020).

Tabela 1 – Produção agrícola brasileira e paranaense

Cultivo	Brasil			Paraná		
	Área (ha)	Produção (t)	Rendimento (kg/ha)	Área (ha)	Produção (t)	Rendimento (kg/ha)
Algodão	1.627.455	6.893.344	4.236	360	627	1.743
Amendoim	171.673	580.574	3.382	2.133	4.684	2.196
Arroz	1.727.194	10.368.611	6.003	23.137	136.659	5.863
Aveia	457.784	920.439	2.011	84.265	186.183	2.209
Batata-inglesa	116.804	3.696.930	31.651	27.943	787.363	28.177
Café	1.825.035	3.009.402	1.649	36.734	56.405	1.536
Cana-de-açúcar	10.109.413	752.895.389	74.475	579.626	37.279.077	64.316
Cebola	48.683	1.556.885	31.980	4.034	101.204	25.088
Centeio	5.680	10.320	1.817	3.130	7.303	2.333
Cevada	113.952	409.099	3.590	63.756	260.085	4.079
Feijão	2.769.934	2.906.508	1.049	409.412	623.921	1.524
Fumo	363.233	769.801	2.119	74.581	194.951	2.614
Mamona	50.607	323	6	s.i.	s.i.	s.i.
Mandioca	1.213.459	17.497.115	10.984	19.588	402.010	20.524
Milho	17.776.669	101.138.617	5.689	2.639.085	16.857.216	6.388
Soja	35.930.334	114.269.392	3.180	5.463.786	16.451.802	3.011
Sorgo	819.001	2.672.245	3.263	s.i.	s.i.	s.i.
Trigo	2.114.074	5.604.158	2.651	1.017.223	2.258.390	2.220

Fonte: IBGE (2019)

De acordo com Nachiluk (2021), a produção de açúcar através da cana de açúcar no Brasil na safra 2020/21, representou 22% das 179,9 milhões de toneladas produzidas no mundo, número esse que é estimado aumentar para 186 milhões de toneladas na safra 2021/22.

Além deste, outra cultura de grande significância no Brasil é o café. Segundo Júnior (2021), os dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) indicam que o café brasileiro representa cerca de 40% da demanda global. A relevância das principais culturas podem ser observadas na Tabela 1.

2.2 Pulverização

A história do combate a agentes fitopatológicos é quase tão antiga quanto a agricultura. Mesmo que não se entendesse completamente os agentes causadores, o uso de defensivos como a calda bordalesa e técnicas como o descanso do solo, consorciação e rotação de culturas, permeiam pelo conhecimento popular em técnicas agrícolas até os dias atuais, especialmente na agricultura orgânica e agroecologia. O estudo sistemático da fitopatologia, contudo, é recente, remontando a teoria dos germes de John Snow e tendo Anton de Bary como seu fundador.

Os agentes fitopatogênicos são separados em 4 grupos distintos, vírus, fungos, bactérias e nematoides. Algumas espécies são capazes de permanecer no solo em estado de esporos. Outras são trazidas por maquinário contaminado, o que indica que o equipamento de pulverização utilizado deve ser de fácil lavagem (ZAMBOLIM, 2010).

Alguns defensivos miram no vetor de transmissão da doença, como exemplos os inseticidas, que em geral são o vetor de transmissão de vírus. Herbicidas, que matam ervas daninhas, são os vetores de agentes decompositores como fungos e bactérias. A pulverização de agentes biológicos é bem efetiva no combate de vetores de doenças (ZAMBOLIM, 2010).

O tratamento correto das doenças requer a identificação precisa do agente causador, o mapeamento da área afetada, a aplicação rápida para evitar o crescimento exponencial da doença e algumas vezes até a destruição da lavoura para que o agente não contamine áreas adjacentes. O tratamento do solo pode se fazer necessário se o agente tiver uma fase de esporos, e isso pode

variar de aplicação de defensivo a realização de cultivo de pouco interesse comercial. Os métodos mais utilizados de controle de pragas são o químico, o biológico e de culturas, sendo a pulverização química a mais utilizada.

A produção agrícola brasileira tem perda média anual de 7,7% devido ao ataque de insetos e outras doenças que atacam plantas. Esses danos representam até R\$ 55 bilhões por ano com perdas. Tendo em vista que a agricultura é a grande protagonista da economia brasileira, o combate as pragas se torna de extremo valor visando uma produtividade cada vez maior (SUGAYAMA, *et. al*, 2015).

Nos gráficos 1, 2,3 e 4, estão representados dados de alguns produtos utilizados no tratamento de lavouras. O vermelho são fungicidas, o amarelo são inseticidas, o verde são herbicidas, o roxo são os tratamentos de sementes e o cinza são os outros produtos adjuvantes e reguladores de crescimento. No Gráfico 1, pode-se observar quais as culturas com maiores áreas tratadas no ano de 2020 e 2021. Destaca-se a soja e o milho como as duas culturas que receberam mais cuidados.

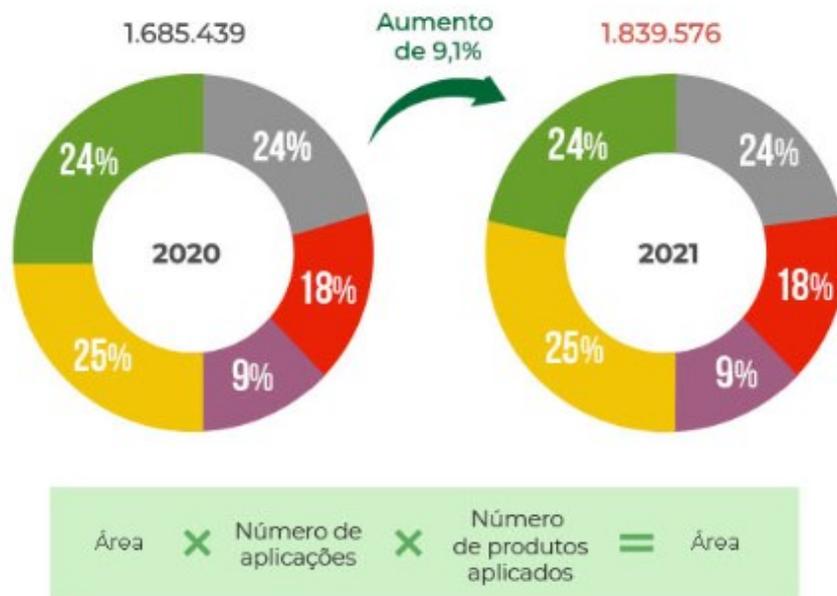
Gráfico 1 - Área tratada por cultura em 2020 e 2021



Fonte: Agro Advance (2022)

Já no Gráfico 2, obtém-se que de 2020 para 2021 ocorreu um crescimento significativo na área pulverizada, de 9,1%.

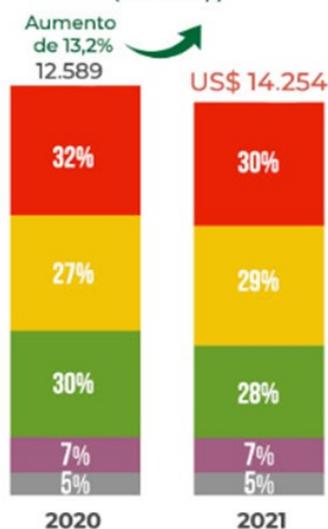
Gráfico 2 - Área pulverizada em 2020 e 2021
Área tratada (1.000 ha)



Fonte: Agro Advance (2022)

Seguindo essa tendência, o Gráfico 3 mostra a expansão do valor de produtos aplicados no período, que foi 13,2%.

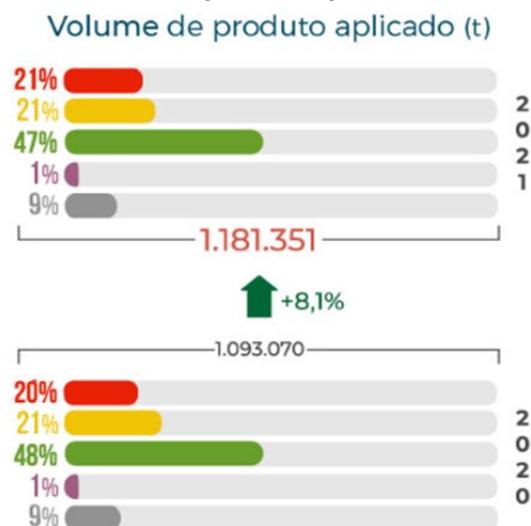
Gráfico 3 - Valor de produto aplicado em 2020 e 2021
Valor de produto aplicado (MI US\$)



Fonte: Agro Advance (2022)

O Gráfico 4 adiciona o crescimento de 8,1% no volume de produtos utilizados. Esses dados confirmam a tendência de alta do setor agrícola, com a utilização de cada vez mais tecnologia e investimento.

Gráfico 4 - Volume de produto aplicado em 2020 e 2021



Fonte: Agro Advance (2022)

A pulverização como método teve seu ápice de crescimento no final do século XVIII, adaptando novas tecnologias, mas essencialmente buscando criar uma barreira tóxica na superfície alvo que impeça o ataque dos agentes patogênicos, através do lançamento de defensivos agrícolas líquidos em forma de spray ou gotas, variando parâmetros de dispersão. A calibração da deposição das gotas é de suma importância, visto que porcentagens que vão ao solo ou sofram da deriva podem até mesmo causar prejuízos a outras culturas, como as de apicultura. Uma das técnicas recentes em uso é o de adicionar carga elétrica à micropartícula. Existem diferenças relativas a tipos de formulação, agentes auxiliares, granulometria de da partícula e método de aplicação (EMBRAPA, 2017).

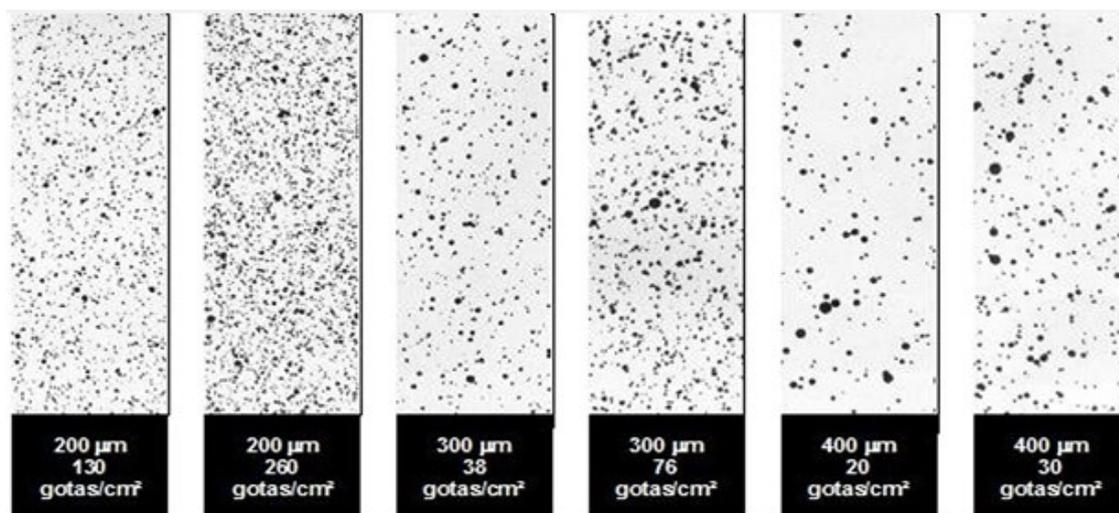
São diferentes tipos de formulações, referindo-se ao estado físico da substância, que podem ser pó seco, solúvel ou molhado, de solo, solução, concentrado emulsionado ou granulado, que aumentam de grande maneira a adesão desta as folhas fazendo-a aderir a folhas e sem perda ao solo. Em virtude destes tipos de formulação pode se fazer necessário agentes auxiliares tais como: surfactantes, agentes dispersantes, antiespumantes, estabilizantes e emulsionantes (EMBRAPA, 2006).

O tamanho e formato da partícula pulverizada devem permitir uma boa cobertura do alvo que esteja de acordo com a aplicação alvo. Estima-se que independentemente do tamanho a quantidade ideal é de 40 gotas por cm² para

insetos e 80 gotas por cm^2 para doenças e esta medida é chamada de cobertura do alvo. A densidade de gotas deve ser medida no local utilizando-se papel higroscópico e lupa. O Índice de área foliar também deve ser levado em conta, indicando qual a área de folhas a ser coberta por m^2 de solo (EMBRAPA, 2017).

Na Figura 1, observam-se diferentes padrões de densidade e tamanho de gotas de pulverização.

Figura 1 – Padrões de densidade e tamanho de gotas de pulverização



Fonte: Embrapa (2017)

Esses padrões de densidade e tamanho de gotas de pulverização podem ser usados em diferentes aplicações, como é exposto no Quadro 1.

Quadro 1 – Recomendações de densidade de gotas por tipo

Tipo de Aplicação	Densidade de Gotas ($\text{n}^\circ/\text{cm}^2$)
Inseticidas	20-30
Herbicidas em pré-emergência	20-30
Herbicidas de contato	30-40
Fungicidas	50-70

Fonte: Embrapa (2017)

O manual de boas práticas indica que existe uma relação inversa entre a dimensão da gota e sua capacidade da gota penetrar por dentro dos ramos e folhas de uma árvore, porém gotas muito pequenas podem evaporar antes de chegar ao objetivo. Os resultados são mostrados na Tabela 2 (EMBRAPA, 2017).

Tabela 2 – Tempo de vida e queda em ar parado pela umidade e temperatura

Diâmetro das gotas (mm)	Temperatura = 20°C		Temperatura = 25°C		Temperatura = 30°C	
	Umidade relativa = 80%		Umidade relativa = 72%		Umidade relativa = 50%	
	Tempo de vida (s)	Distância (m)	Tempo de vida (s)	Distância (m)	Tempo de vida (s)	Distância (m)
30	5	0,07	3	0,40	1	0,02
50	14	0,30	8	0,29	4	0,15
70	28	2,05	15	1,13	8	0,58
100	57	8,52	31	4,69	16	2,44
150	128	43,14	70	23,73	37	12,33
200	227	136,36	125	75,00	65	38,96
300	511	690,34	281	379,69	146	197,24
400	909	2.181,81	500	1.200,00	290	623,27

Fonte: Embrapa (2017)

O diâmetro ótimo da gota é apontado como sendo 100 µm, devido ao fato de que menos do que isto em condições de baixa umidade e alta temperatura pode resultar no desaparecimento da gota antes de chegar ao solo se lançado a uma altura de 2,5 metros. Esta medida também indica que a altura máxima de operação do VANT está ligada ao diâmetro aspergido pelo pulverizador. Atualmente o mercado de bicos oferece várias soluções, visto que os bicos precisam ser trocados com regularidade para manterem a eficácia no funcionamento (EMBRAPA, 2017).

Na Tabela 3, observa-se a relação entre o diâmetro das gotas, a área foliar que se pretende aplicar o produto e a densidade teórica de deposição de gotas. Analisa-se que com o aumento do diâmetro das gotas e da área de aplicação, diminui a densidade.

Tabela 3 – Densidade de deposição para 100 litros de calda por hectare

Diâmetro das gotas (mm)	Densidade teórica de deposição de gotas (n°/cm ²) para aplicação de 100 litros de calda por hectare					
	Área foliar da cultura em m ² /ha					
	10.000	20.000	30.000	40.000	50.000	60.000
100	1.910	955	637	477	382	318
150	566	283	189	141	13	94
200	239	119	80	60	48	40
250	122	61	41	31	24	20
300	71	35	24	18	14	12
350	45	22	15	11	9	7
400	30	15	10	7	6	5

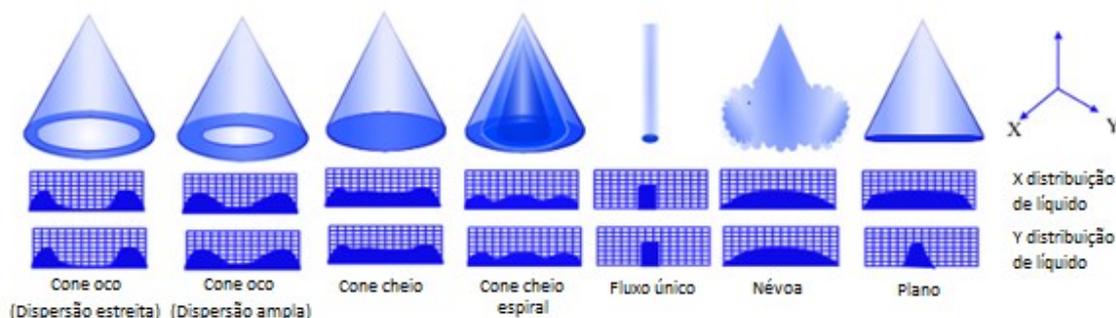
Fonte: Embrapa (2017)

Os pulverizadores podem ser do tipo pressurizados, não pressurizados e atomizadores. A vantagem do pulverizador pressurizado é que este é capaz de controlar o diâmetro da gota e o alcance da pulverização. Para a pressurização são utilizadas bombas peristálticas, visto que estas não permitem o contato do líquido com o conjunto moto bomba, e assim são de fácil manutenção e limpeza (EMBRAPA, 2017).

A pressurização pode ser do tipo hidráulica ou hidropneumática (também chamada de atomizadora). Essa diferenciação se baseia no uso de um fluxo de ar para aumentar a dispersão do spray, tornando as características de diâmetro da gota e seu alcance independentes das características usadas no líquido. Já os sistemas puramente hidráulicos utilizam a pressão do líquido e seu atrito com o ar para efetuar a dispersão, dependendo de características como o formato do bico pulverizador, a viscosidade e densidade do líquido para alcançar o mesmo resultado (SNP, 2021).

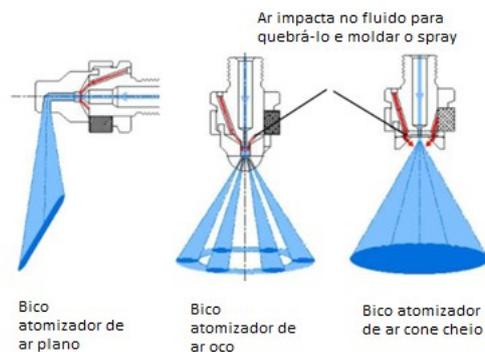
O bico pulverizador é responsável pela dispersão do defensivo, requer grande precisão e resistência pois é em função deste que se obtêm a dimensão e distribuição das gotas. Os bicos dos tipos leque e cônico são os mais utilizados na agricultura brasileira, sendo o primeiro utilizado em equipamentos que buscam uma dispersão controlada e o segundo em aplicações onde se busca concentrar um grande acúmulo das gotas nas folhas. Na Figura 2 e na Figura 3, pode-se observar os diferentes tipos de padrões de pulverização e como são formados nos bicos pulverizadores (EMBRAPA, 2006).

Figura 2 – Padrões de pulverização hidráulica pelo tipo de bico



Fonte: Adaptado de SNP (2021)

Figura 3 – Padrões de pulverização hidropneumática pelo tipo de bico



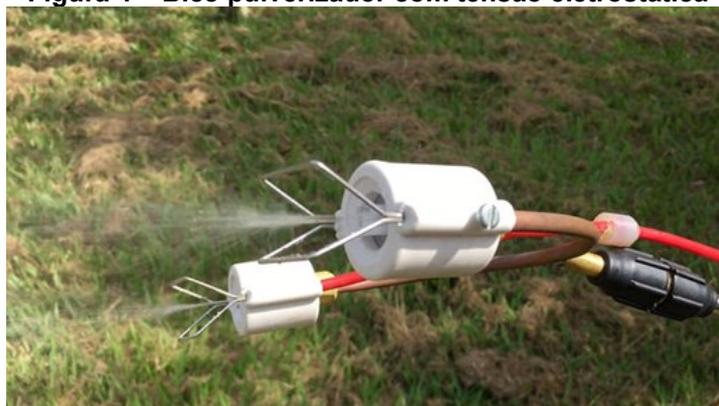
Fonte: Adaptado de SNP (2021)

Os bicos podem ser construídos em diversos materiais, como plástico, cerâmica e metais. Para aplicações com pressão, os bicos de cerâmica são os mais indicados, visto que possuem durabilidade maior. É possível encontrar diversos bicos pulverizadores comercializados em *kits*. Eles são peças que requerem constante substituição para evitar a formação de gotas indesejadas e má distribuição da nuvem (EMBRAPA, 2006).

A utilização dos bicos pulverizadores apontados leva a um eficiente cálculo de pressão pelo tamanho de gota. Além disso, as aplicações podem ser por via sólida, como o polvilhamento e as granuladeiras, os hidráulicos onde o líquido é bombeado com pressão para o injetor, os hidropneumáticos, os centrífugos, os eletrostáticos e os nebulizadores (EMBRAPA, 2006).

Os bicos eletrostáticos, como o da Figura 4, operam a tensões de 15.000 a 20.000 Volts, mas em circuito aberto, isto é, sem operação de correntes. Uma adaptação na ponta de um pulverizador convencional é capaz de adicionar esta funcionalidade.

Figura 4 – Bico pulverizador com tensão eletrostática



Fonte: Embrapa (2015)

A utilização de defensivos agrícolas, em sua grande maioria tóxicos, é descrita por Mogili e Deepak (2018) como extremamente prejudicial para a saúde dos trabalhadores rurais. Milhares de casos de doenças e problemas de saúde causado pelo contato direto com os pesticidas e fertilizantes são conhecidos.

Além da saúde dos trabalhadores, outro problema apresentado por Kelly e Cohen (2018), é a contaminação do solo, rios e lençóis freáticos. Essa poluição afeta e reduz a fauna e flora nos arredores das plantações, mas também apresenta sérios riscos para as cidades e pessoas. Isso ocorre devido ao fato que a água que chega nas cidades está contaminada, sendo usada para o consumo humano e conseqüentemente causando problemas de saúde.

2.3 Métodos de Pulverização

Segundo o Manual de Tecnologia de ANDEF (2010), a aplicação eficaz dos defensivos agrícolas se inicia na escolha do método e equipamento de pulverização. Essa seleção depende das características da cultura, como o tamanho, a topografia, a distância entre pontos de reabastecimento, do tipo de cultura, entre outros aspectos. Além desses pontos, é necessário atentar para as condições sanitárias de cada método, de forma a gerar o menor impacto para a saúde dos aplicadores e para o meio ambiente.

Os equipamentos que realizam a pulverização podem ser separados em três principais classes: os pulverizados manuais, os tracionados e os aéreos. Nas próximas seções, esses métodos são abordados com mais ênfase.

2.3.1 Pulverizador Manual

Os pulverizadores manuais são tipicamente carregados pelo aplicador nas costas, carregam até 20 litros com lanças de até um metro de comprimento. Suas características de operação envolvem a pressão em que o pulverizador funciona, chegando a até 0,51 Mpa, o tamanho do reservatório que pode chegar a 20 litros, e o tipo de bico que o modelo suporta, com alguns kits acompanhados de bicos reguláveis ou kit de bicos trocáveis.

É o tipo mais comum em existência no Brasil. Sua operação requer movimentar algum tipo de alavanca manualmente, por isso são indicados para

pequenas aplicações e ambientes, são os de mais fácil manutenção e menor custo. Utilizados normalmente na agricultura familiar.

Existem outros tipos de pulverizadores manuais, entre eles o motorizado, que segundo o manual da ANDEF (2010), possui custo mais alto, requer mais manutenção e possui maior chance de apresentar defeito, devido a sua maior complexidade. Possui mais capacidade, podendo abranger maior cobertura. No entanto, é muito mais pesado do que o pulverizador manual, sendo mais desconfortável por longos períodos.

De acordo com Mogili e Deepak (2018), os pulverizadores manuais causam grandes danos à saúde de seus operadores, já que estão em contato direto com o produto tóxico. Mesmo com roupas de proteção, é inevitável a contaminação após longos períodos de exposição.

2.3.2 Pulverizador Tracionado

Os tracionados são ligados a trator ou mecanismo motorizado, podendo até ser autopropelidos. São capazes de dispersar grande quantidade de defensivo em uma larga área. Com capacidade na casa dos milhares de litros, envergadura de dezenas de metros e velocidades de até 40 km/h. Um exemplo é o mostrado na Figura 5. Estes pulverizadores requerem limpeza atenta, visto que podem transportar fitopatógenos de uma propriedade para outra.

Seus componentes em geral são formados por um tanque para armazenamento, de um sistema para evitar decantação, filtros, bombas, que pode incluir modelos turbo e jato para maior distância de dispersão do produto, mangueiras, um sistema de acionamento para iniciar ou interromper a pulverização e bicos pulverizadores.

Um dos modelos de pulverizador tracionado é o acoplado, em que um pulverizador é ligado a um trator e apresenta uma pequena capacidade de líquido. Possui baixo custo, é de fácil operação e é indicado para pequenas áreas ou onde o volume a ser usado é pequeno. O tanque pode chegar a até 1000 litros. Alguns modelos possuem barra flexível.

Figura 5 – Pulverizador acoplado com barras flexíveis



Fonte: MFRural (2019)

Outro modelo é o pulverizador rebocados pelo sistema de tração. Com capacidade de até 4500 litros. Indicado para plantações grandes e planas. Alguns podem ser ligados ao trator por sistema hidráulico para movimentar um dispersor usado para dispersão centrífuga para pó seco e materiais granulados. Como exemplo desse tipo, tem-se o da Figura 6.

Figura 6 – Pulverizador rebocado



Fonte: AgriExpo (2022)

O turbo pulverizador, como da Figura 7, é um sistema que acopla um ventilador ao sistema de dispersão para que o lançado alcance distâncias maiores. É recomendado para vegetações espessas, com alto índice de área foliar, arbustos e árvores.

Figura 7 – Pulverizador rebocado com turbina



Fonte: Agroads (2022)

O pulverizador autopropelido, representado na Figura 8, é um veículo construído especialmente para as atividades de pulverização. Por ser especializado, permite a adoção de maior número de tecnologias, incluindo eletrônica embarcada e por isso permite maior precisão na aplicação e, portanto, maior eficiência. Dos métodos de pulverização tracionado é o que apresenta menor custo por hectare, além de alcançar velocidades de até 40km/h. Podem carregar milhares de litros e possuir uma envergadura próxima a 40 metros.

Figura 8 – Pulverizador autopropelido



Fonte: Jacto (2022)

2.3.3 Pulverizador Aéreo

Este é o método mais dependente da geografia local e das condições atmosféricas na aplicação. O efeito de deriva neste tipo de aplicação é causa de

grande preocupação e estudo. Contudo é o método que propicia a aplicação mais rápida e pode ser a mais econômica de todas quando eficientemente realizada, especialmente por evitar o problema do amassamento de plantas.

2.3.3.1 Avião Pulverizador

O pulverizador por avião é o método de pulverização aérea mais conhecido e utilizado no Brasil, uma vez que é o mais rápido e com maior cobertura de área. Atualmente, esta atividade é regulamentada pela ANAC e pode ser realizada apenas quando as condições de voo forem favoráveis. Para o bom desempenho é necessário que o piloto sobrevoe a plantação a baixas velocidades e próximo ao solo. Alguns aviões são capazes de carregar até 3000 litros de defensivo. Na Figura 9, observa-se um avião pulverizador em atividade em voo de baixa altitude.

Figura 9 – Avião pulverizador em voo de baixa altitude



Fonte: Carvalho; Rodrigues (2019)

Para ampliar o tempo de operação, é comum que pilotos sobrevoem a plantação em longas horas de atividade e em condições próximas a insalubres. Esse fato, aliado a proximidade do solo em que os aviões voam e as más condições de manutenção das aeronaves, tem causado um número significativo de acidentes e uma expectativa de vida reduzida.

De acordo com Carvalho e Rodrigues (2019), o Brasil possui a segunda maior frota de aeroagrícolas, contando com 2108 aviões na época do

levantamento, ficando atrás apenas do Estados Unidos, com 3,6 mil. Os estados onde este tipo de pulverização é mais comum são Rio Grande do Sul e Mato Grosso, que possuem terrenos quase que na totalidade planos.

A topografia predominante do Brasil, com pequenos morros, não permite que a pulverização com aviões seja possível em todas as regiões. O sobrevoo a baixas altitudes não é possível, e voos com alturas maiores aumentariam muito o efeito da deriva, tornando a pulverização altamente ineficaz.

O avião é dependente de infraestrutura previamente estabelecida, o que inclui tanques reservatórios para o material pulverizado e para o combustível das aeronaves. Além da necessidade de pistas de pouso próximas para diminuir o tempo de viagem. A dependência atmosférica também é um fator limitante. A presença de linhas de energia, obstáculos e barreiras no geral, pode inviabilizar seu uso.

De acordo com Mhereb (2017), em 2009 a Europa aprovou uma série de normas com relação aos agrotóxicos, restringindo severamente a utilização da pulverização com aviões. Vários países já proibiram esse método. No Brasil várias cidades e estados já discutem regulamentações mais restritivas. Entre os principais motivos para essas medidas, o autor cita os elevados riscos gerados para populações, animais e meio ambiente, devido à má aplicação dos agrotóxicos no processo.

2.3.3.2 Pulverização por helicópteros

Outro método de pulverização aérea é via helicóptero, usado desde a década de 1950. Ele é menos utilizado que a pulverização por avião especialmente por causa de seu custo maior, tanto o custo do equipamento como do serviço por hectare. No entanto, possui a vantagem de poder operar sem a necessidade de uma pista de decolagem e a maior precisão de aplicação em áreas de relevo irregular pode fazer o uso do helicóptero ser mais lucrativo.

Apesar das vantagens, de acordo com os dados de Carvalho e Rodrigues (2017), existem apenas sete helicópteros para pulverização no Brasil, indicando a pequena adesão a esse método. Isso pode ser explicado pelo alto custo de manutenção de um helicóptero, a necessidade de pilotos mais bem treinados. Aviões também conseguem cobrir uma área maior e mais

rapidamente, carregando mais produto, e por um preço que chega a ser um terço do cobrado por serviço de helicóptero.

2.3.3.3 Pulverização com VANTs

Popularmente conhecidos como drones, os VANTs adaptados para a pulverização são uma tecnologia relativamente nova e bastante promissora. Surgida na onda dos VANTs multirotores na última década. Observa-se a utilização desse modelo de forma crescente em alguns países como a Coreia do Sul, onde 30% de suas plantações já são tratadas com VANTs pulverizadores, segundo indica Wolf (2019).

De acordo com Faverin (2022), os VANTs possuem limitações quanto a autonomia da bateria, não passando de dez minutos de voo, e a quantidade de litros de produto que conseguem carregar. No entanto, é reforçada a possibilidade de pulverizar diferentes tipos de terreno, com diferentes obstáculos de forma significativamente mais precisa, sem desperdício de material.

Na Figura 10, tem-se uma comparação entre o VANT e o pulverizador autopropelido. É notável a diferença de capacidade de capacidade de pulverização. Por esse motivo, o VANT é muitas vezes utilizado de forma mais localizada, buscando pulverizar áreas específicas que necessitem de maiores cuidados.

Figura 10 – Comparativo entre VANTs e pulverizadores autopropelidos



Fonte: Faverin (2022)

No Quadro 2 estão descritas as principais funções realizadas pelos VANTs na agropecuária. Observa-se que a aplicação de pesticidas é apenas uma das várias aplicações que esse método possui. E o que o torna ainda mais promissor, é a possibilidade de integrar várias dessas funções em um único dispositivo.

Quadro 2 - Usos de VANTs na agropecuária

Uso	Descrição
Análise da plantação	Servem para analisar a plantaçã <i>i</i> e detectar pragas e doenças, falhas de plantio, excesso de irrigação, entre outros. São aliados a softwares para análise das imagens captadas.
Demarcação de plantio	Proporciona uma visão do alto de forma fácil e ágil. Podem analisar, de acordo com as imagens captadas, quais são as áreas da fazenda que estão mais propícias para a semeadura.
Acompanhar o desenvolvimento da safra	O drone pode sobrevoar a plantaçã <i>o</i> com a frequência desejada, captar as imagens e depois analisá-las cronologicamente no computador.
Pulverização	A aplicação feita pelo drone pode ser mais eficiente pela proximidade das plantas e mais segura por não ter um piloto embarcado.
Acompanhamento de pastagem	Do alto, é possível saber quais pastos devem ser reformados e quais estão bons para uso.
Monitorar desmatamento	O sobrevo <i>o</i> oferece uma visão ampla de lugares distantes e de difíceis acessos.
Achar nascentes de água	Nascentes podem estar em matas fechadas. Drones podem ir a lugares de difícil acesso e encontrar água.
Descobrir onde abrir estradas	É possível determinar do alto quais as melhores coordenadas para abrir estradas.
Vigilância	Pequenos e ágeis, os drones servem para vigilância em guerras e proteção de áreas vulneráveis, como fronteiras de fazendas.
Achar focos de incêndio	Drones conseguem sobrevoar incêndios para descobrir os focos do fogo e, conseqüentemente, controlá-los.
Telemetria	É possível medir propriedades usando as imagens de alta qualidade do drone.
Tocar a boiada	É possível tocar a boiada apenas com drone e habilidade do piloto. No entanto, pode causar estresse aos animais.
Contar a boiada	Com as imagens aéreas, é possível contar o rebanho sem precisar deslocar um peão para isso.
Busca de animais perdidos	Caso um animal se desgarre do rebanho, o drone pode buscá-lo e até tocá-lo de volta para o rebanho.
Facilita a venda da fazenda	Ao invés de deslocar o comprador até a fazenda, é possível gravar imagens e enviá-las aos interessados.

Fonte: Adaptado de Bastos (2015)

Na seção 2.5, são detalhados os VANTs, suas utilizações em geral e seus principais componentes.

2.4 VANTs

Drones, que são oficialmente chamados de veículos aéreos não tripulados (VANTs) tem o início de sua história datando de 1850 com o uso de balões. O primeiro avião não tripulado foi o Ruston Proctor Aerial Target em 1916, usado para reconhecimento aéreo e guiado por rádio. Os primeiros VANTs foram modelos de asa fixa e foguetes, tal como o V1 e o V2 (RICHTMANN, 2019).

Aviões radiocontrolados começaram a aparecer em aplicações civis ao redor da década de 1960 através de hobbyistas e pessoas motivadas por melhorias nos sistemas de controle a rádio e da miniaturização de componentes.

Foi na década de 1980, contudo, que os VANTs começaram a mostrar ser uma tecnologia confiável do ponto de vista militar, após serem usados pelos exércitos de Israel e dos Estados Unidos para conseguir vitórias militares com baixo risco e custo. Esse momento marca o ponto de início para o crescimento da indústria de VANTs, com o famoso “drone predador” lançado no ano 2000.

O avanço militar levou a um avanço civil. Os primeiros VANTs de uso comercial para fotografia e mapeamento foram aprovados nos EUA apenas em 2006. Inicialmente, a novidade apresentou pouco sucesso comercial. No entanto, o surgimento de *smartphones*, a partir de 2007, beneficiou o desenvolvimento do setor, apresentando novas possibilidades de uso.

A partir de 2010, com a inovação na tecnologia de sensores, a miniaturização de componentes, as novas tecnologias de comunicação, motores e bateria permitiram o surgimento da chamada “era de ouro” do desenvolvimento de VANTs, com diversificação nas propostas de uso, o que possibilitou um crescimento exponencial ao redor do mundo. Microcontroladores de voo permitiram o avanço no controle autônomo e estabilidade das aeronaves, possibilitando que modelos multirotores se tornassem de fácil uso e operação (VYAS, 2020).

Atualmente, VANTs são utilizados para uma ampla gama de atividades, entre elas estão:

- a) Agricultura;
- b) Construção e mineração;
- c) Avaliação de risco;

- d) Telecomunicações;
- e) Mapeamento;
- f) Transporte e entregas;
- g) Observação e coleta de dados;
- h) Segurança e observação;
- i) Fotografia e filmagens artísticas;

Os VANTs podem ser categorizados em três tipos principais, como pode-se observar na Figura 11.

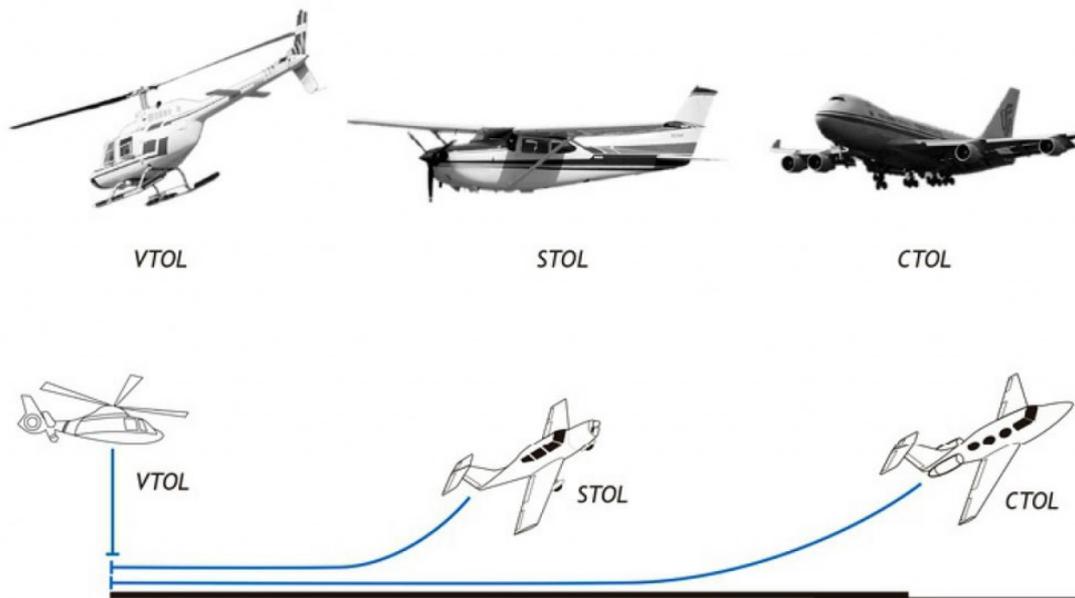
Figura 11 – Diferentes tipos de VANTs e seus modelos



Fonte: Adaptado de Chamola et. al(2020)

Primeiramente, tem-se os VANTs de asa fixa, que são construídos tendo por base aviões, estes podem ser do estilo VTOL, SVTOL e CTOL, decolagem e pouso verticais, verticais simples e convencionais, respectivamente, com decolagem autônoma ou auxiliada por catapulta, conforme a Figura 12. Seu design e operação se assemelha ao de aeronaves tripuladas. Na agricultura, VANTs de asa fixa são muito usados para levantamento aero fotográfico, visto que a alta velocidade e a força de sustentação deste modelo permitem que o VANT carregue mais peso, possibilitando uma maior bateria e, conseqüentemente, maior tempo de voo (CHAMOLA et. al, 2020).

Figura 12 – Os três tipos de decolagem

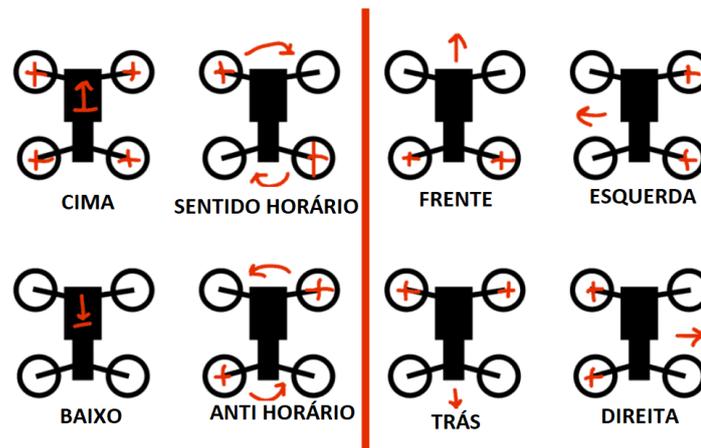


Fonte: Hangar MMA (2022)

Em seguida, tem-se os VANTs de asa rotativa, que são construídos tendo por base helicópteros. Estes foram adotados nos primeiros modelos de VANTs agrícolas para pulverização, e utilizavam motores a combustão, porém, não alcançaram viabilidade comercial. Ainda hoje o modelo de motor a combustão possui um tempo de voo maior que os modelos elétricos, mas devido a efeitos de solo e da dificuldade de controle do monomotor, o uso do VANT com asa rotativa foi substituído pelo modelo multirotores e de motor elétrico (CHAMOLA *et. al*, 2020).

Por fim, os VANTs multirotores, que se popularizaram com o surgimento dos microcontroladores de voo e são caracterizados por apresentarem em geral um número par de motores elétricos. Sua operação funciona com base em pequenas alterações na velocidade de rotação do motor, o que causa uma diferença no equilíbrio das forças de sustentação, este desequilíbrio gera um momento que inclina o VANT na posição para qual se deseja ir, como observado na Figura 13 (CHAMOLA *et. al*, 2020).

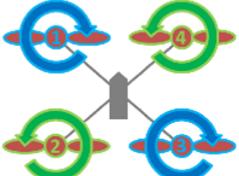
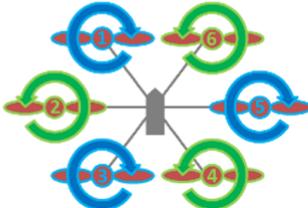
Figura 13 – O aumento da rotação dos motores de um VANT e os efeitos deste gerando movimentos de deslocamento transversal e rotacional.



Fonte: Adaptado de DroneFlyingPro (2022)

A configuração de rotores e sentido de hélices também é importante, de forma a dar estabilidade para o VANT, conforme demonstrado na Figura 14.

Figura 14 – A disposição e sentido da hélice de acordo com o número de rotores no VANT

Tipo de VANT	Características do rotor	Configuração dos rotores
Helicóptero (Air Hogs Havoc) 	um rotor principal com 2 hélices de 6,5cm cada e um pequeno rotor adicional com 2 hélices de 3,5 cm cada fixado ao rotor principal	
Quadrícóptero (Veho Muvi Q-1) 	quatro rotores com 2 hélices de 12cm cada	
Hexacóptero (Yuneec Typhoon H) 	seis rotores com 2 hélices de 10cm cada	

Fonte: Adaptado de DroneFlyingPro (2022)

Um VANT multirotores para uso agrícola, tem como partes básicas a sua estrutura, seus motores, suas hélices, o microcontrolador de voo, a bateria, os bicos pulverizadores, o tanque reservatório de produto e mais dezenas de sensores.

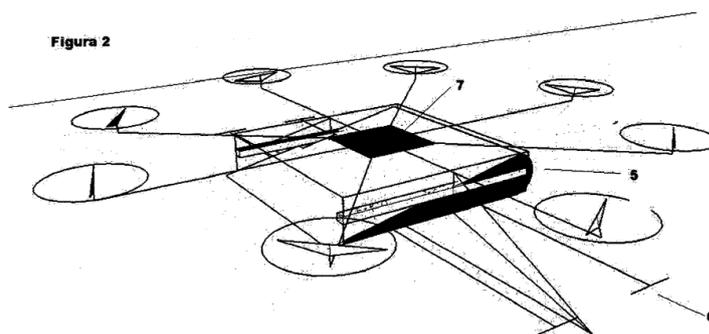
2.5 Busca de Patentes

Para se identificar a presença e aumentar os conhecimentos técnicos do equipamento desse estudo, conduz-se uma busca de patentes brasileiras de equipamentos semelhantes ao VANT adaptado para a pulverização. A busca é realizada no site do INPI e do Google Patentes.

Encontraram-se dois resultados que se encaixam com as características buscadas e que utilizam tecnologias semelhantes. As soluções estão descritas a seguir.

A primeira patente, WO2015161352A1 (GOERL e SILVEIRA, 2015), mostrado na Figura 15, é controlado remotamente por um piloto, com câmera acoplada para visualização em tempo real, que utiliza ferramentas de geolocalização por satélites ou por imagens capturadas pelo próprio VANT. O piloto assume o controle sempre que o sistema de navegação automático não responder conforme o esperado. O reservatório de produtos químicos possui diferentes tamanhos, assim como a barra de pulverização, que é ligada ao tanque através de pressurizador. A vazão e a direção de dispersão são calculadas automaticamente conforme fatores como a velocidade do vento.

Figura 15 – Patente WO2015161352A1.

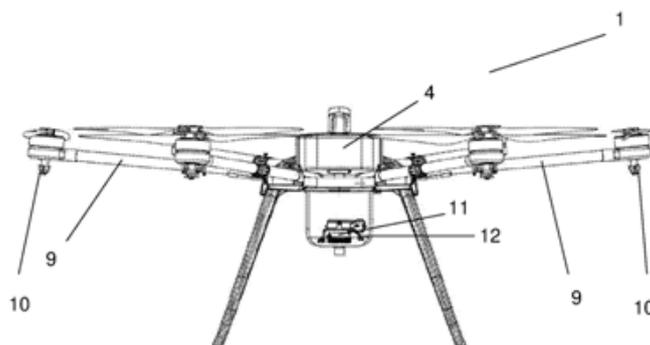


Fonte: Goerl e Silveira (2015)

A segunda patente, WO2021243428A1 (AMIANTI, 2021), mostrado na Figura 16, é um VANT aplicado à agricultura que realiza aerolevanteamento e pulverização em uma única aeronave. Viabiliza assim, o mapeamento, geoprocessamento e aspersão de pesticidas ou outras substâncias. Para isso, possui sensores para auxílio de decolagem e pouso vertical. Através de

levantamento prévio de sinais, o produto é aplicado somente onde há necessidade, economizando o produto.

Figura 16 – Patente WO2021243428A1.



Fonte: Amianti (2021)

A aeronave possui baterias, moto gerador, tanque de armazenamento e propulsores compostos por controlador de velocidade, motor e hélice e o sistema de aspersão, com mangueiras e bicos.

É notável que as patentes são de soluções semelhantes que cumprem um mesmo propósito, a pulverização agrícola. Portanto, são variações de um mesmo conceito, e por isso, apresenta o potencial para melhorias e criação de uma nova patente. Novas funcionalidades podem ser desenvolvidas e outras aprimoradas.

2.6 Benchmarking

O *benchmarking* no projeto é um processo de pesquisa ou busca de produtos, já existentes no mercado, que executem tarefas relacionadas à oportunidade em questão, de forma a prover informações para a etapa de geração de alternativas.

Desse modo, realiza-se um *benchmarking* com produtos similares ao proposto presentes no mercado. As variáveis analisadas foram o preço, a capacidade de carga de produto em litros, o peso do equipamento e seu peso máximo de decolagem, o tempo de voo com e sem carga, a largura de pulverização, a quantidade de bicos a taxa de pulverização e o tamanho da gota. No Quadro 3, tem-se o *benchmarking* realizado.

Quadro 3 - Benchmarking

Imagem							
Nome	DJI Agras T30	DJI Agras T20	DJI Agras T10	XAG XPlanet Spray & Spreading Drone	XAG P30 Plant Protection	JT10L404QC	20L orchard sprayer
Marca	DJI (China)	DJI (China)	DJI (China)	XAG (China)	XAG (China)	Joyance	Joyance
Preço	R\$160.000,00	R\$120.000,00	R\$120.000,00	R\$65.000,00	US\$ 21.500,00	N A	R\$100.000,00
Capacidade (L)	30	20	10	20	16	10	20
Dimensões (mm)	2858 × 2685 × 790	2509 × 2213 × 732	1958 × 1833 × 553	2210 × 2195 × 552	2018 × 2013 × 490	1140 × 1120 × 580	1950 × 1950 × 500
Massa sem Carga (kg)	35,5	27,5	16	26,62	16,05	13	18,5
Massa Máxima de Decolagem (kg)	73	47,5	26	48	38,5	27	60
Velocidade de Operação (m/s)	7	7	7	12	12	12	12
Tempo de Voo sem carga (min)	20,5	15	17	17	18	15	15
Tempo de Voo com carga (min)	7,8	10	9	10	10	10	10
Largura de Pulverização (m)	9	7	5,5	6	6	5,5	8
Quantidade de Bicos	16	8	4	4	4	4	4
Taxa de Pulverização (L/min)	8	6	3	7,2	5,6	1,5	3
Tamanho da Gota (µm)	170 a 265	190 a 300	190 a 300	90 a 550	90 a 550	N A	N A

Fonte: Autoria própria (2022)

2.6.1 Análises do benchmarking 4

Após a reunião das informações no *benchmarking*, é possível realizar as seguintes análises:

- a) As capacidades variam entre 10 e 30 litros, com aumento de dimensões conforme o aumento da capacidade, de forma a suportar o peso extra;
- b) Em geral, os VANTs para agricultura são caros, custando mais de R\$100.000,00, o que pode ser inviável em alguns casos;
- c) O tempo de voo, iniciando com a carga cheia, até esvaziar o tanque, varia entre 7,8 e 10 minutos o que indica a necessidade de algumas viagens até completar a pulverização, caso seja uma área consideravelmente grande;
- d) A largura de pulverização varia entre 5,5 e 9 metros. Quanto maior essa medida, mais área de plantação será pulverizada e mais rápido será feito o processo, economizando viagens do VANT.

2.7 Caracterização da oportunidade

Como observado, o mercado agrícola continua em expansão no país. Novas tecnologias são constantemente empregadas, de maneira a obter maiores produtividades e lucros em menor tempo e com menos recursos. É nessa oportunidade que os VANTs adaptados para a pulverização se encaixam, uma vez que podem ser utilizados para pulverizar uma área específica de uma lavoura, sem a necessidade de maquinários extremamente custosos e que causam grande desperdício de produtos.

Outra oportunidade, já adentrando desse mercado crescente de VANTs agrícolas, é adaptar outras tecnologias, como o NVDI (Índice de Vegetação de Diferença Normalizada) para possibilitar a agricultura de precisão. Através da identificação automática por meio de câmaras e algoritmos de áreas afetadas por doenças, pode-se pulverizar unicamente essas áreas.

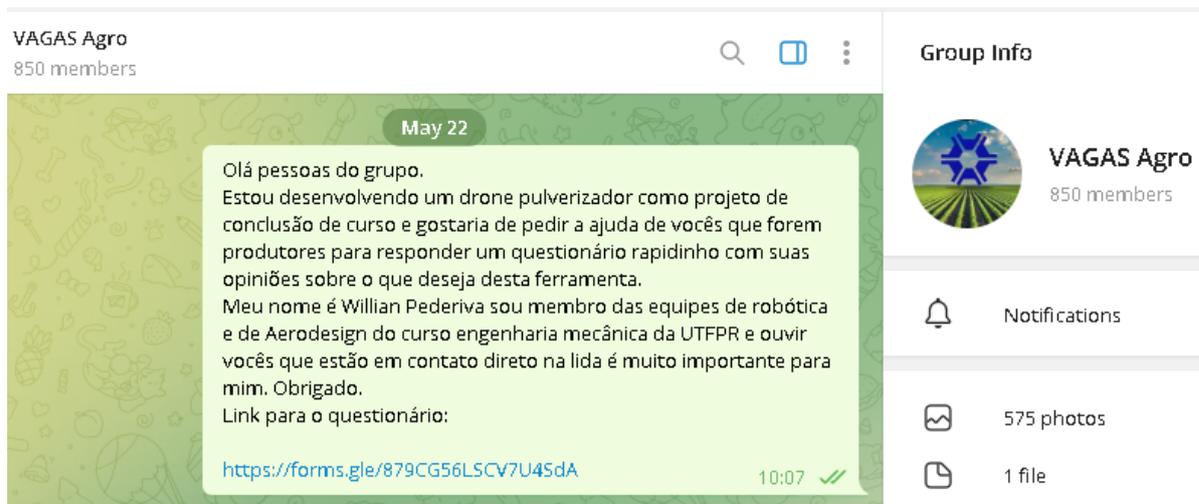
3 PROJETO INFORMACIONAL

O levantamento, a análise e a compreensão das opiniões, vontades e desejos do cliente são abordadas nesta etapa do projeto. Para tanto, é usado no trabalho a abordagem de Paul *et al.* (2007), com adaptações, para definir a viabilidade técnica e a econômica do presente projeto. Na construção e aplicação do questionário, são utilizados os critérios de Surowiecki (2004) para obtenção das respostas.

3.1 Técnica para Obtenção das Informações

Foi adotado a via do questionário online. Os respondentes foram acessados a partir de grupos de agricultores das comunidades com a temática de “Agricultura de precisão” na rede social Facebook, grupos de WhatsApp de “Agronomia UTFPR Dois Vizinhos”, grupos de agricultores em Pinhão – PR, Concórdia – SC e Encantado – RS, feiras urbanas organizadas pela prefeitura de Curitiba nos dias de 19 e 21 de Maio de 2022, e grupos do Telegram “Vagas Agro”, conforme Figura 17, chegando a um total de 21 respostas destas várias fontes. Dez perguntas relacionadas ao tema são realizadas. O questionário pode ser encontrado no Apêndice A e as respostas e análises no Apêndice B.

Figura 17 – Convite padrão para responder ao questionário



Fonte: Autoria própria (2022)

3.2 Necessidades do Cliente

Das dez perguntas, quatro delas foram relacionadas diretamente a características do VANT. As respostas dessas perguntas estão apresentadas no formato de quadros no apêndice B. São elas:

- a. O que deseja ver aplicado no VANT?
- b. Quem limita o uso do VANT?
- c. Qual característica é importante que o VANT cumpra?
- d. Como o VANT é usado atualmente?

3.3 Requisitos da Qualidade

A partir do *benchmarking* foi possível visualizar diferenças entre os modelos de VANTs agrícolas em uso atualmente. Estas diferenças observadas servem de parâmetro comparativos para diferenciar a qualidade em diferentes modelos. Adicionado a isto, as pesquisas técnicas e as modelagens adotadas em outros trabalhos de pulverização e na construção de um veículo aéreo não tripulado forneceram outros parâmetros comparativos.

Dessa maneira, são estabelecidas métricas e um objetivo global que fornece um controle e um padrão comparativo no qual é possível avaliar a qualidade do projetado que está presente no Apêndice C. Junto a este, tem-se a correlação da necessidade do cliente obtida através de questionário e o requisito de projeto, bem como uma explicação da importância do requisito de projeto em questão.

Utiliza-se a metodologia da casa da qualidade para estabelecer relações entre a voz do cliente e a voz do projetista. A casa da qualidade realizada é apresentada no Apêndice D.

3.4 Especificações do Produto

A especificação do produto, é apresentada na Tabela 4. Estão exibidas várias medidas importantes para o VANT, qual a meta que essas medidas devem alcançar, o sensor, ou seja, o método para avaliar, quais são as saídas indesejadas no caso de a meta não ser atingida, e por fim, se o requisito em questão é do tipo demanda ou desejo. Requisitos do tipo demanda são fundamentais no projeto de um VANT, e assim, não podem ser ignorados, apenas melhorados.

Tabela 4 – Especificação do Produto VANT

Medida	Meta	Sensor	Saída indesejável	Tipo
Área coberta por voo	10000 m ²	DGNSS	Voo curto	Demanda
Precisão Horizontal e Vertical	5 cm/km	DGNSS	Voo errático	Demanda
Duração da bateria	8-15 min	Multímetro	voo curto	Demanda
Carga da bateria	18 A.h	Multímetro	voo curto	Demanda
Altura autônoma	erro <0,1 m	DGNSS	Descalibrado	Demanda
Velocidade	10 m/s	DGNSS	voo lento	Demanda
Peso vazio	<10 kg	Balança	Muito pesado	Desejo
Preço	< R\$ 10.000,00	BOM	Inviável comercialmente	Desejo
Desvio de obstáculos	>10 m	Radar	Ineficiente	Demanda
Diâmetro mínimo de gota	<0,1mm	Especificação de produto	Tamanho inadequado	Demanda
Capacidade	>15L	Balão volumétrico	Pouca carga	Demanda
Envergadura	>1.5 m	Trena	Curto	Demanda
Aplicação autônoma pressurizada	<1h	Cronômetro	Requer trabalho	Desejo
Pressão de operação	>1,5 Mpa	Manômetro	Pouca pressão	Demanda
Dimensões	<1m ²	Trena	Incômodo	Desejo
Alarme de bateria	> 3 minutos	Multímetro	Não acionar	Demanda
Resolução de camera	>HD	Câmera	Pouca resolução	Desejo
Memória ROM	>8Gb	Especificação de produto	Pouca capacidade	Desejo
Controlador de voo	>16kHz	Especificação de produto	Pouca capacidade	Desejo
Memória RAM	>2Gb	Especificação de produto	Pouca capacidade	Desejo
Controlador remoto	>3000m	Especificação de produto	Pouco alcance	Demanda
Retorno autônomo	> 3 minutos	Multímetro	Não acionar	Demanda
Coefficiente de segurança	>1.3	Especificação de projeto	Causar quebras	Demanda
Vazão	> 3-6 L/min	Sensor Hall	Não medir	Demanda
Capacidade swarm	>4	Visual	Não coordenarem-se	Desejo
Controle biológico	>1	Modelos	Não ser aplicável	Desejo
Semeadura	> 3-6 L/min	Sensor Hall	Não ser efetivo	Desejo
Alcance semadura	>3 m	Contagem em campo	Alcance não preciso	Desejo
Visão em primeira pessoa	>HD	Câmera	Pouca resolução	Desejo
Infravermelho próximo	>HD	Câmera	Pouca resolução	Desejo
Alarme de tanque	>1 Litro	Sensor de nível d'água	Ineficiencia	Demanda
Diferença na fronteira do vermelho	>HD	Câmera	Pouca resolução	Desejo
Além do campo de visão	>HD	Câmera	Pouca resolução	Desejo
Coefficiente de clorofila	>HD	Câmera	Pouca resolução	Desejo
Sensor de pressão atmosférica	1 atm	Manômetro	Pouca resolução	Desejo
Numero de motores	>4	Visual	Insuficiente	Demanda
Potência do motor	>1200 W	Especificação de produto	Insuficiente	Demanda
Rotações por minuto	>48000	Microcontrolador	Insuficiente	Demanda
Corrente do ESC	>60 A	Especificação de produto	Queime	Demanda
Modelo hélice	> 35/20	Especificação de produto	Não gere sustentação	Demanda
Index de vegetação modificado	>HD	Câmera	Pouca resolução	Desejo
Umidade	0 a 100°	Higrômetro	Pouca resolução	Desejo
Nitrogênio	>HD	Câmera	Pouca resolução	Desejo
Diametro máximo do pulverizador	<0,5 mm	Especificação de produto	Tamanho inadequado	Demanda
Corrente da bateria	>60 A	Multímetro	Excessiva	Demanda
Temperatura de operação	<80°C	Termômetro	Muito alto	Demanda
Nebulizador	>100°	Termômetro	Não nebulizar	Desejo
Bluetooth	>6.5 dBm	Especificação de produto	Pouca potência	Desejo
Resistência a químicos	IP55	Especificação de produto	Não cumprir	Desejo
Raio de controle	>3000m	Especificação de produto	Pouco alcance	Demanda
Frequência de operação	2.6Ghz	Operação do controle	Desregulado	Demanda

Fonte: Autoria própria (2022)

4 CONFIGURAÇÃO DA ARQUITETURA DO SISTEMA

Nessa seção são abordados os principais módulos que integram a arquitetura e o sistema do VANT. São descritas possíveis soluções para cada módulo. Por fim, são expostas as soluções definidas, aliado de uma breve exposição dos motivos e causas da escolha, considerando o documento Especificação de Produto.

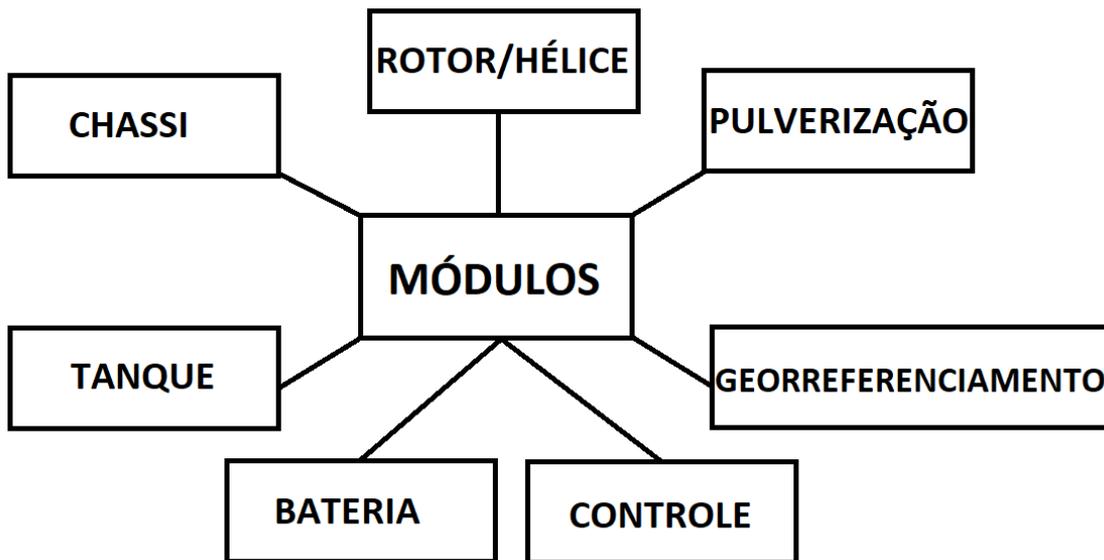
Para isso, é utilizado a metodologia proposta por Ulrich e Eppinger (2012), denominada arquitetura de produto. Nessa abordagem, o protótipo é dividido em subsistemas ou módulos, componentes e o projeto preliminar dos principais componentes. Dessa maneira, são descritas as decisões e suas justificativas para as principais partes de cada módulo do VANT.

Grande parte das decisões tomadas são baseadas nas recomendações propostas por Sadraey (2012), que cita passos para a construção de uma aeronave. Pelo motivo de o projeto ser um VANT, e o desenvolvimento ter de ser concluído em poucos meses, ao invés de anos, muitas etapas do livro foram suprimidas e outras simplificadas, de maneira a tornar possível a construção no tempo disponível. Em vista disso, utilizam-se sugestões de Davies (2016). Através do passo a passo descrito por Davies e dos cálculos apontados por Sadraey, estabelecem-se os principais parâmetros para a construção do VANT.

Além do referencial teórico apontado, outros fatores de escolha são o custo do componente, suas propriedades vantajosas, o quão fácil é sua obtenção ou fabricação, a utilização prévia no universo dos VANTs, entre outros fatores. Para os módulos individuais, as justificativas podem diferir de um para outro, de forma a conseguir maior sucesso no conjunto final.

Na Figura 18, estão apresentados os módulos que configuram a arquitetura fundamental do sistema. Apresentam-se os módulos: chassi, rotor/hélice, pulverização, georreferenciamento, controle, bateria e tanque.

Figura 18 – Principais módulos do sistema



Fonte: Autoria própria (2022)

A seguir, cada um dos sete módulos é exposto, apresenta-se as opções e revela-se quais as escolhas realizadas e suas razões.

4.1 Chassi

O chassi de um VANT é uma parte essencial do VANT. É o componente responsável por manter todo o conjunto de peças unido. Engloba o chassi central, responsável por ligar a bateria, o sistema de pulverização, o tanque líquido, além de ser o elemento incumbido de unir os rotores ao corpo do VANT. Isso ocorre pelos braços de ligação, também parte integrante do chassi.

O chassi é um dos maiores componentes de um VANT, sendo responsável por uma parcela considerável da massa do conjunto. Dessa maneira, é definido que esse módulo deve ter pouca massa. No entanto, como deve unir todas as partes, deve ser capaz de sustentar as grandes forças exercidas, tendo boa resistência mecânica.

Para o chassi, são selecionados dois possíveis materiais para a sua construção, o alumínio e a fibra de carbono. Ambos são materiais de fácil acesso e usados amplamente em produtos comerciais.

Figura 19 - Chassi de fibra de carbono



Fonte: Jinjiuyi (2022)

O material escolhido para a confecção do projeto é a fibra de carbono. No geral, esse compósito possui, em relação a outros materiais, elevada resistência à tração, módulo de elasticidade elevado, baixa massa específica e boa resistência térmica e elétrica, além de ter resistência química contra a oxidação. A razão resistência e massa da fibra em questão é fundamental para a escolha sobre o alumínio. Juntando-se ao importante fato de que a fibra de carbono ser amplamente utilizada para a confecção de chassis de VANTs agrícolas, como o da Figura 19. Uma das desvantagens do carbono quando comparado ao alumínio, é o preço. O material compósito possui custo consideravelmente mais elevado. No entanto, compreendendo ser uma parte fundamental para todo o sistema, concluiu-se que as melhores propriedades mecânicas da fibra de carbono superam o custo superior.

4.2 Rotores e hélices

Assim como o chassi, o conjunto de rotores e hélices é fundamental para o funcionamento de um VANT. Devido a sua grande complexidade, decide-se comprar itens comerciais, desenvolvidos por uma equipe de engenheiros e que realizam funções eficientes em vista do desejado. Diz-se um conjunto, pois um modelo de rotor possui uma especificação de modelo de hélice ideal. Sendo assim, é altamente recomendável seguir a especificação do fabricante e adquirir todo o conjunto. Isto permite obter maior confiança e segurança no conjunto, uma vez que rotor e hélice já são acopláveis e não necessitam de adaptações. Devido as altas forças e velocidades envolvidas, qualquer adaptação nas hélices ou rotores pode representar um alto risco para o conjunto e principalmente para os operadores.

Figura 20 - Quadricóptero**Fonte: Mol (2020)**

Desse modo, no módulo de rotores e hélices, fica pendente a definição da quantidade de rotores. São três possibilidades, sendo que duas são as mais comuns no mercado de VANTs agrícolas: com quatro ou seis rotores, ou seja, quadricóptero, apresentado na Figura 20, ou hexacóptero, exibido na Figura 21. Enquanto a terceira alternativa é com oito rotores, sendo conhecido como octacóptero, como o da Figura 22, e é menos usual quando comparado com as outras duas.

Figura 21 - Hexacóptero**Fonte: Mol (2020)**

Os quadricópteros são os VANTs que apresentam maior velocidade das três opções. No entanto são os que menos suportam cargas elevadas. Já o octacóptero é o modelo que suporta transportar mais cargas, inclusive podendo carregar baterias maiores e proporcionar maior tempo de voo. Contudo, apresenta a menor velocidade entre os concorrentes. Acrescenta-se que, devido ao elevado custo do conjunto hélice e rotor, a opção com oito rotores apresenta um custo significativamente superior aos

demais. Por fim, o hexacóptero é uma opção que resiste a grande capacidade de carga, considerável velocidade e consumo de bateria intermediário (MOL, 2020).

Figura 22 - Octacóptero



Fonte: Mol (2020)

Pelo critério de custo, o octacóptero é descartado logo de início. Dessa maneira, busca-se analisar mais vantagens e desvantagens dos outros dois modelos. É uma possibilidade real um dos rotores falhar durante o voo e parar de funcionar. Em um VANT com quatro rotores, o conjunto perderia completamente a estabilidade. Enquanto um com seis rotores, no caso de um falhar, é possível fazer com que o rotor oposto ao defeituoso também pare de funcionar, de forma ao sistema continuar estável, se tornando momentaneamente um VANT de quatro rotores.

Além do número de motores, é importante definir o tipo de motor a ser utilizado, se será *brushless* ou *brushed*, sem ou com escova, respectivamente. Ambos funcionam com base nos princípios de atração e repulsão entre bobinas e ímãs permanentes. A grande maioria dos VANTs utilizam motores *brushless*, por terem maior durabilidade, pelo fato de não ter escovas elas não se degradam, terem maiores velocidades e acelerações terem maior eficiência energética, além de emitir menor ruído (MILLETT, 2021).

Com essas informações, define-se por utilizar motores *brushless*, por conta das vantagens citadas, além de serem os mais indicados e utilizados atualmente para VANTs.

Dessa maneira, devido ao fato de ter mais segurança e confiabilidade, além de suportar maior carga paga, define-se o VANT com seis conjuntos rotores e hélices.

4.3 Pulverização

O módulo de pulverização envolve as ponteiros, responsáveis propriamente pela pulverização do produto, a bomba para bombeamento, a tubulação, entre outros componentes eletrônicos. Nesses quesitos, os principais motivos de escolha são as análises feitas em VANTs do mercado, através do *benchmarking*, a disponibilidade dos componentes para compra e o custo das peças.

Assim como os rotores e hélices, decide-se por adquirir o *kit* completo do sistema de pulverização. Com isso, garante-se maior confiabilidade e eficiência no sistema.

Figura 23 - Ponteiros alinhadas



Fonte: AG Evolution (2020)

A definição maior é por conta da distribuição das ponteiros. São duas possibilidades no geral, ponteiros alinhadas, como o VANT da Figura 23, ou ponteiros individuais para cada rotor, como na Figura 24.

Figura 24 - Ponteiras individuais por rotor



Fonte: Fertigeo (2018)

A disposição escolhida é a com as ponteiras alinhadas. Um dos motivos é a mais fácil montagem do conjunto, uma vez que necessita apenas uma tubulação para alimentar todos os bicos, em contraste com uma tubulação separada para cada bico sob os rotores. Outra justificativa é a possibilidade de pulverizar mais uniformemente as plantas em maior área, já que em linha, o líquido será pulverizado formando uma espécie de cortina, proporcionando melhor molhamento nas folhas.

Para melhorar ainda mais a pulverização, pode-se usar a pulverização eletrostática, que é uma solução tecnológica para aumentar a eficiência de utilização de gotas de pequenos diâmetros, reduzindo perdas para o solo ou por evaporação. Planeja-se usar o método de indução por indução direta, onde o bico de saída das gotas está mantido em alta tensão, ocorrendo a indução até a planta. A intensidade da carga aplicada varia conforme a distância do bico de pulverização e a planta. Considerando uma distância de 40 cm, a voltagem necessária para a eletrificação das gotas deve ser superior a 20 mil volts. Em testes de campo utilizando esse sistema de pulverização eletrostática, notou-se um aumento de 40% na deposição em relação ao processo sem carga, em culturas de porte rasteiro e arbustivo (CHAIN; WADT, 2015).

4.4 Tanque

Outro componente do sistema de pulverização é o tanque de armazenagem da carga paga. Como analisado através do *benchmarking*, as capacidades mais usuais são de dez, 20 ou 30 litros. Para o projeto em questão, define-se que o tanque terá capacidade de dez litros. É a menor capacidade dos VANTs corriqueiros no mercado, que possibilita menores esforços e potência para funcionamento de todo o sistema, uma vez que possui menor massa. Outro motivo, é o desejo de produzir um VANT classe 3, ou seja, com peso máximo de decolagem menor ou igual a 25 kg.

Definida a capacidade, deve-se estabelecer o formato e a posição do tanque. Para essa definição, existiram dificuldades, uma vez que em a busca por tanques comerciais de dez litros de capacidade resultou em poucas opções. Além do fato de os tanques disponíveis para compra terem um custo elevado, tornando inviável a compra. Assim, define-se que o tanque será um galão de PET de dez litros de capacidade, que possui norma própria, a NBR 14222. É um produto de fácil acesso, com custo razoável e de fácil substituição. Além de ser fácil limpeza, uma vez que após cada uso, o tanque deverá ser lavado.

Assim, com a definição do modelo do tanque, decide-se que ele será localizado sobre o corpo do VANT. Dessa maneira, facilita-se a retirada do reservatório, tanto para a limpeza, necessária após as aplicações, tanto para a reposição de um tanque cheio.

Essa escolha pode acarretar o efeito pêndulo, onde o tanque de líquido tira a estabilidade do sistema. Para solucionar esse problema, se faz necessário a confecção de um tanque específico. No entanto, neste trabalho, busca-se utilizar a majoritariamente materiais *off-the-shelf*. Assim, definiu-se por seguir com o galão comercial de dez litros.

4.5 Georreferenciamento

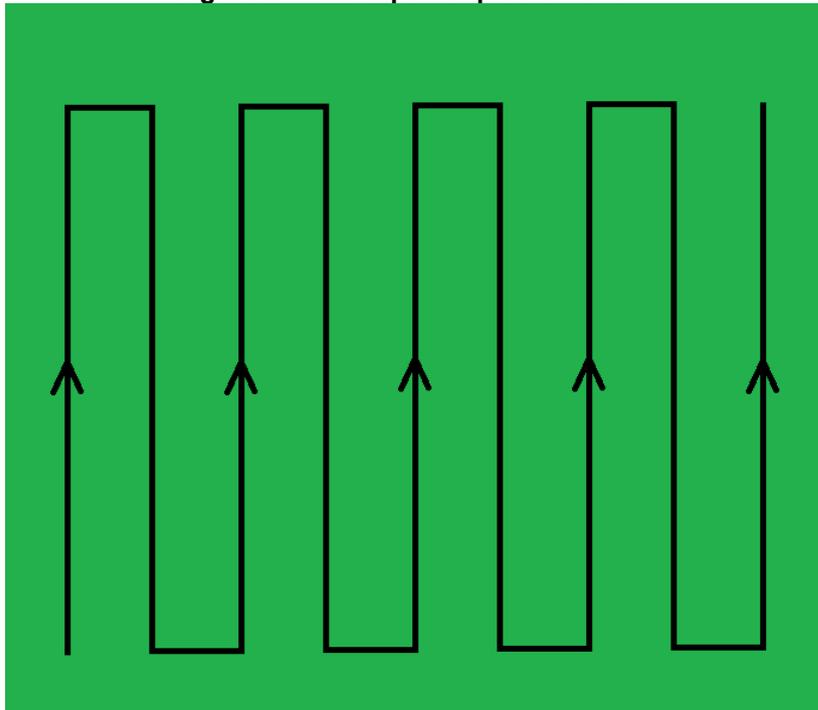
As atividades de pulverização necessitam de boa precisão do VANT, uma vez que o ideal é que o cultivo seja pulverizado de maneira homogênea e uniforme. Dessa maneira, o VANT deve seguir um padrão de voo com acurácia. Para garantir que esse padrão está sendo respeitado, necessita-se de um sistema de georreferenciamento adequado.

O sistema GPS comum de navegação não funciona perfeitamente, tendo uma margem de erro de três a cinco metros, inaceitável para a atividade em questão. Os sistemas PPK (*Post Processed Kinematic*) e RTK (*Real Time Kinematic*) são sistemas de correção do posicionamento. Quando embarcados ao VANT, garantem a correspondência exata entre os dados coletados e o posicionamento real, corrigindo os erros gerados pelo GPS. Como o próprio nome sugere, o RTK processa as informações em tempo real. Possui a base em solo, que faz a triangulação de todos os dados. Para isso, é obrigatória a conexão constante do sinal da base com o VANT. Já o PPK utiliza a mesma lógica de cruzamento de dados. Porém, ocorre depois do voo, em pós-processamento (MAPPA, 2021).

Com essas informações, decide-se pela utilização do sistema RTK. A aquisição de dados em tempo real para a correção do posicionamento foi um ponto importante para a decisão. Como os locais de utilização do VANT serão plantações, geralmente planas e sem obstáculos, não ocorre o empecilho de interferências no sinal durante o voo, possibilitando o pleno funcionamento.

Dessa maneira, é possível garantir um padrão de voo para o VANT, conforme o exemplo da Figura 25. Assim, pode-se assegurar que todas as áreas do cultivo que deveriam receber tratamento foram devidamente pulverizadas.

Figura 25 - Exemplo de padrão de voo



Fonte: Autoria própria (2022)

4.6 Controle e câmeras

Para a eletrônica do modelo, faz-se necessário separar o sistema entre a bomba de pulverização e os demais eletrônicos. Para cada um, dimensiona-se conversores de tensão para alimentação.

É importante realizar o planejamento para inclusão de uma chave de segurança no VANT, de forma que o circuito só se feche e funcione quando realmente desejado, de forma a evitar acidentes e consumo indesejado da bateria.

Também devem ser dimensionados os conectores adequados para as correntes em questão. Além de planejar capacitores para o sistema. Outro ponto importante é vedar todo o sistema eletrônico, uma vez que estão em contato com o ambiente e principalmente com agrotóxicos e produtos químicos, ainda mais com a pulverização eletrostática.

Para o sistema de câmeras, é normalmente utilizada a câmara para controle do VANT através do piloto. Outra possível utilização das câmeras é para a agricultura de precisão, através do sistema NVDI, em português, Índice de Vegetação da Diferença Normalizada. Tem por objetivo analisar a condição vegetal agrícola nas imagens geradas por sensores remotos, através da medição de ondas infravermelhas e vermelhas, o que pode revelar vários aspectos das plantas através da leitura dos dados por algoritmo. A leitura apresenta três níveis, áreas de solo que ficam descobertos, áreas que estão com plantas e áreas que estão alagadas ou com excesso de água. Com esses três níveis, é possível realizar um diagnóstico eficiente da saúde da planta. Dessa maneira, é possível realizar a pulverização em áreas específicas, que necessitem de maior cuidado, uma vez que os sensores acusaram alguma doença na área (MAPPA, 2022).

Na Figura 26 está representado um exemplo da leitura realizada através do sistema NDVI em uma lavoura. As áreas com algum problema, como nesse caso a falta de plantas, ficam destacadas, permitindo a ação humana.

Figura 26 - Monitoramento de lavoura pelo sistema NDVI



Fonte: Mappa (2022)

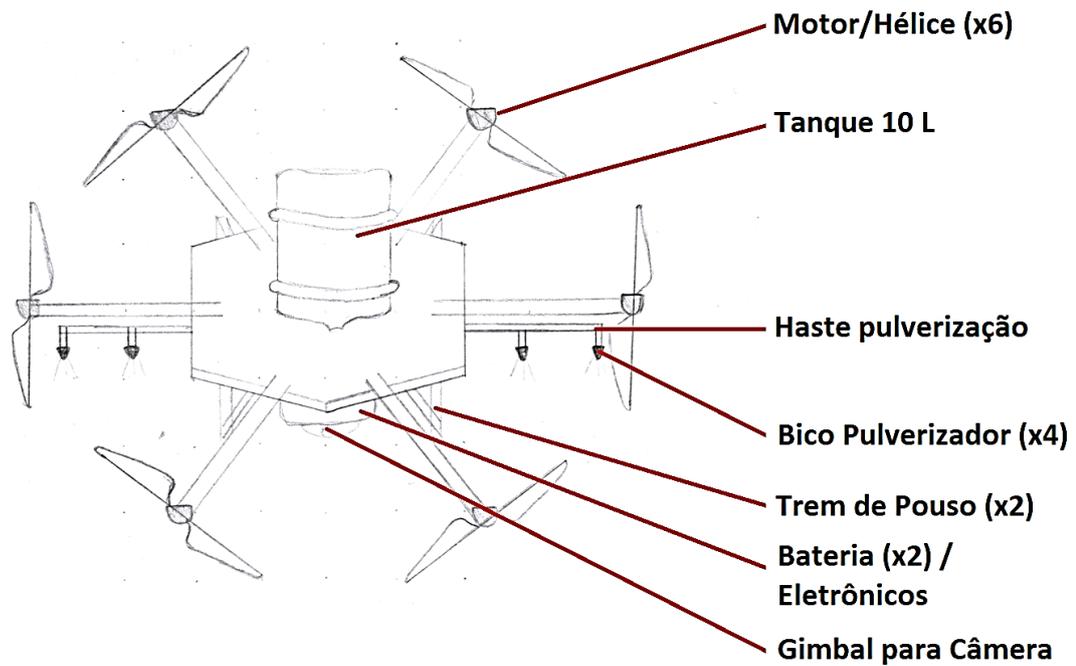
4.7 Bateria

A bateria é um dos componentes com custo mais elevado. Porém indispensável para o funcionamento do VANT. Dessa maneira, opta-se por escolher um modelo de bateria com maior custo-benefício. Ou seja, capaz de suprir as necessidades de todos os componentes que possam ser inseridos no VANT. Além de prever ser capaz de fornecer energia ao sistema em casos extremos, em que seja necessário utilizar a potência máxima dos motores.

4.8 Proposta preliminar do sistema

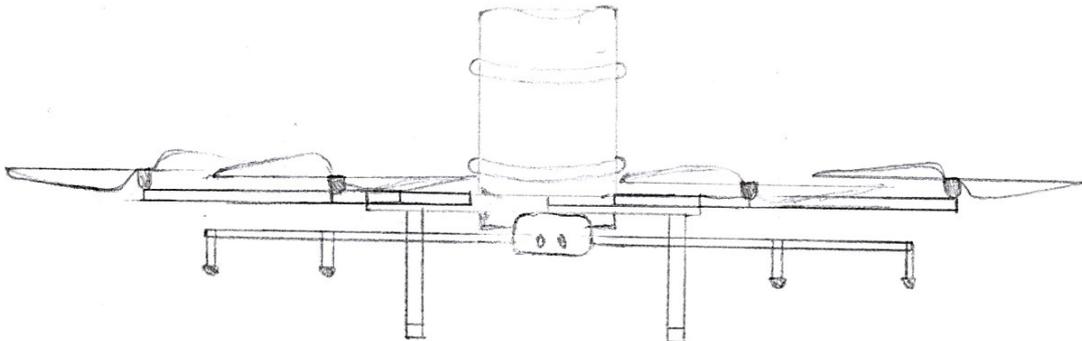
A partir das definições preliminares a respeito dos principais módulos do sistema, é produzido um esboço inicial do conjunto. O *layout* preliminar do sistema está apresentado nas Figuras 27 e 28.

Figura 27 - Design preliminar do sistema



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 28 - Design preliminar do sistema



Fonte: Autoria própria (2022)

Após essas definições, deve-se dimensionar propriamente os componentes integrantes do conjunto. Com isso, será possível a compra e confecção de componentes, para, finalmente, o VANT estar pronto e funcional. Esses dimensionamentos e seleções são apresentados no Capítulo 5.

5 PROJETO PRELIMINAR

Com as definições da arquitetura do sistema, o dimensionamento de cada componente se faz necessário. No presente capítulo, são demonstrados os cálculos e simulações realizados para os principais componentes de cada módulo do VANT.

São analisadas as legislações, evidenciando-se algumas providências fundamentais que devem ser atendidas no dimensionamento do VANT e seus componentes. Entre elas está a necessidade de todo dimensionamento da estrutura ter fator de segurança de no mínimo 1,5, possuir indicador magnético de velocidade e altímetro, limite de velocidade operacional, sistema de luzes anticollisão, entre diversas outras determinações.

5.1 Chassi

O chassi é definido como a estrutura de sustentação central do VANT, contendo os braços que ligam o corpo aos conjuntos de rotores e hélices. Para o seu dimensionamento, é considerado um coeficiente de segurança de dois.

Inicialmente, define-se sua construção em fibra de carbono. Para tal, estabelece-se a utilização exclusiva de tubos de 30 mm de diâmetro externo e chapas de 2mm de espessura. A simulação realizada no *SolidWorks* indica 2,5mm de espessura dos tubos como ótimo. Contudo, encontra-se dificuldades para aquisição de tubos de fibra de carbono com as especificações desejadas. Pelo fato de não ser um produto *off-the-shelf*, seu preço é extremamente elevado, impossibilitando sua utilização no presente trabalho. Essa situação obriga a substituição por alternativas nacionais de fácil aquisição.

Dessa maneira, para o chassi, é utilizado o alumínio 6063 t5 com chapas de 2 mm de espessura. Esta chapa é a de menor espessura disponível no momento da compra e que atendia aos critérios da 14-CFR (FAR-23) para resistência de materiais e coeficientes de segurança. Os tubos de diâmetro externo 25,4 mm e espessura 3,17 mm, são definidos após as simulações realizadas como capazes de resistir aos esforços mecânicos. Os parafusos selecionados são os M6x50mm. Os trens de pouso também são projetados em alumínio, em formato de tronco de pirâmide, com tubos de diâmetro externo 10mm, espessura 2,54mm e 330mm de comprimento.

Esses valores são testados em simulações realizadas no *SolidWorks*, para confirmar que os materiais disponíveis para compra imediata atendem aos critérios de segurança. As simulações são realizadas considerando o alumínio 6063 t5.

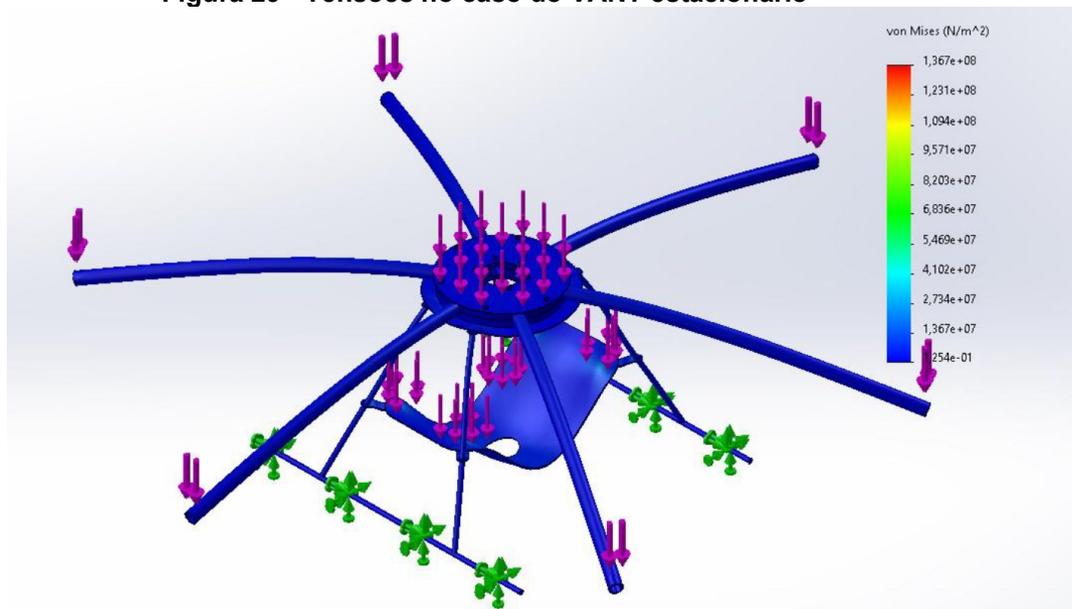
São realizadas duas simulações. A primeira considerando o VANT parado no solo, para averiguar se a estrutura seria capaz de aguentar seu próprio peso, principalmente considerando o galão cheio com dez litros de produto.

Como condição de contorno para essa simulação, fixam-se as bases do trem de pouso, aplicam-se forças distribuídas, representando o peso equivalente a dez litros do tanque e as baterias, e seis forças localizadas indicando o peso de cada motor.

A seguir são descritos os resultados obtidos.

Na simulação do VANT em estado estacionário, tem-se os resultados obtidos nas Figuras 29 para as tensões no sistema, e na Figura 30 para o deslocamento gerado.

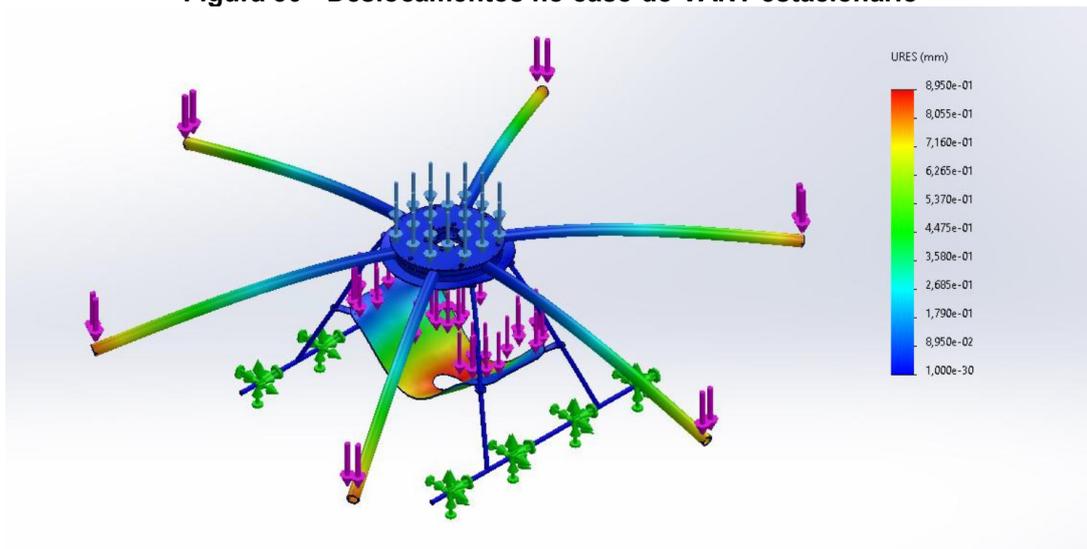
Figura 29 - Tensões no caso do VANT estacionário



Fonte: Autoria própria (2022)

Nas simulações, percebe-se que o resultado foi exagerado, de maneira a facilitar a análise dos pontos mais críticos do sistema. Da simulação de tensões de von Mises, adquire-se que a tensão máxima foi de $1,367 \times 10^7 \text{ N/m}^2$. Uma vez que a tensão de escoamento utilizada pelo software através do banco de dados foi de $1,45 \times 10^8 \text{ N/m}^2$, sendo assim um resultado seguro. O deslocamento máximo observado foi de 0,89 mm.

Figura 30 - Deslocamentos no caso do VANT estacionário

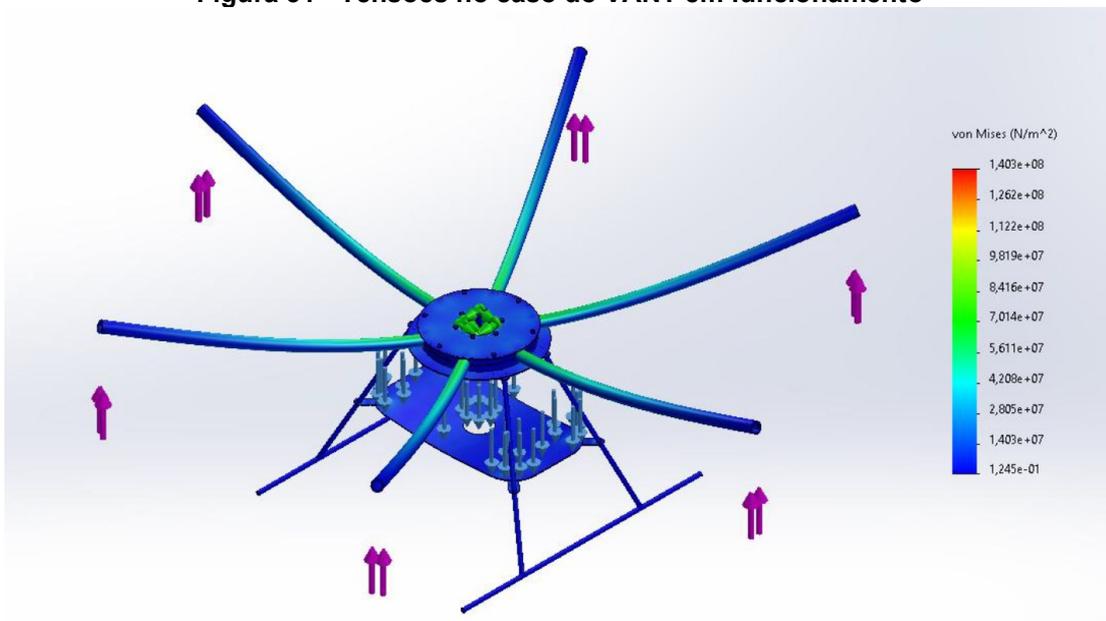


Fonte: Autoria própria (2022)

A segunda simulação considera o VANT em funcionamento. Ou seja, com os seis motores aplicando forças na vertical para cima e o peso do VANT na vertical para baixo.

Na simulação do VANT em funcionamento, espera-se que os resultados sejam mais críticos, uma vez que as forças atuantes no sistema são significativamente maiores. Os resultados obtidos são mostrados na Figura 31 para as tensões e na Figura 32 para os deslocamentos.

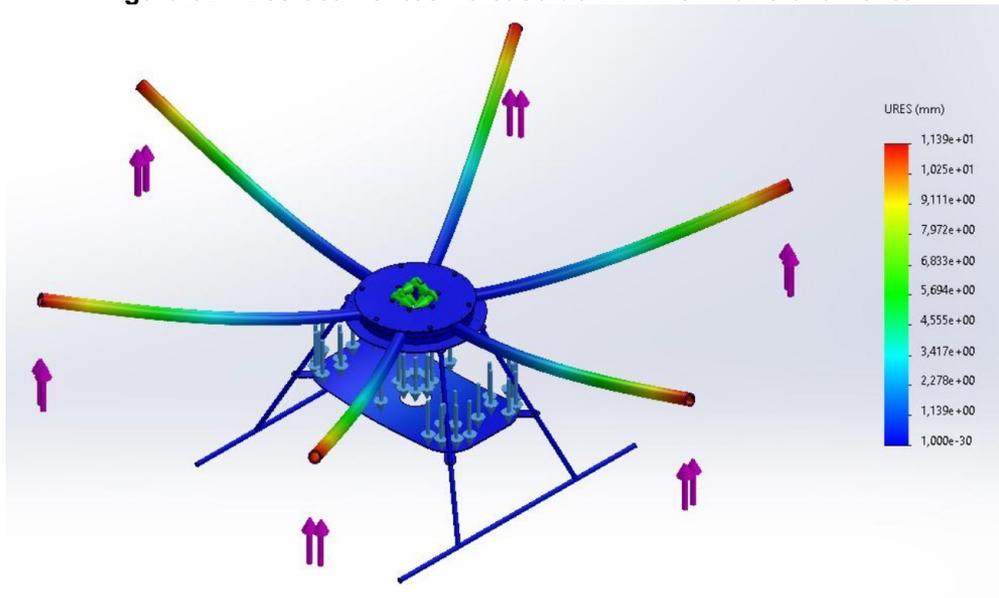
Figura 31 - Tensões no caso do VANT em funcionamento



Fonte: Autoria própria (2022)

Para esse caso, a tensão de von Mises máxima observada é de $1,403 \times 10^8 \text{N/m}^2$. Valor menor, porém, muito próximo a tensão de escoamento do alumínio. No entanto, é importante informar que a força exercida por cada um dos seis motores foi considerada de 720 N, supondo um caso extremo, em que o VANT estivesse em queda livre e todos os motores devem agir com a máxima potência para equilibrar a o peso do objeto e vencer a força gravitacional agindo no objeto em queda. O deslocamento máximo observado é de 11,39mm, justamente nas junções entre os braços e os rotores.

Figura 32 - Deslocamentos no caso do VANT em funcionamento



Fonte: Autoria própria (2022)

Após a realização das simulações, o material e a geometria são aprovados para a construção, já que, ao menos teoricamente, aguentam até o caso mais extremo possível de funcionamento.

5.2 Rotores e hélices

Rotores e as hélices são vendidos em conjunto único. Dessa maneira, deve-se analisar qual o modelo de rotor ideal para o funcionamento do VANT. Com essa definição, as hélices também estarão de acordo. Ao final, é selecionado seis conjuntos idênticos de hélices e rotores *brushless*, como definido na seção anterior.

De acordo com Davies (2016), o impulso gerado pelos conjuntos deve ser de, pelo menos, o dobro do necessário para o levantamento da carga máxima, de forma a se obter maior controle da manobrabilidade do VANT. Dessa maneira, cada motor deve funcionar com menos de 50% da potência máxima, com o propósito de estar na

faixa ótima de consumo de energia, buscando-se ter o maior carregamento e o consumo de energia mais eficiente. Aumentando assim a duração da bateria para a mesma carga.

Com essas informações provenientes da literatura e do *benchmarking*, buscase no mercado conjunto de motores e hélices que já sejam utilizados para VANTs de carga, de massa e função similar e que atendam os requisitos de projeto. Como a massa máxima do VANT projetado é de 25 kg, tem-se que o impulso gerado pelo conjunto deverá ser no mínimo o dobro, 50 kg. Isto implica que o impulso individual por cada um dos seis motores deverá ser de pelos menos 8,33 kg. Dessa maneira, seria atendida a recomendação de usar menos de metade da potência máxima por rotor.

Com isso, o modelo escolhido é o motor X6 da Hobbywing, que é do tipo *brushless*. Segundo suas especificações técnicas, cada motor pode prover 11,9 kg de impulso, representado impulso máximo de 71,4 kg, mais do que os 50 kg necessários. Dessa maneira, são determinadas as especificações técnicas de potência, corrente e tensão, necessárias para a seleção do modelo da bateria. Com base no recomendado pelo fabricante dos motores, seleciona-se hélice de 23 polegadas, com perfil de carga e de fibra de carbono, que faz parte do conjunto. Seguindo a legislação, que determina a necessidade de o VANT possuir um sistema de luzes anticollisão, o próprio motor cumpre essa determinação, através de luzes LED.

Na Fotografia 1, é mostrado um dos seis motores adquiridos.

Fotografia 1 - Motor X6 Hobbywing

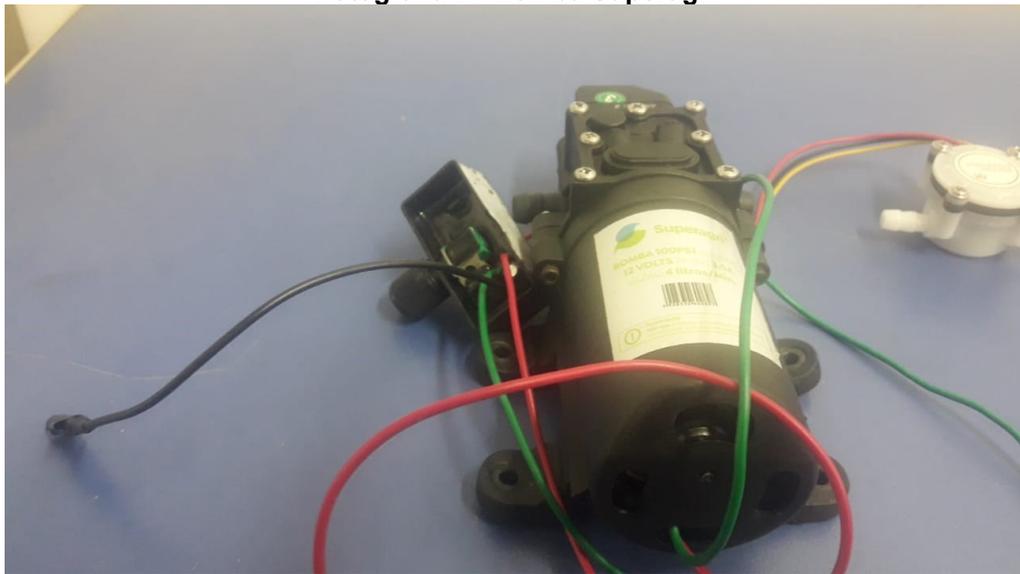


Fonte: Autoria própria (2023)

5.3 Pulverização

Assim como os motores e hélices, o sistema de pulverização selecionado é um sistema *off-the-shelf*, ou seja, de fácil obtenção no mercado. O escolhido para a bomba de líquido é um conjunto de 3 A e 12 V, totalizando 70 W da marca Superagri. Esse já é um modelo leve e que possui capacidade similar ao utilizado por outros VANTs. A escolha desse modelo específico se dá pelo maior custo-benefício quando comparado a outros modelos, além de atender o requisitado para a pulverização. Na Fotografia 2 está apresentada a bomba selecionada.

Fotografia 2 - Bomba Superagri



Fonte: Autoria própria (2023)

As ponteiros, ou bicos pulverizadores, são selecionadas da marca TeeJet, já utilizados nos VANTs da marca DJI Agras, que são reconhecidos como os melhores do mercado. As ponteiros selecionadas possuem abertura de 110°, possibilitando eficiente pulverização. Também são compatíveis com o sistema de pulverização, sendo capaz de formar gotículas de diâmetro adequado para a pulverização. Esse modelo é de fácil obtenção e de custo relativamente reduzido. No entanto, esse tipo de ponteira tem desgaste rápido, sendo necessária sua substituição quando apresentar pulverização ineficiente. Na Fotografia 3 tem-se o conjunto de quatro bicos pulverizadores montados na barra linear que é ligada na bomba.

Fotografia 3 - Barra de pulverização e bicos selecionados



Fonte: Autoria própria (2023)

5.4 Georreferenciamento

Como foi discutido na seção 4.5, para o módulo de geolocalização é usado o sistema RTK, de cinemática em tempo real. O sistema possui um preço elevado, cerca de dois mil reais. Para contornar esse empecilho, busca-se compreender melhor seu funcionamento.

O sistema funciona a partir de dois GPS, um a bordo e outro em terra, fixo. Com acesso as medições específicas, os dados de ambos se integram a partir do uso de algoritmo. Esse algoritmo permite reduzir o erro típico de um GPS, de três a cinco metros, para medidas de poucos centímetros. Seleciona-se o modelo NEO-M8T, que custa cerca de 300 reais e que associado a um algoritmo *open-source*, o RTKLIB, forma um sistema RTK com custo bem menor quando comparado ao sistema original.

Para a leitura dos dados dos algoritmos pelo VANT, é necessário a utilização de um computador de bordo na versão *Raspberry Pi*.

O sistema RTK é fundamental para uma futura automação do VANT, de forma que seja possível se localizar no espaço sem a necessidade de um piloto. Voos de VANTs autônomos ainda são proibidos pela ANAC. Portanto, por mais que o sistema tenha sido projetado, fica sujeito ao tempo de fabricação para sua implementação, uma vez que é um sistema desejável, porém não necessário. Na Fotografia 4 está o sensor de GPS adquirido.

Fotografia 4 - GPS NEO M8T

Fonte: Autoria própria (2023)

5.5 Controle e câmeras

São utilizados dois conversores de tensão no sistema, um para o sistema de 12 V para alimentar a bomba de pulverização e outro de 5 V para alimentar os demais eletrônicos. Barras de cobre foram utilizadas para conectar o sistema em série das baterias com uma chave de segurança, de maneira que apenas se feche o circuito se a chave estiver acionada. Conectores capazes de suportar 500 A é utilizado nessa montagem, visto que os seis motores trabalhando na potência máxima necessitam de cerca de 360 A de corrente. Para a proteção do sistema de eletrônica, são utilizados capacitores e diodos.

Seguindo a legislação, é inserido no controlador do VANT o indicador magnético de velocidade e altímetro. O limite de velocidade operacional é definido por meio de *software*.

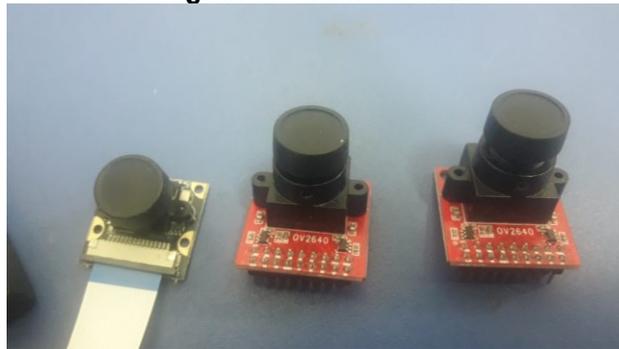
Todos os componentes eletrônicos devem ficar protegidos dentro de um recipiente, ou uma carenagem, de maneira a evitar contato com a umidade e produtos químicos utilizados na pulverização. Os motores já são protegidos contra a entrada de líquidos, uma vez que foram projetados para aplicações expostas ao ambiente e umidade, não sendo necessária proteção adicional

Para as câmeras, analisam-se as opções disponíveis no mercado, e dessa forma, opta-se pela compra de três unidades do modelo OV2640. Essas câmeras são capazes de trabalhar com arduíno, com resolução de dois megapixels e possuem bom custo-rendimento quando comparadas com outros modelos. São também capazes de detectar ondas infravermelhas e vermelhas convencionais, através de filtros. Dessa maneira, com o auxílio de um sistema *open-source*, é possível realizar as análises de NVDI para monitoramento das lavouras. É utilizado um gimbal para as câmeras desse

sistema, o que permite maior controle e estabilidade se fotos ou vídeos mesmo em situações instáveis, de forma a movimentar as câmeras para analisar as áreas. E para a leitura dos dados do NDVI, se faz necessária a utilização do computador de bordo.

A terceira câmera é conectada por cabo Flat e utilizada para o controle do VANT, pelo piloto. Toda essa parte das câmeras e sistema NDVI também é considerado uma implementação desejável, mas não necessária. Assim, o sistema é dimensionado, mas sua implementação no VANT do presente trabalho fica pendente da disponibilidade de tempo. Apresenta-se na Fotografia 5 as três câmeras obtidas.

Fotografia 5 - Câmera OV2640



Fonte: Autoria própria (2023)

Para a controladora de voo, é utilizado um SP Racing F3 Deluxe, utilizado em pequenos drones de corrida. Esse modelo é de fácil acesso e contém magnetômetros, acelerômetros e barômetros inclusos permitindo com o uso destes referenciar o VANT com o norte magnético e com mudanças rotacionais nos três eixos, bem como a altitude deste em relação ao nível do mar. Na Fotografia 6 é apresentada a controladora de voo do protótipo, já dentro de seu case plástico de proteção.

Fotografia 6 - Controladora de voo



Fonte: Autoria própria (2023)

Para o controle computacional do protótipo, é projetada a utilização de um Raspberry Pi 3, apresentado na Fotografia 7, responsável por receber as informações dos diferentes sensores, bem como do pacote de instruções gerada, que é guardada via cartão de memória, para permitir algum grau de autonomia ao VANT.

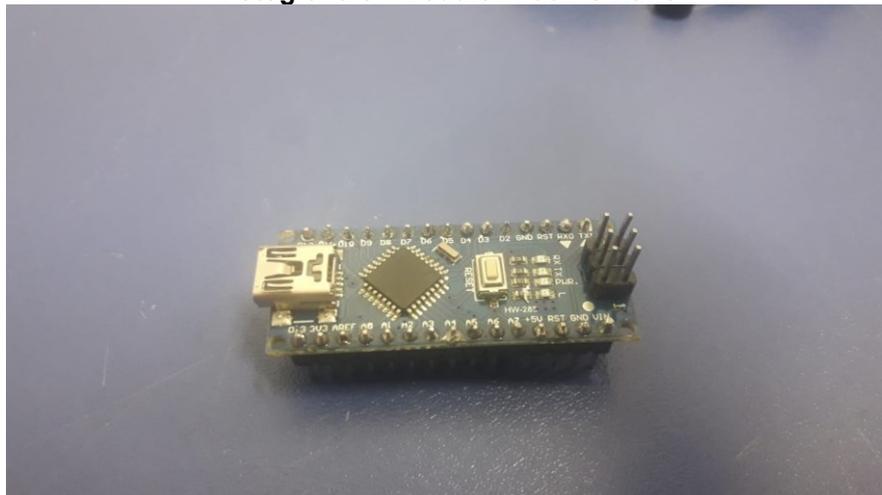
Fotografia 7 - Raspberry Pi3 e Invólucro de proteção



Fonte: Autoria própria (2023)

Para o controle das câmeras, é utilizado um Arduíno nano, apresentado na Fotografia 8, capaz de processar as imagens, comparar os valores de NDVI e orientar o gimbal sem afetar o processamento do VANT.

Fotografia 8 - Módulo Arduíno Nano



Fonte: Autoria própria (2023)

5.6 Bateria

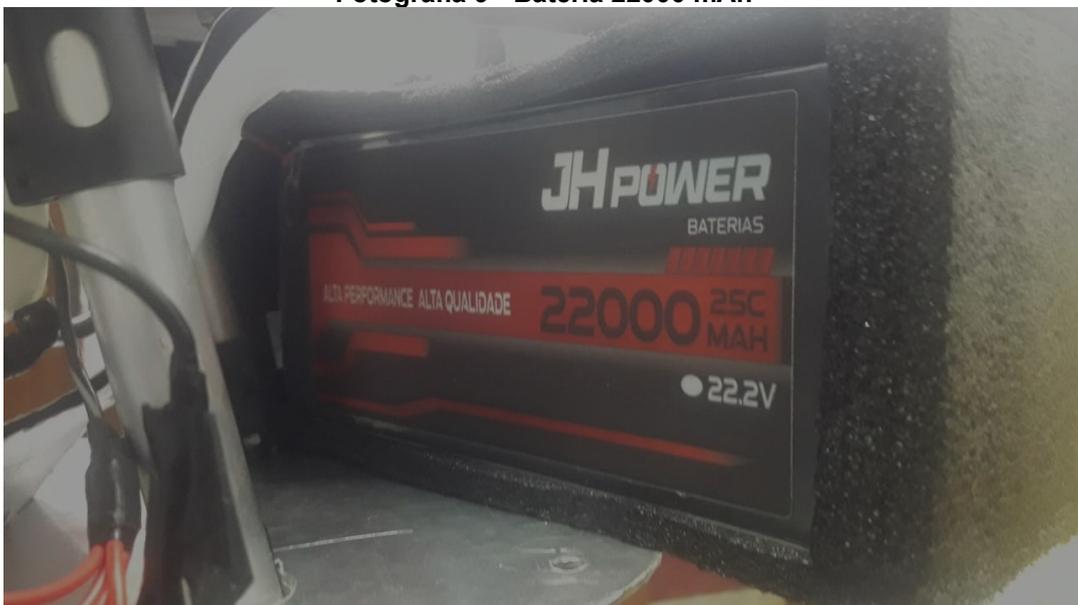
A bateria é o último componente a ser dimensionado e especificado. Isso devido ao fato da necessidade de se estimar toda a corrente e potência de todos os equipamentos eletrônicos que se imaginavam possíveis de alocar no VANT, como servomotores para o gimbal, para câmera, sistema de computador de bordo, entre

outros. Considera-se um coeficiente de segurança de 1,5, para garantir o pleno funcionamento dos sistemas.

Estima-se a potência necessária para o funcionamento dos motores com carga máxima e qual seria a corrente necessária para alimentar essa potência, através das informações técnicas dos rotores. Chega-se ao valor de 44 volts e corrente de no mínimo 400 ampères. A corrente é estimada para o caso de garantir o funcionamento de todos os rotores quando estão funcionando com a máxima potência, no caso de recuperar o VANT de uma queda.

Com essas definições, são selecionadas duas baterias do tipo Lipo JHPower de 22000 mAh. Essa métrica é similar as baterias utilizadas no ramo por outros modelos. O tempo de voo é estimado em dez a 30 minutos, dependendo da potência utilizada nos motores, que variam conforme a carga paga, as condições atmosféricas de vento, entre outros fatores. Sendo assim, é o suficiente para que uma carga de dez litros seja totalmente pulverizada e o VANT retorne à posição inicial. A bateria selecionada trabalha no sistema 6s, ou seja, seis células, em que cada uma tem 3,7 V, totalizando 22,2 V no total. As duas baterias devem trabalhar em série, significando que a tensão fornecida será de 44,4 V, que está dentro da tensão máxima produzida pelos motores, garantindo assim seu funcionamento até em casos extremo, ainda que por menos tempo. Uma das baterias adquiridas é apresentada na Fotografia 9.

Fotografia 9 - Bateria 22000 mAh



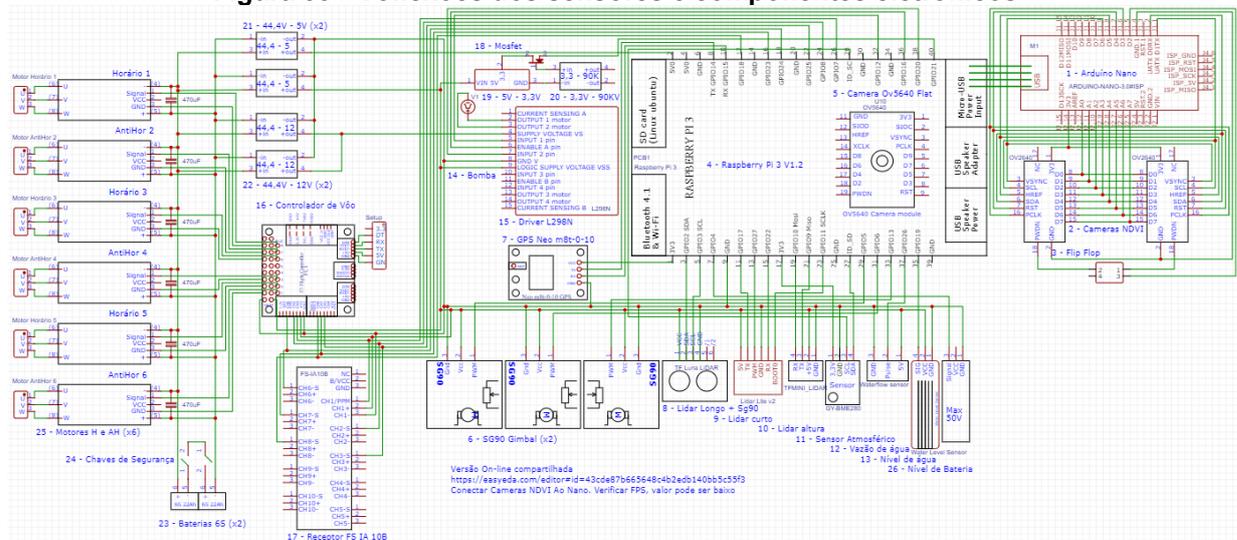
Fonte: Aatoria própria (2023)

Cada uma das baterias possui massa de 2,3 kg (4,6 kg no total) sendo responsável por boa parte da massa do VANT. Elas ficam alojadas na parte de baixo do conjunto, sob a base dos componentes eletrônicos. Para manter o centro de gravidade centralizado, as baterias devem permanecer equidistantes do centro da base de apoio.

5.7 Sensores e eletrônicos

Os demais sensores e componentes eletrônicos são incluídos para atender as especificações de produto e tem suas conexões mapeadas utilizando o *software* EasyEDA. Na Figura 34 é representado o esquema de conexões para cada um dos sensores selecionados no *software*.

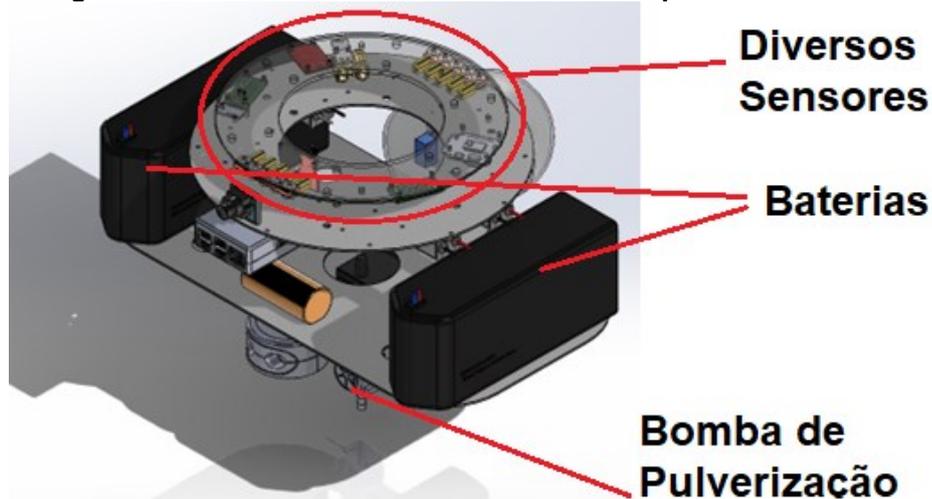
Figura 33 - Conexões dos sensores e componentes eletrônicos



Fonte: Autoria própria (2023)

Suas localizações no protótipo são dimensionadas e planejadas com utilização do *software* Solidworks. Na Figura 34 está o posicionamento projetada para os principais componentes eletrônicos do sistema, entre os sensores, as baterias e a bomba de pulverização.

Figura 34 - Posicionamento dos sensores e componentes eletrônicos

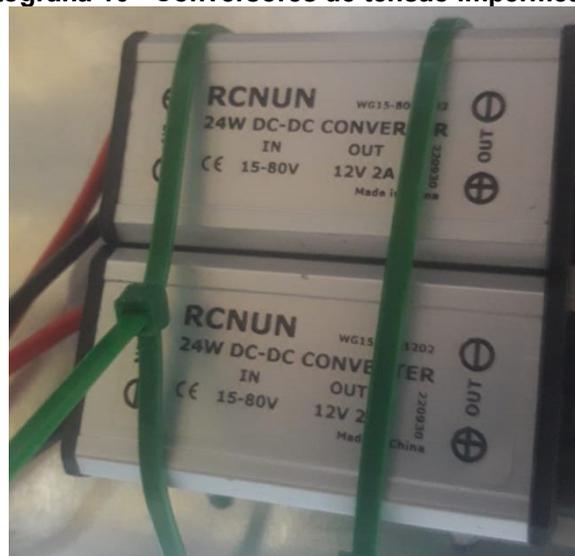


Fonte: Autoria própria (2023)

5.7.1 Conversores de tensão

Estes conversores são utilizados para converter a tensão de operação bateria para tensão de 12V para a bomba e 5V para os componentes eletrônicos. Eletrônicos de 3.3V podem ser alimentados diretamente do Raspberry Pi 3. Os modelos escolhidos são os RCNUN vedados contra umidade, apresentados na Fotografia 10.

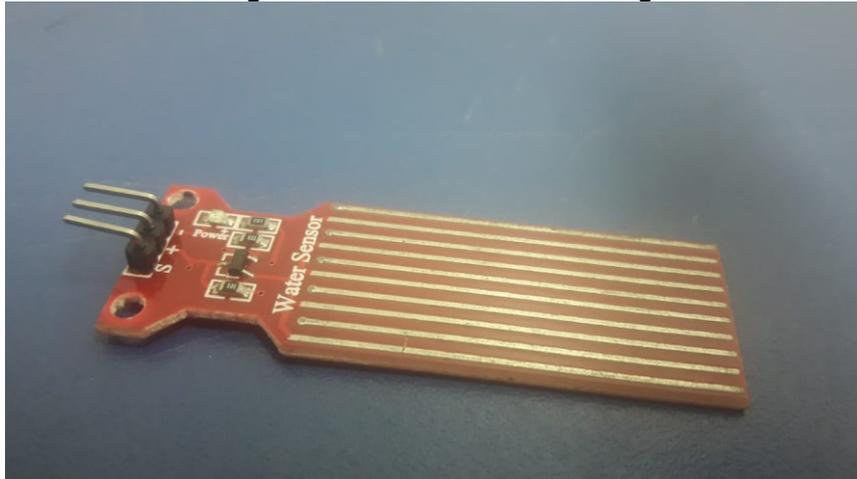
Fotografia 10 - Conversores de tensão impermeáveis



Fonte: Autoria própria (2023)

5.7.2 Medidor de nível d'água

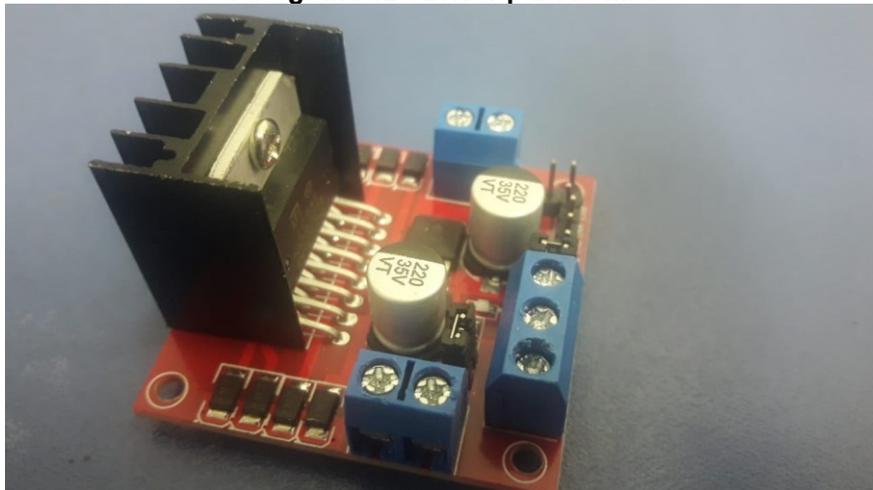
O medidor de nível d'água é instalado no reservatório acoplado ao drone para indicar o fim da carga do líquido a ser pulverizado. Este sensor é apresentado na Fotografia 11.

Fotografia 11 - Medidor de nível d'água

Fonte: Autoria própria (2023)

5.7.3 Driver para a bomba

Este driver, modelo DC Ln298, é escolhido para operar a bomba de 12V a partir de sinais eletrônicos enviados pelo Raspberry Pi 3, conforme a Fotografia 12.

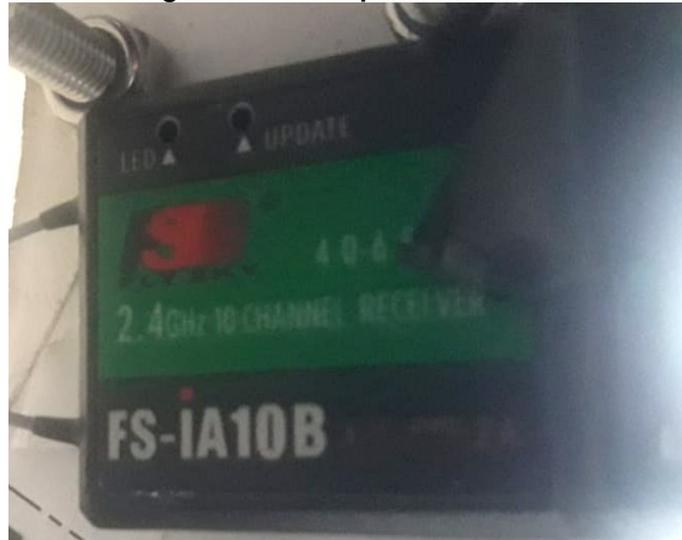
Fotografia 12 - Driver para bomba

Fonte: Autoria própria (2023)

5.7.4 Receptora de sinal

A receptora de sinal em como função receber os comandos enviados pelo controle RC FlySky. É do modelo FS-IA10B, apresentado na Fotografia 13. Tem capacidade de alcance medido de 300 metros. Indicando assim a distância máxima de pulverização para esse projeto, que é um círculo de raio 300 metros. Portanto, cerca de 280 mil m² ou 28 hectares podem ser pulverizados pelo alcance do receptor de sinais.

Fotografia 13 - Receptador do controle



Fonte: Autoria própria (2023)

5.7.5 Gimbal

O projeto do gimbal é desenvolvido pela equipe e impresso em 3D. É capaz de sustentar as duas câmeras do NDVI utilizando servomotores SG-90 acionados por um arduíno. Na Fotografia 14 estão presentes as peças do gimbal e os servomotores.

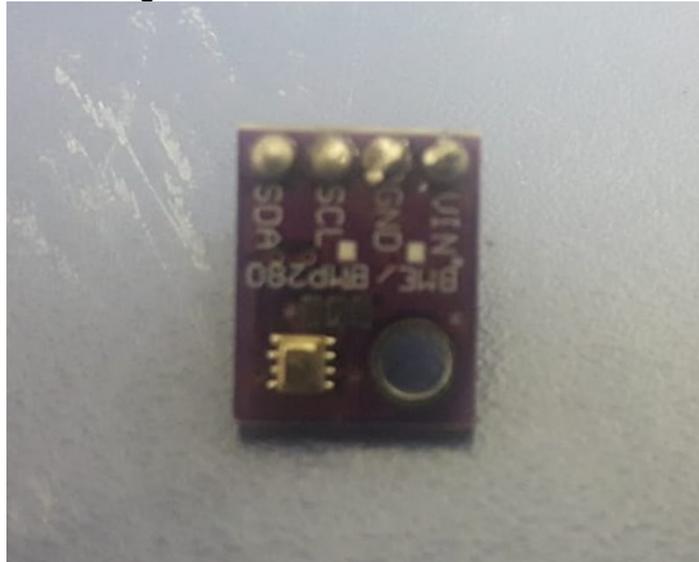
Fotografia 14 - Gimbal e motores SG-90



Fonte: Autoria própria (2023)

5.7.6 Sensor atmosférico

O sensor atmosférico é capaz de avaliar temperatura, umidade e pressão do ar. Foi escolhido o modelo BME-280, na Fotografia 15. É importante para avaliar as condições de voo, variáveis que podem interferir no voo e na pulverização adequada.

Fotografia 15 - Sensor atmosférico BME280

Fonte: A autoria própria (2023)

5.7.7 Lidar

Lidar é um tipo de sensor que utiliza a óptica para medir as propriedades da luz refletida de maneira a medir a distância para algum objeto. No VANT, é responsável por garantir que não ocorra um acidente com alguns poste ou árvore durante o voo.

São selecionados dois sensores Lidar do tipo TF-Luna, de oito e 12 metros, com o segundo sendo capaz de operar em 360° e identificar objetos próximos. Estão apresentados na Fotografia 16.

Fotografia 16 - Lidar

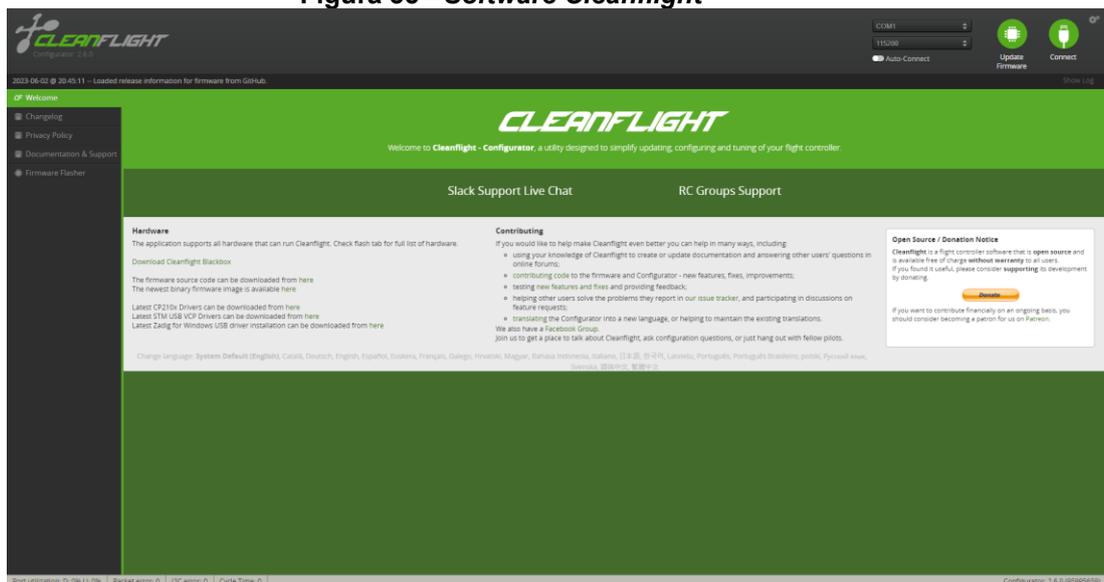
Fonte: A autoria própria (2023)

5.8 Softwares

5.8.1 Cleanflight

Para configuração do controle de voo é utilizado o software Cleanflight, que é capaz de acessar a controladora de voo e configurá-la para o número de motores, característica dos motores, do receptor, entre várias outras configurações. É a responsável por acessar o controle PID (*Proportional, Integrative, Derivative*) fundamental para estabilização do voo do VANT. A tela de início do *software* está representada na Figura 36.

Figura 35 - Software Cleanflight



Fonte: Autoria própria (2023)

RTKlib

Para configuração do GNSS (sistema de navegação por satélite) em formato *open-source*, é disponibilizada uma ferramenta que permite acessar o valor recebido em GPS do tipo NEO M8T. Esse sistema pode ser posteriormente configurado para transmitir as informações e tornar possível o sistema RTK de correção do posicionamento em tempo real.

5.8.2 PuTTY

Software de projeto capaz de se comunicar com processadores na arquitetura *Raspberry Pi* e Arduíno, sendo capaz de conectá-los e operá-los a partir de uma porta USB presente num computador.

5.9 Projetos das propostas

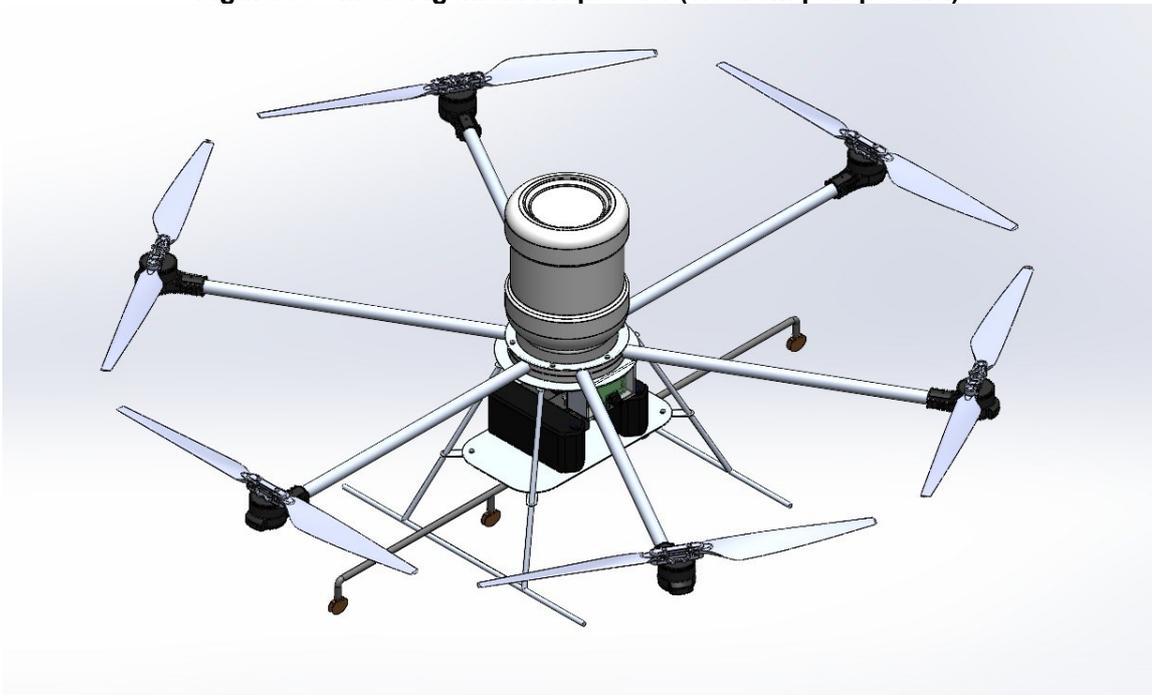
Com todos os componentes dimensionados e selecionados, desenvolve-se os modelos completos dos protótipos no *software SolidWorks*. Nesses desenhos, tem-se os dois projetos do VANT para pulverização. No Capítulo 6 é detalhada a necessidade de se examinar dois protótipos diferentes.

5.9.1 Projeto da Proposta 1

Para a primeira proposta, considera-se os braços de ligação entre os motores e a estrutura com 725 mm de comprimento, distância segura de maneira a não ocorrer interferência entre as hélices no *software*. Além de a base de pouso ser projetada com finos tubos de alumínio. As simulações realizadas na seção 5.1 são referentes a essa proposta.

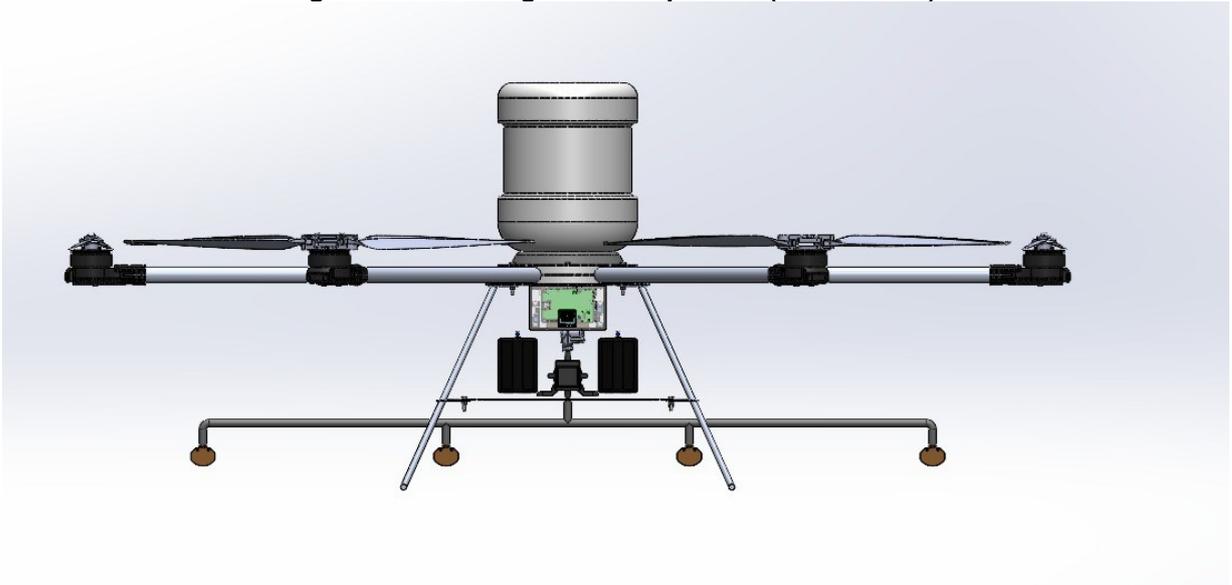
Nas Figuras 36 e 37, estão os modelos derivados do *SolidWorks* da Proposta 1.

Figura 36 - Modelagem da Proposta 1 (vista em perspectiva)



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 37 - Modelagem da Proposta 1 (vista frontal)



Fonte: Autoria própria (2022)

No Apêndice E estão apresentados os desenhos da montagem completa da , da base dos componentes eletrônicos, do braço de ligação do rotor ao corpo, da carcaça, ou chassi, dos componentes eletrônicos, do esquí de pouso, da hélice, do kit rotor e hélice, e por fim, da base do chassi.

5.9.2 Projeto da Proposta 2

Para a segunda proposta, busca-se melhorar alguns aspectos da primeira. Esses aspectos são analisados mais profundamente na seção 6.2.2. As alterações são principalmente no projeto do trem de pouso. Considerou-se tubos com diâmetro maior e mais espessos, de maneira a garantir melhor a sua resistência.

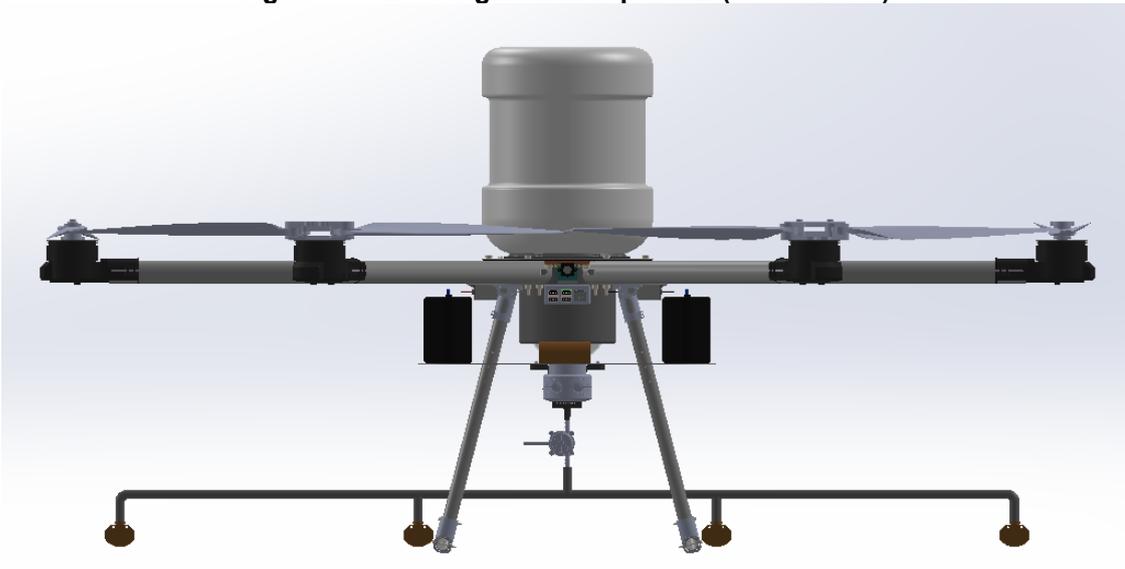
Também se reduz o comprimento dos braços de ligação dos motores à estrutura. Avalia-se que as hélices adquiridas são menores que as hélices utilizadas no SolidWorks. Dessa maneira, calcula-se a distância segura para que as hélices não entrem em contato durante o voo. Os braços foram reduzidos para 550mm de comprimento. Nas Figuras 38 e 39, apresenta-se o modelo da Proposta 2. Nota-se que nos desenhos as hélices estão em contato. Isso ocorre por a hélice disponível no *software* não ter as mesmas dimensões que a selecionada para o protótipo.

Figura 38 - Modelagem da Proposta 2 (vista em perspectiva)



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 39 - Modelagem da Proposta 2 (vista frontal)



Fonte: Autoria própria (2023)

Dessa maneira, com as melhorias realizadas na Proposta 2, decide-se que essa seria a proposta final a ser construída e testada.

5.10 Parâmetros de pulverização e voo

Com a proposta finalizada, se faz necessário definir os parâmetros de voo e de pulverização. Nesta seção serão descritas condições e variáveis consideradas para o projeto e controle adequado para uma pulverização planejada.

Escolhe-se a água como líquido para as análises. Ainda que na prática não se use água, mas sim pesticidas e fertilizantes, que possuem propriedades desiguais, as propriedades da água são conhecidas, possui fácil acesso e não apresenta riscos químicos para a manipulação.

A definição do tipo de lavoura é importante para estabelecer posteriormente a altura de voo, que depende da altura da planta. O tipo escolhido é a soja, uma das culturas mais populares nas lavouras brasileiras. A estatura das plantas varia com alguns fatores, como as condições ambientais e das variedades da própria planta. O ideal é apresentar estatura entre 60 e 110 cm. Para as análises posteriores, é considerado que a altura ideal para pulverizar a soja é de 100 cm (EMBRAPA, 2021).

A soja é normalmente plantada em fileiras, método que ajuda a reduzir a competição das plantas por água, luz e nutrientes, possibilitando plantas mais fortes e com menor risco de propagação de pragas e doenças (EMBRAPA, 2020).

Na Tabela 5, são apresentadas diferentes quantidades de plantas por hectare conforme diferentes espaçamentos entre fileiras e número de plantas por metro.

Tabela 5 - Densidade de soja por hectare, variando com o espaçamento entre fileiras e o número de plantas metro linear

Espaçamento	Plantas/m						
	6	8	10	12	14	16	18
(cm)	Plantas/ha						
40	150.000	200.000	250.000	300.000	350.000	400.000	450.000
45	133.333	177.777	222.222	266.666	311.111	355.555	400.000
50	120.000	160.000	200.000	240.000	280.000	320.000	360.000

Fonte: Embrapa (2020)

Ocorre pouca variação de produtividade de grãos quando a densidade de semeadura está na faixa de 150 mil a 450 mil plantas por hectare. A distância de espaçamento mais usada nas lavouras é de 40 cm a 50 cm (EMBRAPA, 2020).

Dessa maneira, define-se que para as análises desse trabalho, a soja tem cada fileira separada por 40 cm e terá 10 plantas por metro linear, tendo assim uma densidade de 250 mil plantas por hectare. Uma plantação semelhante à da Figura 40.

Figura 40 - Lavoura de soja em fileiras



Fonte: Nutrição de Safras (2019)

Os bicos pulverizadores utilizados no projeto possuem, ângulo de pulverização de 110° e estão dispostos em uma barra horizontal de 120 cm dispostos simetricamente por distância de 40 cm.

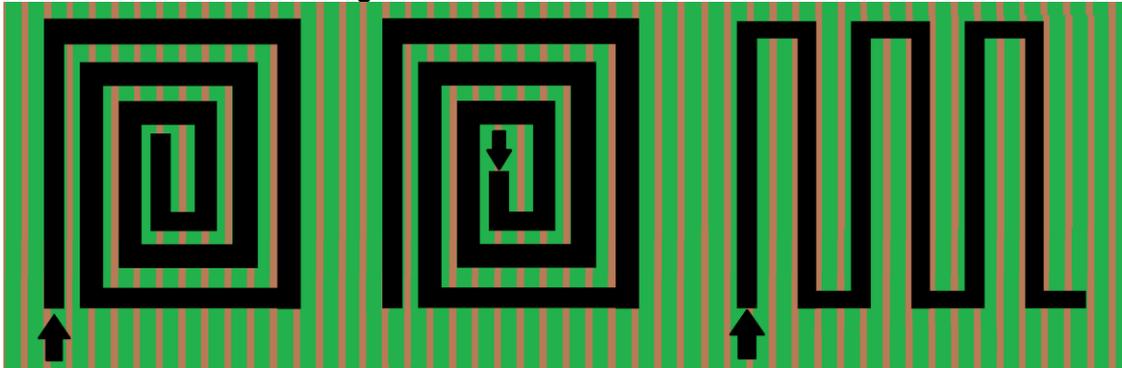
Os modelos de VANT utilizados para pulverização, apresentam uma molhabilidade das plantas em uma largura de pulverização de até nove metros, conforme analisado no *benchmarking*. Dessa maneira, usando essa distância para o presente trabalho, tem-se que o VANT deve sobrevoar as plantas a uma distância de 3,15 metros de altura. Dessa maneira, a distância pulverizada será teoricamente de 4,5 metros para cada lado da barra de pulverização.

Considerando que as fileiras de soja estão separadas por 40 cm, tem-se que a flecha de pulverização de nove metros possibilita a pulverização de aproximadamente 22 fileiras de uma só vez.

Conforme observado no *benchmarking*, os VANTs comerciais possuem diferentes parâmetros de voo e pulverização para cada marca e modelo. Selecionando como exemplo o modelo DJI Agras T10, que possui capacidade de dez litros, alcança 5,5 metros de largura de pulverização e que voa a 7 m/s, pode-se concluir que é possível pulverizar a área de um hectare em cerca de 260 segundos, ou quatro minutos e 20 segundos, considerando um voo em linha reta e velocidade constante. Esse modelo possui vazão de três litros por minuto. Isso resulta que o tanque de dez litros é gasto em 200 segundos, ou dois minutos e 20 segundos. Com a velocidade de 7m/s constante e 5,5 metros de largura de pulverização, tem-se que um tanque de dez litros desse modelo pode pulverizar uma área de 7700m^2 , ou 0,77 hectare.

Em uma área que necessita ser pulverizada, o VANT pode realizar diferentes trajetos de pulverização. Na Figura 37 estão representados alguns. Pode-se pulverizar em espiral, começando de uma extremidade e afunilar até o centro. Outra opção é realizar o mesmo espiral, porém começar do centro em direção a extremidade. Por fim, é possível realizar a pulverização em trajeto de ida e volta.

Figura 41 - Padrões de voo do VANT



Fonte: Autoria própria (2023)

Pelo fato de as plantações de soja serem realizadas em fileira, escolhe-se a terceira opção, com trajetos de ida e volta, como o padrão de voo padrão do VANT. Isso possibilita também um maior controle sobre as áreas projetadas, uma vez que o trajeto em retas possibilita pulverização de várias fileiras por passada. É possível e recomendável utilizar softwares que analisam a área a ser pulverizada e outros parâmetros para definir um padrão de voo otimizado para cada situação.

No Capítulo 6 são descritas as etapas da construção e testes do protótipo. Ao final, tem-se as análises dos testes, onde são feitas análises semelhantes as realizadas para o modelo DJI Agras T10 nesta seção. São descritos os processos e etapas para a construção do protótipo, as dificuldades encontradas, os testes realizados, os resultados obtidos e suas análises.

6 CONSTRUÇÃO E TESTES DO PROTÓTIPO

Ao fim da etapa do projeto conceitual e projeto preliminar, pode-se então iniciar a fabricação do protótipo, para em seguida, realizar testes imprescindíveis para validar o protótipo e identificar possíveis mudanças, a fim de aprimorar o projeto. Neste capítulo é descrito o planejamento para a fabricação do protótipo, as etapas da fabricação em si, um comparativo entre o modelo projetado em CAD e o resultado final, e por fim, os testes funcionais do VANT.

6.1 Estratégias de construção

A construção do protótipo é realizada predominantemente pelos autores. Foram utilizadas técnicas manuais de corte, furação, fixação entre outros. Buscam-se obter conhecimentos antes das atividades realizadas, que são realizadas sempre na oficina mostrada na Fotografia 17.

Fotografia 17 - Oficina de trabalho



Fonte: Autoria própria (2023)

A construção do VANT enfrentou vários percalços, principalmente na construção do chassi. Inicialmente, foi projetado para os braços e as bases serem confeccionados em fibra de carbono. No entanto, o orçamento foi muito custoso e impossibilita seu prosseguimento. De maneira a contornar esse problema, decide-se por utilizar chapas e tubos de alumínio para substituir, uma vez que a compra desse material possibilita uso imediato. Essa mudança gera outras restrições, visto que

outros componentes, como os rotores, já são pré dimensionados para tubos de fibra de carbono com diâmetro específico, o que força adaptações ao sistema.

6.2 Protótipo 1

Este primeiro protótipo é construído baseando-se na Proposta 1, mostrada na seção 5.9.1.

6.2.1 Descrição

Para a união das peças de alumínio do trem de pouso, primeiramente buscase o processo de soldagem, utilizando equipamento comprado especificamente para alumínio. No entanto, a qualidade obtida ficou abaixo do especificado, não sendo o suficiente para unir as peças. Dessa maneira, a solução encontrada é utilizar parafusos M5 com rosca interna para as fixações das partes. Devido ao caráter adaptativo da situação, os parafusos ficaram levemente frouxos. Com isso, utiliza-se um reforço de resina epóxi para garantir a fixação com maior confiabilidade. A cada etapa de construção realizada no trem de pouso, avalia-se o nivelamento e as medidas, para garantir que o projeto original estava sendo seguido. Na Fotografia 18, está representada uma etapa da construção do chassi. Observam-se as adaptações realizadas nas fixações do trem de pouso, destacadas com círculos vermelhos.

Fotografia 18 - Construção do chassi e suas adaptações

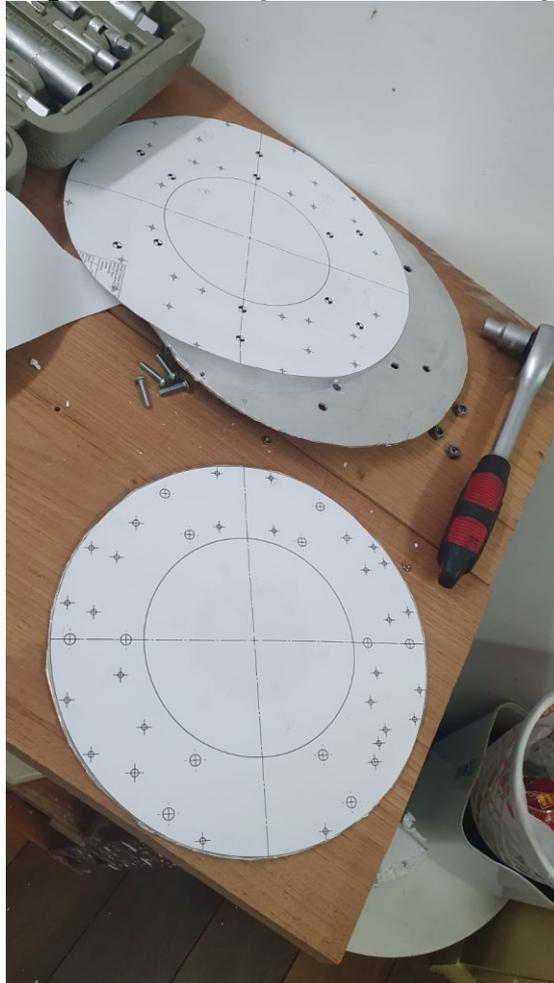


Fonte: Autoria própria (2023)

O projeto original dos braços de fixação dos motores ao corpo do VANT, não previa nenhum elemento auxiliar para fixação. Ainda que o projeto já fosse suficiente, foram modelados dois anéis e impressos em impressora 3D para garantir a precisão na fixação dos braços. Entretanto, a impressão 3D não ficou com qualidade satisfatória, mas peças impressas serviram de molde para o corte de isopor, utilizado para certificar a posição dos braços. Os parafusos passantes M6 forneceram a resistência necessária e posicionamento, evitando a rotação dos braços.

Na Fotografia 19, mostra-se a técnica utilizada para realizar a furação das chapas da estrutura. Projeta-se os locais de furação no *SolidWorks*, imprime-se em escala 1:1, cola-se o desenho nas chapas de alumínio e por fim, fura-se a chapa com as brocas definidas previamente para cada furo. É possível observar que além dos furos para fixação dos braços com os parafusos M6, já são projetados os furos para suporte dos sensores nas chapas.

Fotografia 19 - Marcação dos locais de furação



Fonte: Autoria própria (2023)

O diâmetro interno do tubo de conexão do motor e o diâmetro interno dos braços de alumínio, apresenta folga. Isso pelo fato de o motor demandar a utilização de tubo de 30 mm. Pelos problemas descritos, utiliza-se tubo de alumínio de 25,4 mm. Dessa maneira, a diferença entre os diâmetros é preenchida com calço. Da mesma forma que ocorre com o trem de pouso, a cada etapa é conferido o nível dos braços para garantir as dimensões corretas. E através de parafusos e furo central de guia, o motor é fixado, garantindo assim que os motores mantivessem o posicionamento correto.

Na Fotografia 20, é mostrado o processo de furação manual dos braços de ligação entre os motores e a estrutura do VANT.

Fotografia 20 - Furação dos componentes



Fonte: Autoria própria (2023)

Para o sistema de pulverização, é necessária a compra de um bico específico para tornar possível a utilização do tanque de dez litros virado para baixo. A adaptação

não apresentou resultado satisfatório, pois possuía vazamentos e não era capaz de suportar a pressão da bomba.

A compra dos motores foi realizada aos pares, isto é, foram feitas três compras em três lojas diferentes, para garantir que os motores fossem entregues. Até o momento do primeiro teste dois pares de motores chegaram e foram instalados com sucesso. O terceiro par de motores ficou retido na Receita Federal. Como explicado anteriormente, o VANT é dimensionado para conseguir voar com apenas quatro motores, ainda que com eficiência energética baixa, devido a maior potência necessária. No entanto, não foi possível a realização de vários testes planejados.

Na Fotografia 21 é apresentado o resultado final da construção do Protótipo 1. Observa-se que estavam presentes apenas quatro motores.

Fotografia 21 - Protótipo 1



Fonte: Autoria própria (2022)

6.2.2 Análise dos resultados do protótipo 1

O protótipo atende os requisitos testados de peso e resistência realizados no dia 14 de novembro de 2022, quando então após estes foi realizado o teste de voo com apenas quatro motores. Foi observado que o VANT não era capaz de se estabilizar naquelas condições, e na tentativa de decolagem o trem de pouso foi danificado, que já estava fragilizado devido a necessidade de adaptação de um parafuso do tipo M5. Nas Fotografia 22 é mostrado o dano ao trem de pouso em uma das fixações.

Fotografia 22 - Resultados do teste de voo

Fonte: Autoria própria (2022)

Na Fotografia 23, observa-se que um dos tubos do trem de pouso teve danos e rompeu todos os três pontos de fixação. Se romperam as fixações à estrutura que é ligada aos braços, à base das baterias e bomba de pulverização e também a base do trem de pouso.

Fotografia 23 - Danos na estrutura após teste de voo

Fonte: Autoria própria (2022)

Com a estrutura danificada é identificada a necessidade de retrabalhar o sistema de pouso, adicionando um método mais rígido e resistente a impactos locais. A estanqueidade do sistema de pulverização e localização da eletrônica também são retrabalhados, resultando em melhorias para o Protótipo 2.

6.3 Protótipo 2

Após a tentativa de voo anterior, o sistema de pouso do VANT é redesenhado para incluir conectores importados já utilizados em construções similares. Um sistema de suporte de garrafões PET comum é adaptado na estrutura. E o isopor entre os braços é removido para dar espaço para a eletrônica, que é protegida por uma camada de borracha para a isolar da estrutura metálica.

Na Fotografia 24, tem-se o conector intermediário, utilizado para suportar a chapa das baterias e bomba de líquido.

Fotografia 24 - Conector modelo intermediário



Fonte: Jiou (2023)

Na Fotografia 25 é apresentado o conector modelo T, utilizado para conectar as bases do trem de pouso à estrutura.

Fotografia 25 - Conector modelo T



Fonte: Jiou (2023)

Na Fotografia 26, é mostrado o conector do tipo flexível utilizado para conectar a estrutura do trem de pouso com a estrutura do VANT, uma vez que o trem de pouso necessita estar angulado.

Fotografia 26 - Conector modelo flexível



Fonte: Jiou (2023)

A montagem destes também inclui tubos de alumínio de maior diâmetro e menor comprimento. A estrutura dos pés fica mais rígida, e a liberação dos dois motores na alfândega permite a montagem completa do conjunto, de modo a ser testado em sua plena capacidade.

Na Fotografia 27, apresenta-se o trem de pouso concluído. É possível observar a utilização dos conectores. Além de ser notável o reforço estrutural quando comparado com o Protótipo 1.

Fotografia 27 - Trem de pouso do Protótipo 2

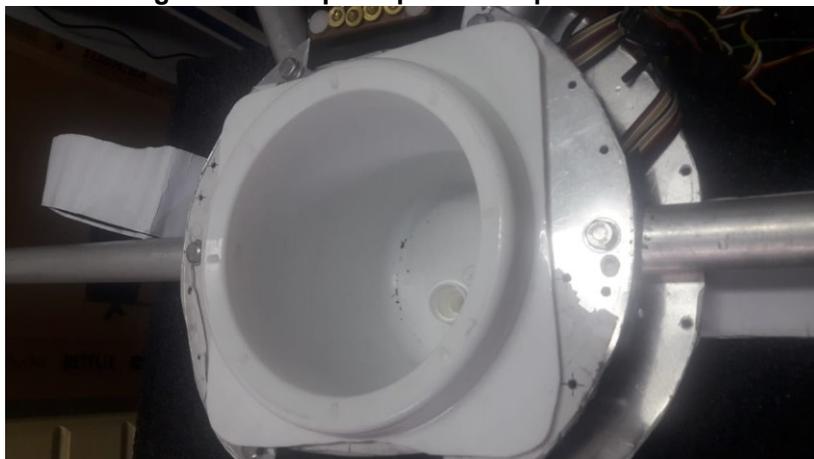


Fonte: A autoria própria (2023)

O reprojeto leva a novas análises de peso e testes de carga. Aproveitando-se a ocasião, é retrabalhada a conexão da fiação com os motores, a definição dos sensores e suas conexões e localização eletrônicas.

Na Fotografia 28, é mostrado o suporte para o galão de dez litros. É um suporte comercial que foi adaptado para se encaixar na estrutura existente.

Fotografia 28 - Suporte para o tanque reservatório



Fonte: A autoria própria (2023)

Dessa maneira, nas Fotografias 29 e 30, é mostrado a montagem completa do Protótipo 2 proposto. Observa-se agora a presença de todos os conjuntos de motores e hélices.

Fotografia 29 - Construção final do Protótipo 2 (vista frontal)



Fonte: Autoria própria (2023)

Fotografia 30 - Construção final do Protótipo 2 (vista em perspectiva)



Fonte: Autoria própria (2023)

6.4 Comparativo entre a proposta em CAD e o protótipo final

Com a finalização da construção do protótipo, analisa-se as diferenças entre o que foi projetado através da Proposta 2, e o que foi construído, o Protótipo 2.

Primeiramente, em relação a posição da bomba de líquido. Inicialmente foi projetada para ficar sobre a base das baterias. No entanto, devido a dificuldades de

ligação elétrica e também do tubo que sai do reservatório, decidiu-se montar a bomba sob a chapa. Essa mudança foi satisfatória, uma vez que todas as ligações foram realizadas sem problemas. Outra vantagem observada foi a facilidade de se esvaziar o reservatório, bastando apenas desconectar a tubo da bomba. Isso facilita a limpeza do tanque depois de cada utilização e evita o acúmulo de líquido no fundo.

Em relação as bases do trem de pouso. Na proposta foram desenhadas com uma curvatura, de maneira a evitar a interferência com a barra de pulverização. No entanto, durante a construção, observou-se que isso não seria um problema. E aliado com a dificuldade de realizar a dobra nos tubos de maneira manual, decidiu-se que as bases não teriam curvatura no protótipo final.

Outra mudança diz respeito aos vários sensores selecionados. Analisou-se que nesse momento não seria possível alocá-los na estrutura, principalmente devido as ligações elétricas necessárias. Os posicionamentos dos sensores foram definidos e já demarcados na estrutura. No entanto, a sua implementação ficará para trabalhos futuros.

6.5 Testes

Nesta seção, são descritos os testes realizados com o Protótipo 2, seus objetivos, o que se pretende medir, métodos, os resultados e as análises.

Os testes são divididos em dois grupos principais, os testes funcionais e testes de campo. Os funcionais são realizados em ambiente controlado, para avaliar o funcionamento dos diferentes módulos do VANT. Os testes de campo avaliam o funcionamento completo, em voo e pleno funcionamento, com a integração de todos os módulos.

Após cada teste, é possível realizar pequenas modificações e adaptações, de forma a aprimorar o conjunto. Além de obter informações relevantes para trabalhos futuros.

6.6 Planejamento dos testes

Com a construção finalizada, pretende-se realizar os testes funcionais. Primeiramente foram realizados testes preliminares para garantir o funcionamento básico de itens do projeto. Em seguida, os testes de voo e pulverização em ambiente controlado.

6.6.1 Testes preliminares

Após a finalização da construção do protótipo, são realizados testes em ambiente controlado de forma a avaliar o funcionamento dos motores e módulo de eletricidade em geral e da estrutura. Esses são testes preliminares, necessário para comprovar que o VANT é passível de realizar os outros testes e assegurar a segurança do protótipo.

6.6.1.1 Teste de motores e elétrica

Para esse teste, os seis motores são ligados à bateria através de ligações elétricas isoladas da estrutura metálica. Através do controlador de voo conectado a um computador, é possível ligar os motores e controlá-los através do *software*.

Esse primeiro teste é bem-sucedido, uma vez que todos os motores ligaram separadamente, responderam aos comandos de reduzir e aumentar a velocidade e por fim, quando ligados todos simultaneamente, funcionam todos corretamente conforme solicitado pelos operadores.

Em seguida, testa-se o funcionamento dos motores através do controle do VANT. Esse teste é essencial, uma vez que devido as hélices, o controle do dispositivo deve ser realizado à distância. Inicialmente, a tentativa não é bem-sucedida, devido ao sistema de segurança do controlador de voo. Com a correta instalação, o sinal é enviado corretamente para o VANT.

6.6.1.2 Teste de resistência da estrutura

Para garantir a rigidez da estrutura, de forma a possibilitar que o tanque de líquido de dez litros seja suportado corretamente, a estrutura é testada.

Para isso, empilha-se livros sobre a estrutura progressivamente, de cinco, dez, 15 e 20 kg, para avaliar a rigidez. Os livros são pesados utilizando uma balança doméstica. Sabendo que o projeto teve coeficiente de segurança de dois, foi utilizado até 20 kg no teste, duas vezes mais a massa máxima do tanque de líquido.

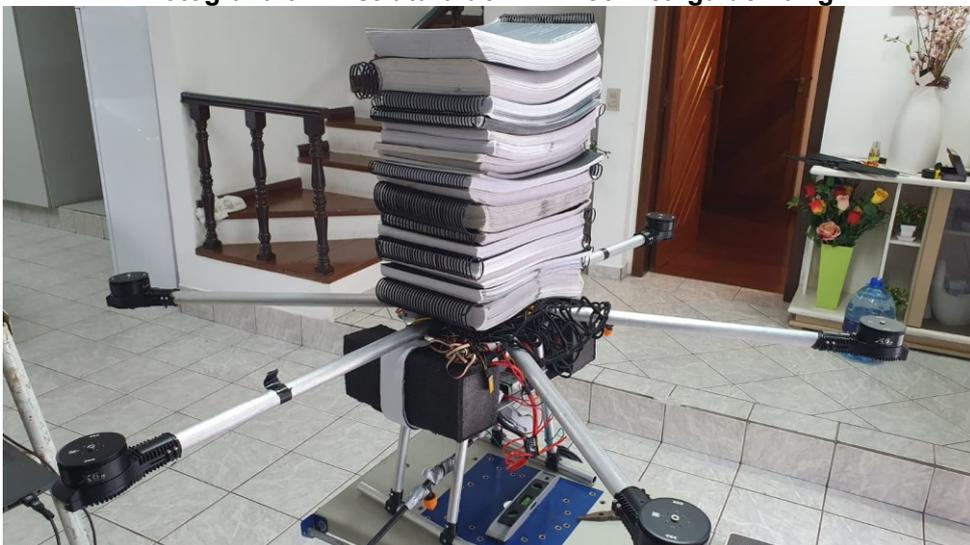
Nas Fotografias 31 e 32, tem-se imagens do teste, que comprovam que mesmo com as diferentes massas, a estrutura suportou adequadamente o peso, sem apresentar deformações aparentes.

Fotografia 31 - Estrutura do VANT com carga de 10 kg



Fonte: Autoria própria (2023)

Fotografia 32 - Estrutura do VANT com carga de 20 kg



Fonte: Autoria própria (2023)

Dessa maneira, conclui-se que o módulo estrutural está aprovado. E como os outros módulos principais também são aprovados, pode-se iniciar os testes preliminares, como descrito na próxima seção.

6.6.1.3 Teste de massa

O objetivo é avaliara a massa final do protótipo. Para isso, coloca-se o VANT em uma balança de chão, com uma placa de vidro para fornecer sustentação. Com o vidro, a balança foi zerada. A massa é medida com o protótipo sem carga. Na Fotografia 33, tem-se a configuração do teste.

Fotografia 33 - Aferição da massa do protótipo



Fonte: Autoria própria (2023)

O resultado obtido é de 15 kg, como observado na Fotografia 34.

Fotografia 34 - Resultado da aferição de massa



Fonte: Autoria própria (2023)

Dessa maneira, conclui-se que fica dentro do esperado, uma que analisando o *benchmarking*, os modelos que carregam dez litros de líquido possuem massa sem carga de 13 e 16 kg e a massa máxima esperado para o VANT desse projeto é de 25 kg. Com a utilização de materiais que propiciem a redução de massa, pode-se reduzir ainda mais a massa.

6.6.2 Testes funcionais

Depois dos testes preliminares, o passo seguinte é testar em ambiente controlado o funcionamento dos módulos do protótipo. O primeiro a ser testado é o conjunto de pulverização. O módulo de estrutura será testado durante o voo do VANT. Por fim, pretende-se realizar testes de integração, ou seja, unir o voo com a pulverização, último passo antes de realizar os testes de campo.

6.6.2.1 Testes do sistema de pulverização

Outro módulo essencial para o protótipo é o sistema de pulverização. Para comprovar seu funcionamento, são realizados diferentes testes, com variadas configurações, em ambiente controlado.

Como definido anteriormente, na seção de parâmetros de pulverização e voo, o fluído utilizado para testes é a água, a planta a ser testada é a soja, com um metro de altura e plantada em fileiras, espaçadas por 40 centímetros uma das outras.

Considerando-se uma largura de pulverização de nove metros, com bicos pulverizadores com abertura de 90°, tem-se que a altura de voo para pulverizar os nove metros é de cerca de 3,15 metros, onde teoricamente poderá pulverizar 22,5 fileiras de soja.

Assim, o objetivo desse teste é medir a largura de pulverização, simulando o VANT em voo com diferentes vazões.

Testa-se o sistema de pulverização com o VANT estacionário e os bicos distantes 3,15 metros de altura do solo, para simular um sobrevoo sobre a soja. No chão, estende-se papel do tipo Kraft, que absorve bem a água. Dessa maneira, pode-se avaliar se a pulverização atingiu a distância horizontal teórica de nove metros. Também, examina-se se a pulverização foi homogênea, ou seja, se as folhas pulverizadas recebem quantidade similar de produto ou se a molhabilidade é adequada.

Para isso, instala-se o VANT com os bicos pulverizadores a uma altura de 3,5 metros e estendeu-se o papel Kraft no chão, conforme a Fotografia 35.

Fotografia 35 - Montagem do teste de pulverização



Fonte: Autoria própria (2023)

O teste ocorreu com algumas dificuldades, uma vez que com a vazão máxima que a bomba pode oferecer, o sistema de pulverização não suportou e os bicos se soltaram. Dessa maneira, não foi possível testar com a vazão máxima. Assim, fica evidente que o sistema de pulverização comercial utilizado, não é o mais indicado para essa aplicação.

Dessa maneira, reduziu-se a vazão para cerca de dois terços da máxima, uma vez que assim, a pulverização ocorre normalmente, sem danos no sistema. A vazão foi medida conforme o tempo necessário para esvaziar o tanque de líquido. Chegou-se a um valor de 1,22 L/min. É um valor abaixo de todos os analisados no *benchmarking*, que variam de 1,5 a 8 L/min.

Com esses parâmetros definidos, obteve-se no teste que a largura de pulverização foi de oito metros, sendo cinco metros para o lado direito e três metros para o esquerdo, devido aos efeitos do vento no sentido do lado direito.

No papel Kraft, ficou explícita a diferença entre a parte molhada e a seca. Formaram-se gotas que definiram bem a fronteira de pulverização, conforme imagens dos resultados na Fotografia 36.

Fotografia 36 - Resultados da pulverização no papel Kraft



Fonte: Autoria própria (2023)

Desse teste, pode-se concluir que o resultado de oito metros de largura de pulverização não alcançou o teórico de nove metros. O motivo principal foi a impossibilidade de trabalhar com a vazão máxima fornecida pela bomba. No entanto, o resultado é satisfatório e comprovou o funcionamento do sistema.

Considerando que a velocidade de voo teórica é de 7 m/s, e a largura de pulverização indicada pelo teste é de oito metros, conclui-se que o VANT é capaz de pulverizar um hectare em cerca de 180 segundos, considerando um voo em linha reta e velocidade constante.

Desejava-se analisar a densidade de gotas, parâmetro importante na pulverização, conforme a Figura 2 e Quadro 1. Uma vez que a densidade de gotas é dependente da pressão gerada pela bomba e não foi possível se aferir essa pressão, por conta de o sistema não suportar, não foi possível realizar essa medição.

Foi produzido um vídeo que mostra as etapas do teste de pulverização. O vídeo está disponível na plataforma YouTube e pode ser acessado através do link: <https://youtube.com/shorts/gj579vNodiQ>.

6.6.2.2 Testes de voo

Após a finalização de toda a parte estrutural e ligações elétricas, testa-se em ambiente controlado o voo do VANT. Com isso, espera-se obter a confirmação do funcionamento dos conjuntos motores e hélices, e se são capazes de fazer o sistema levantar voo. Esse teste é essencial para os próximos testes a serem realizados.

Em um lugar amplo e aberto longe de terceiros para garantir a segurança, apresentado na Fotografia 37, pretendeu-se levantar voo.

Fotografia 37 - Local do teste de voo



Fonte: Autoria própria (2023)

Primeiramente, o galão de dez litros cheio é acoplado a estrutura. No entanto, quando tentava-se alçar voo, os motores deligavam com altas rotações. Isso se deve a um problema de configuração da controladora de voo. Problema esse que não foi corrigido.

Dessa maneira, testa-se o voo da estrutura sem carga. O protótipo se mostrou instável quando tentava voar. Assim que saiu do solo, o VANT sofreu uma queda logo em seguida. Os componentes não sofreram danos, porém parou-se para analisar os motivos do insucesso.

Na Fotografia 38, observa-se que o VANT conseguiu sair aproximadamente 15 cm do chão. No entanto, logo em seguida, na Fotografia 39, o protótipo perde completamente a estabilidade e sofre a queda.

Fotografia 38 - VANT levantando voo



Fonte: Autoria própria (2023)

Fotografia 39 - VANT perdendo estabilidade durante o voo



Fonte: Autoria própria (2023)

Em virtude de problemas de dificuldades na configuração, notou-se que as hélices não estavam sincronizadas, ou seja, cada uma apresentava velocidade diferente das demais. Esse é o motivo da instabilidade observada.

Foi realizado um vídeo da tentativa de voo do protótipo que não se obteve sucesso. O vídeo mostra o VANT sem estabilidade para voar, e em seguida uma queda logo após de sair do solo. O vídeo está disponível na plataforma YouTube e pode ser acessado através do link: <https://youtu.be/iO6kDiLz2vQ>.

6.6.2.3 Testes de bateria

O objetivo desse teste é medir quanto tempo a bateria dura com o VANT em voo. Isso é importante, uma vez que é necessário saber esse tempo para estimar quantas missões o VANT pode realizar. Ou seja, quantas vezes o protótipo pode pulverizar até esvaziar o tanque, retornar para a base, reabastecer com o produto e pulverizar novamente antes que a bateria acabe.

A ideia inicial seria aferir esse tempo com o VANT voando com a carga completa de dez litros, e sem carga. No entanto, como observado na seção anterior, não foi possível manter o protótipo em voo estável. Assim, impossibilitou-se a medição desejada.

O teste realizado se dá com o VANT estacionário, sem as hélices e com os seis motores trabalhando com a máxima potência. As duas baterias foram carregadas com 100% da carga para iniciar o teste. O tempo para que o protótipo desligasse por completo, foi de 40 minutos e 46 segundos.

Através das análises do *benchmarking*, tem-se que o tempo de voo sem carga varia entre 15 e 20,5 minutos. Dessa maneira, conclui-se que o consumo de bateria é maior com o VANT em voo quando comparado ao protótipo estacionário com os motores trabalhando com potência máxima.

6.7 Conclusões dos testes

Como observado, não se conseguiu realizar o voo do VANT com estabilidade. Dessa maneira, não foi possível realizar testes de campo em uma lavoura, onde seria pulverizado líquido durante o voo, simulando a utilização real do protótipo.

No próximo capítulo é feito o fechamento do projeto, com as conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Depois de realizada a construção e testes do protótipo, é apresentado nesse capítulo as conclusões do projeto e os potenciais trabalhos futuros.

7.1 Conclusões

Com a finalização do projeto, aprendeu-se que, juntamente com a agricultura, a utilização de VANTs agrícolas está em pleno crescimento no Brasil e no mundo. Várias variáveis para a pulverização foram estudadas.

Através do *benchmarking* e da busca de patentes, conheceu-se mais a respeito dos modelos já existentes no mercado. E juntamente com as pesquisas realizadas com agricultores, produziu-se as especificações de produto, de onde obtiveram-se ideias e conceitos primordiais para a seleção de componentes e o desenvolvimento de propostas.

Assim, selecionaram-se as soluções para todos os módulos do sistema, de forma a atingir o resultado ideal. Com as ideias e soluções propostas, realizou-se o dimensionamento e construção dos protótipos.

Analisando o primeiro protótipo construído, entendeu-se que não era satisfatório, sendo necessário a realização de nova proposta e nova construção. Em seguida, testou-se esse protótipo final. Aprendeu-se que a pulverização pode alcançar uma faixa de oito metros, sendo que o ideal teórico seria de nove metros.

Conclui-se também dos testes, que em algumas ocasiões, produtos *off-the-shelf*, como a barra e bicos de pulverização adquiridos, podem não ser a escolha ideal isso porque podem apresentar falhas durante sua utilização.

O projeto abrangeu diversas áreas do conhecimento, através da interdisciplinaridade. Aprendeu-se vários novos conceitos em maneiras da fabricação ao longo do projeto preliminar e construção do protótipo.

Vários pontos do projeto podem ser melhorados, sendo necessário conhecimentos aprofundados de outras disciplinas. A implementação de outras tecnologias, de forma a se diferenciar dos VANTs já existentes no mercado. Essas possíveis melhorias serão descritas na próxima seção, as recomendações para trabalhos futuros.

Após a conclusão do projeto, construção e testes, analisa-se os resultados gerais do trabalho. O objetivo geral é desenvolver projeto e protótipo tipo prova-de-

conceito, de um sistema de pulverização agrícola baseado em VANTs. Pode-se concluir que o objetivo foi parcialmente alcançado. O protótipo foi construído e testado. Tem-se que até o presente momento, não foi possível realizar voo estável com o protótipo. No entanto, essa adversidade foi causada por problemas de configuração do controlador de voo, que está fora da alçada da engenharia mecânica e requer conhecimentos mais amplos de programação e aviação para ser solucionado.

7.2 Recomendações para trabalhos futuros

Para os trabalhos futuros, buscar-se-á melhora do projeto atual, tanto no projeto em si, como na aplicação de novos atributos e tecnologias, de forma a melhorar constantemente o protótipo e buscar se diferencial dos modelos já existentes.

Como forma de aliviar massa, planeja-se projetar a estrutura do protótipo em fibra de carbono.

Deseja-se instalar no protótipo todos os sensores, que inclusive já foram adquiridos e projetados para serem acomodados no protótipo.

Para proteger todos os componentes eletrônicos e sensores, deseja-se projetar e construir uma carenagem para o VANT. Uma vez que trabalha com a pulverização de líquidos, esse item é essencial para evitar contato de líquidos com os eletrônicos.

Com as câmaras adquiridas, planeja-se colocar em prática o sistema NVDI, que possibilita a identificação de áreas doentes dentro de uma lavoura. Dessa forma, o mesmo VANT realiza o mapeamento e a pulverização da área afetada. Essa seria uma diferenciação dos modelos existentes, que muito provavelmente seria bem aceita pelo mercado agrícola.

Outra tecnologia que se deseja aplicar ao projeto, é a utilização da pulverização eletrostática, que possibilitará a melhora da taxa de deposição das gotas nas folhas. Com a utilização de chapas de metal, os eletrostatos, alimentadas por uma alta tensão de 33 kV. Devido a essa elevada tensão, esse atributo não foi realizado no presente trabalho, até por motivos de segurança. Dessa maneira, para trabalhos futuros, deseja-se estudar e projetar com segurança um sistema de pulverização eletrostática. Isso permitiria um aumento considerável da molhabilidade vegetal, isso é, a quantidade de gotas por folhas.

Por fim, deseja-se atender todos os requisitos legais aplicáveis aos VANTs de pulverização, de maneira a tornar o projeto comercializável economicamente.

Esse é um tema de grande importância e atrai a atenção de empresas e agricultores, por isso, o desenvolvimento contínuo e aplicação de novas tecnologias é visto com grande potencial.

REFERÊNCIAS

AG EVOLUTION. Drone reduz até 96% uso de água na pulverização de pastos. **Canal Rural**, 2020. Disponível em: <https://agevolution.canalrural.com.br/drone-reduz-ate-96-uso-de-agua-na-pulverizacao-de-pastos/>. Acesso em: 14 out. 2022.

AGROADS. **Pulverizador turbo 700 R linha frutas**. 2022. Disponível em: https://www.agroads.com.br/pulverizador-turbo-700-r-linha-frutas_77005.html. Acesso em: 20 mai. 2022.

AGRO ADVANCE. **Defensivos agrícolas**: Cinco moléculas mais comercializadas no Brasil em 2020. 2022. Disponível em: <https://agroadvance.com.br/cinco-defensivos-agricolas-mais-comercializados/>. Acesso em: 20 abr. 2022.

AGRIEXPO. **Trailed sprayer Quartz ECO AFL**. 2022. Disponível em: <https://www.agriexpo.online/prod/farmgem/product-175235-50115.html>. Acesso em: 20 mai. 2022.

AMIANTI, G. **Aeronave remotamente pilotada destinada a atividades de aerolevante e pulverização e sistema de aerolevante e pulverização**. Depositante: XMOBOTS AEROESPACIAL E DEFESA LTDA. WO2021/2434428/A1. Depósito: 17 mai. 2021. Concessão: 9 dez. 2021.

ANDEF - Associação Nacional De Defesa Vegetal. **Manual De Tecnologia De Aplicação De Produtos Fitossanitários**. Jd. Paulistano, 2010.

BASTOS, T. R. **15 usos de drones na agricultura e na pecuária**. Globo Rural, 2015. Disponível em: <https://globorural.globo.com/Noticias/Pesquisa-e-Tecnologia/noticia/2015/05/15-usos-de-drones-na-agricultura-e-na-pecuaria.html>. Acesso em: 9 jun. 2023.

CARVALHO, D; RODRIGUES, L. **Aviação Agrícola: Perigo no Céu e na Terra. Metrôpoles**, 2019. Disponível em: <https://www.metropoles.com/materias-especiais/aviacao-agricola-no-brasil-setor-cresce-a-sombra-de-acidentes-e-agrotoxicos>. Acesso em: 3 mai. 2022.

CEPEA, Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. PIB do agronegócio brasileiro. **Relatório Anual**. 2022. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acesso em: 20 abr. 2022.

CENIPA, Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. **Aviação agrícola**: sumário estatístico 2010-2019. Brasília, 2020.

CHAIM, A. **Manual de tecnologia de aplicação de agrotóxicos**. Embrapa Meio Ambiente, 2009.

CHAIN, A; WADT, L. G. R. **Pulverização eletrostática**: a revolução na aplicação de agrotóxicos. Embrapa Meio Ambiente, 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2615385/artigo---pulverizacao-eletrostatica-a-revolucao-na-aplicacao-de-agrotoxicos>. Acesso em: 3 nov. 2022.

CHAMOLA, V.; KOTESH, P.; AGARWAL, A.; GUPTA, N.; GUIZANI, M.; NAREN, N. A. **Comprehensive Review of Unmanned Aerial Vehicle Attacks and Neutralization Techniques**. Ad Hoc Networks, 2020. DOI 10.1016/j.adhoc.2020.102324.

DAVIES, B. **Build a Drone: A Step-by-Step Guide to Designing, Constructing, and Flying Your Very Own Drone**. Skyhorse, 2016.

DRONE FLYING PRO. **How does a drone change Direction?**. 2022. Disponível em: <https://droneflyingpro.com/how-does-a-drone-change-direction/>. Acesso em: 25 abr. 2022.

EMBRAPA. **Boas práticas agrícolas: Aplicação de Agrotóxicos e Meio Ambiente**. 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/10180/13599347/ID19.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2022.

EMBRAPA. **Documentos 102: Tecnologia de Aplicação de Defensivos Agrícolas**. Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, 2006. ISSN 1667-1915.

EMBRAPA. **Sistemas de Produção: Tecnologias de produção de soja**. Embrapa Soja, Londrina, 2020. ISSN 2176-2902.

EMBRAPA. **Sistema para eletrificação de bicos hidráulicos**. Embrapa Meio Ambiente, 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/2894/sistema-para-eletrificacao-de-bicos-hidraulicos->. Acesso em: 10 abr. 2022.

EMBRAPA. **Soja: Característica da soja**. Embrapa Soja, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/pre-producao/caracteristicas-da-especie-e-relacoes-com-o-ambiente/caracteristicas-da-soja#:~:text=A%20estatura%20das%20plantas%20varia,e%2C%20consequentemen te%2C%20seu%20ciclo>. Acesso em: 26 abr. 2023.

FAVERIN, V. Quanto custa a pulverização por drones? Tecnologia ganha espaço nas lavouras do país. **Canal Rural**, 2022. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/projeto-soja-brasil/pulverizacao-drone-preco-aplicacao-hectares-soja-milho/>. Acesso em: 5 mai. 2022.

FERTIGEO. **Drone pulverizador: tudo sobre os drones para pulverização**. 2018. Disponível em: <https://www.fertigeo.com.br/tecnologia/estar-mais-proximo-significa-pensar-no-futuro-do-agronegocio/>. Acesso em 14 out. 2022.

GOERL, E. da C.; SILVEIRA, C. C. **Veículo aéreo não tripulado (vant), usado para atividade agrícola e aplicação de pesticidas e fertilizantes**. Depositante: Eduardo da Costa Goerl; Cristiano Camara da Silveira. WO 2015/161352 A1. Depósito: 22 abr. 2015. Concessão: 29 out. 2015.

HANGAR MMA. **CTOL**. 2022. Disponível em: <https://hangarmma.com.br/glossary/glossary-categories/ctol/>. Acesso em: 9 jun. 2023.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Rio de Janeiro, IBGE, 2019.

JACTO. **Uniport 2030**. Disponível em: <https://jacto.com/brasil/products/pulverizadores-automotrizes/uniport-2030>. Acesso em: 20 mai. 2022.

JINJIUYI. **Agriculture drone frame factory custom carbon fiber drone frame**. 2022. Disponível em: <https://www.jinjiuyi.net/fpv-drone-frame-cutting/agriculture-drone-frame-factory-custom-carbon-fiber-drone-frame.html>. Acesso em: 26 set. 2022.

JIOU. **Dongguan jiou model airline Co. Ltd**. Disponível em: <https://pt.aliexpress.com/store/4610047>. Acesso em 2 jun 2023.

JÚNIOR, D. Café brasileiro atinge 40% de participação no mercado global em 2020. **Canal Rural**, 2021. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/programas/informacao/direto-ao-ponto/cafe-brasileiro-atinge-40-de-participacao-no-mercado-global-em-2020/>. Acesso em: 25 abr. 2022.

KELLY, M. R.; COHEN, R. A. The effects of an herbicide and antibiotic mixture on aquatic primary producers and grazers. **Bulletin of environmental contamination and toxicology**. v. 101, n. 5, p. 556-561, 2018. DOI 10.1007/s00128-018-2451-0.

MAPPA. **GPS RTK OU PPK: qual usar em mapeamentos com drones?**. 2021. Disponível em: <https://mappa.ag/blog/gps-rtk-ou-ppk-qual-usar-com-drones/>. Acesso em: 20 out. 2022.

MFRURAL. **Kit de barras hidráulicas para pulverizadores**. 2019. Disponível em: <https://www.mfrural.com.br/detalhe/98624/kit-de-barras-hidraulicas-para-pulverizadores>. Acesso em: 20 mai. 2022.

MHEREB, G. de A. **Aviação Agrícola No Brasil: Caracterização, Invisibilização e Debates**. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2017.

MILLETT, P. Brushless vs brushed DC motors: when and why to choose one over the other. **MPS**, 2021. Disponível em: <https://www.monolithicpower.com/en/brushless-vs-brushed-dc-motors>. Acesso em: 2 nov. 2022.

MIRANDA, R. A. **Breve história da agropecuária brasileira**. Embrapa, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1122598/breve-historia-da-agropecuaria-brasileira>. Acesso em: 15 mai. 2022.

MOGILI, U. R.; DEEPAK, B. B. V. L. Review on application of drone systems in precision agriculture. **Procedia Computer Science**, v. 133, p. 502-509, 2018.

MOL, R. **Introdução aos drones: O que são e como funcionam os drones?** Fileflop. FILIPEFLOP, 2020. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-como-funciona-um-drone/>. Acesso em: 28 set. 2022.

NACHILUK, K. Alta na Produção e Exportações de Açúcar Marcam a Safra 2020/21 de Cana. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 16, n. 6, jun. 2021, p. 1-5. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=15925>. Acesso em: 25 abr. 2022.

NUTRIÇÃO DE SAFRAS. Tabela de extração e exportação dos nutrientes na cultura da soja. **Nutrição de Safras**, 2019. Disponível em: <https://nutricaoodesafras.com.br/tabela-de-extracao-e-exportacao-dos-nutrientes-na-cultura-do-soja>. Acesso em: 20 mai. 2023.

PAHL, G. et al. **Projeto na engenharia**. 1ª. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 2005.

RICHTMANN, P. C. De onde vem os drones? **Drone Universe**, 2019. Disponível em: <http://droneuniverse.com.br/historia-dos-drones/>. Acesso em: 13 mai. 2022.

ROHDEN, J. Sem fiscalização adequada, cresce uso de drones para aplicar agrotóxicos. **Repórter Brasil**, 2022. Acesso em: 15 mai. 2022.

RURAL PECUÁRIA. 15 funções de drones na agricultura e pecuária.

SADRAEY, M. H. **Aircraft Design: A Systems Engineering Approach**. New Hampshire: Wiley, 2012.

SNP, Spray Nozzle People. **What's in a spray?**. 2021. Disponível em: <https://www.spray-nozzle.co.uk/docs/default-source/default-document-library/whats-in-a-spray.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2022.

SBCS, Sociedade Brasileira de Ciência de Solo. **Manual de Manejo e Conservação do Solo e da Água para o Estado do Paraná**. 1. ed. Curitiba, 2019.

SUGAYAMA, R. L.; SILVA, M. L.; SILVA, S. X. de B.; RIBEIRO, L. C.; RANGEL, L. E. P. **Defesa vegetal: fundamentos, ferramentas, políticas e perspectivas**. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Defesa Agropecuária, 2015.

SUROWIECKI, T. **The wisdom of crowds**. 2004.

ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. **Product design and development**. 5. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill, 2012.

VYAS, K. A brief history of drones: the remote controlled unmanned aerial vehicles (UAVs). **Interesting Engineering**, 2020. Disponível em: <https://interestingengineering.com/a-brief-history-of-drones-the-remote-controlled-unmanned-aerial-vehicles-uavs>. Acesso em: 13 mai. 2022.

WOLF, T. **The Challenges of Spraying by Drone**. 2019. Disponível em: <https://sprayers101.com/challenges-drone/>. Acesso em: 5 mai. 2022.

ZAMBOLIM, L.; CINTRA, W. J. J.; LIPARINI, O. P. O Essencial de fitopatologia: **Agentes Causais**. v. 1, 2010.

APÊNDICE A - Questionário de pesquisa

Este apêndice contém o questionário da pesquisa realizada, conforme a Seção 3.1.

Nome: _____

Cidade: _____ Estado: _____

1) A área de sua maior lavoura é de:

- a) Menos de 10 ha
- b) De 10 a menos de 100 ha
- c) De 100 a menos de 300 ha
- d) De 300 a menos de 1000 ha
- e) De 1000 ha a mais

2) Qual é a cultura predominante?

- a) Algodão
- b) Amendoim
- c) Arroz
- d) Aveia
- e) Batata-Inglesa
- f) Café
- g) Cana-de-açúcar
- h) Cebola
- i) Centeio
- j) Cevada
- k) Feijão
- l) Fumo
- m) Mamona
- n) Mandioca
- o) Milho
- p) Soja

q) Sorgo

r) Trigo

3) Quais os cuidados aplicados?

a) Adubação

b) Pulverização

c) Irrigação

d) Poda

e) Escoramento

f) Penteamento das ramas

g) Rotação de culturas

4) No último cultivo quantas vezes foi feita a pulverização nesta lavoura?

a) Nenhuma vez

b) Uma vez

c) Duas ou três vezes

d) De 4 a 10 vezes

e) Mais de 10 vezes.

5) Qual foi o meio de pulverização?

a) Manual/pulverizador costal

b) Trator acoplado

c) Pulverizador auto propelido

d) Avião

e) Drone

6) Sobre pulverização, enumere em ordem de importância:

Rapidez na aplicação

Eficiência de cobertura nas folhas e ramos

Precisão no voo durante a aplicação no cultivo

() Versatilidade

() Facilidade de uso

7) Você conhece ou já operou drones?

a) () Sim

b) () Não

8) Você conhece/já viu algum dos usos abaixo para drone na agricultura? (pode marcar vários)

a) () Mapeamento e Agrimensura

b) () Controle da saúde do cultivo

c) () Monitoramento de criação

d) () Encontrar falhas de cultivo

e) () Detecção de pragas

f) () Aplicação de pesticidas

g) () Monitoramento da irrigação.

h) () Semeadura

i) () Controle biológico

j) () Segurança e observação

k) () Obter imagens aéreas

l) () Amostragem de solo

m) () Pulverização em árvores

n) () Adubação foliar

9) Segundo sua experiência, qual o fator que mais limita a aplicação com drones?

a) () Capacidade de carga

b) () Velocidade de voo

c) () Vazamentos

d) () Precisão no voo

- e) Cobertura de folha
- f) Tempo de voo
- g) Alcance
- h) Dependência do clima
- i) Ruído
- j) Dificuldade de uso

10) Qual capacidade que mais deseja 'ver aplicada num drone agrícola (pode marcar vários)

- a) Voar sem piloto
- b) Voar em grupo
- c) Pulverizar toda a planta incluindo o tronco de arvores e abaixo das folhas.
- d) Realizar semeadura
- e) Aplicar fertilizante granulado
- f) Avaliar a saúde da planta por imagem NDVI, NDRE, ou CCCI.
- g) Encontrar falhas na linha de cultivo
- h) Amostrar solo
- i) Aplicar controle biológico
- j) Agrimensor
- k) Monitorar animais e insetos
- l) Marcar leite
- m) Cobrir larga área por voo
- n) Mapear nutrientes no solo

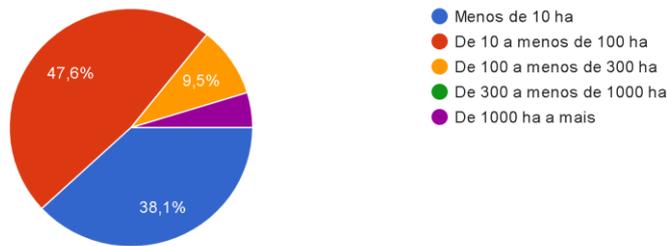
11) Existe mais alguma característica que não foi citada e que gostaria de adicionar no drone?

APÊNDICE B - Análise das respostas ao questionário

Neste apêndice apresentamos as respostas obtidas através do questionário que esteve aberto ao longo dos dias 17/05/2022 à 21/05/2022. Todas as perguntas obtidas pessoalmente, ou via papel foram transpostas para o questionário online, que se utilizou da ferramenta google docs para ser realizado. Não foi coletado informações pessoais dos que responderam online.

Gráfico 5 – Área de maior lavoura

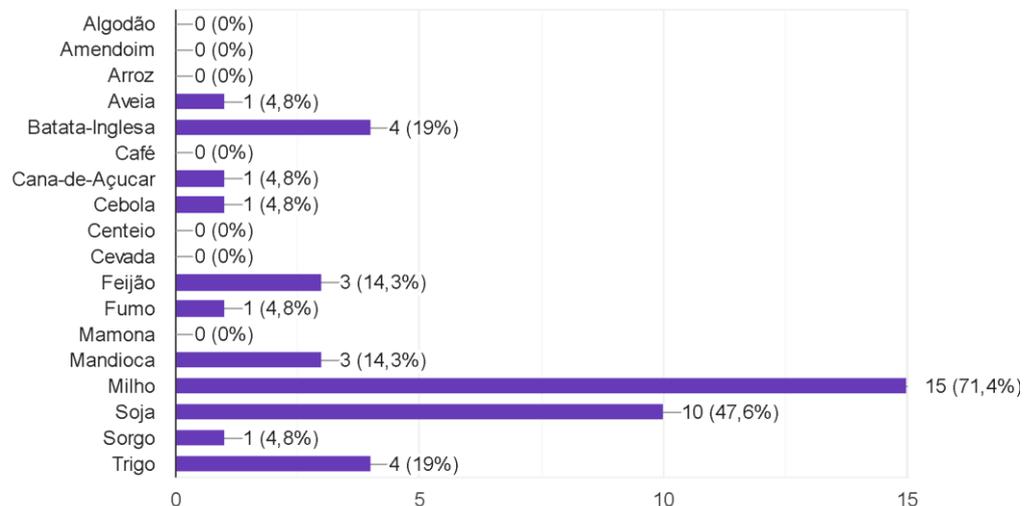
A área de sua maior lavoura é de:
21 respostas



Com esta pergunta percebe-se que a maioria dos respondentes possui lavouras de pequeno e médio porte. Parte considerável destes são os produtores que vendem nas feiras do hortifruti da prefeitura de Curitiba. A distribuição dos dados é similar a dada pelo IBGE.

Gráfico 6 – Cultura predominante na lavoura

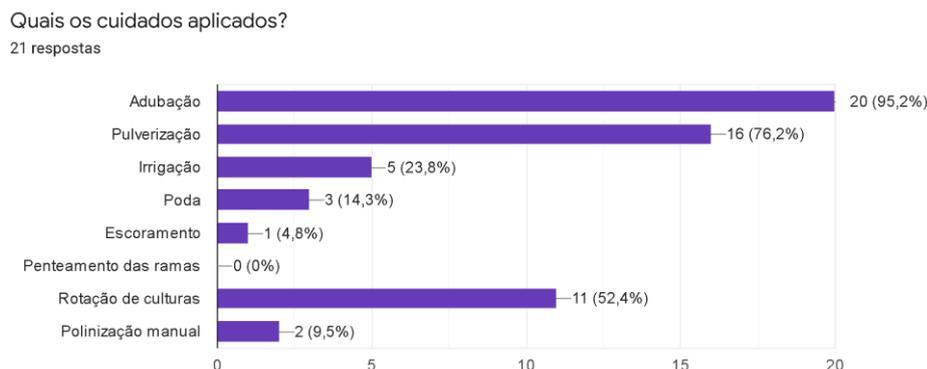
Qual é a cultura predominante?
21 respostas



A cultura predominante nas lavouras é o milho seguido pela soja, trigo e batata. Esta medida reflete a época da pesquisa, caracterizada pelo período de outono em que se está cultivando o milho safrinha. O manual de cultivo e manejo do solo do

estado de Paraná recomenda a rotação e culturas trianual na figura 1, com o milho ocupando no máximo dois dos anos da rotação e Sorgo um. Esta informação, contudo, conflita com o dado coletado de que para quinze plantações de milho, apenas uma de sorgo está presente. Era esperado que os valores estivessem na proporção de dois para um ou próximo a isto.

Gráfico 7 – Cuidados aplicados na lavoura



Aqui percebe-se que a adubação é o cuidado mais utilizado pelas diversas culturas, sendo quase onipresente. Seguindo isto, pulverização é aplicado por 71% dos respondentes. A capacidade de adubação foliar e a pulverização mostram que quase a totalidade dos agricultores pode se beneficiar com avanços tecnológicos na área da pulverização agrícola. É interessante ressaltar que metade dos agricultores diz praticar rotação de culturas.

Gráfico 8 – Quantas vezes foi pulverizado esta lavoura no último cultivo



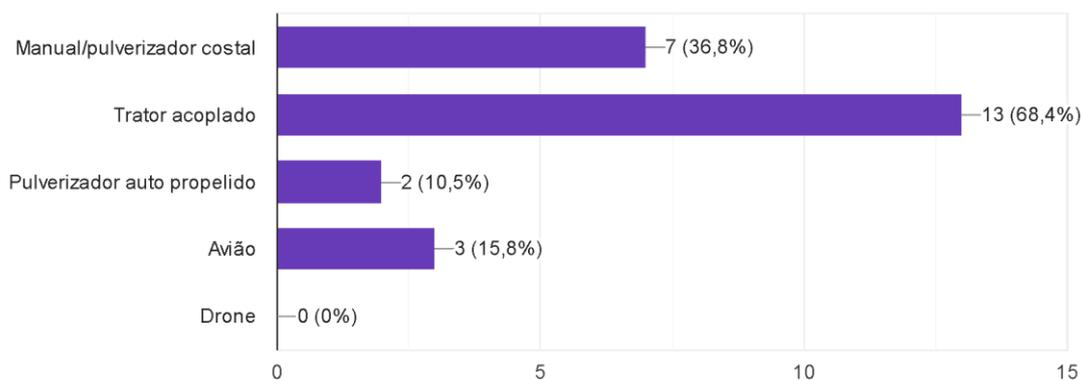
O resultado desta pergunta foi surpreendente a tal ponto que se justifica uma alteração nos critérios de pesquisa. A enorme prevalência da faixa entra 4 a 10 pulverizações por lavoura mostra que o agricultor brasileiro sofre com pragas, e requer

o serviço de pulverização de maneira constante e consistente. Isto pode ser reflexo do manejo do solo, visto que apenas metade admitiram realizar rotação de culturas, mas a disparidade entre os cultivos de milho e sorgo mostra que tal número pode ser ainda muito mais baixo, e as consequências incluem maior contaminação do solo e maior necessidade de pulverização contra pragas agrícolas.

Gráfico 9 – Qual foi o meio utilizado para pulverização

Qual foi o meio de pulverização?

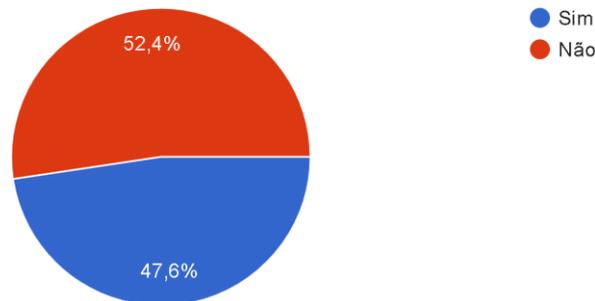
19 respostas



Este gráfico mostra que o método do trator acoplado é o mais utilizado pelos agricultores consultados. Esta informação combina tanto com o perfil das lavouras de pequeno e médio porte que não requerem utilização de modelos com maior capacidade e com o fato que dentro das cinco regiões que responderam ao questionário, as cinco apresentam relevo acidentado, dificultando o uso de maquinário agrícola e pulverização aérea. A pulverização com VANT, contudo, que tanto pode privilegiar este tipo de lavoura e relevo não foi usada por nenhum dos respondentes, indicando que existe uma oportunidade para crescimento desta modalidade

Gráfico 10 – O entrevistado conhece ou já operou drones?

Você conhece ou já operou drones?
21 respostas



A maioria das pessoas indica não ter familiaridade com o uso de VANT para nenhuma das atividades agrícolas. Dado que o uso destes só começou a se popularizar mais recentemente, este gráfico indica que ainda existe uma curva de apresentação e conhecimento até que a ferramenta passe a ser mais adotada.

Quadro 4 – Segundo sua experiência, o que limita a aplicação com drones?

Quem limita o uso de um drone?	n° Respostas
Necessidades do cliente	
Capacidade de carga	10
Velocidade de voo	0
Vazamentos	0
Precisão no voo	2
Cobertura de folha	2
Tempo de voo	7
Alcance	1
Dependência do clima	5
Ruído	0
Dificuldade de uso	5

Esta resposta de múltiplas opções mostrou que a capacidade de carga, tanto de material como de tempo de voo é o limitante crítico para o uso de VANTs. Número similar de agricultores que diz conhecer VANTs considera a capacidade de carga limita o uso desta ferramenta. Além disso a dependência do clima para uso do VANT e a dificuldade de uso são aspectos que não podem ser relegados no uso das máquinas, sendo apontados por quase um quarto dos respondentes.

Quadro 5 – Você conhece algum dos usos abaixo para drone na agricultura?

	Necessidades do cliente	n° Respostas
Como viu o drone ser usado?	Mapeamento e Agrimensura	5
	Controle da saúde do cultivo	1
	Monitoramento de criação	6
	Encontrar falhas de cultivo	1
	Deteção de pragas	4
	Aplicação de pesticidas	6
	Monitoramento da irrigação.	5
	Semeadura	1
	Controle biológico	7
	Segurança e observação	1
	Obter imagens aéreas	7
	Amostragem de solo	1
	Pulverização em árvores	7
	Adubação foliar	4

Neste quadro percebe-se que o uso de VANTs, para aqueles que o conhecem, é bem diversificado. Sabendo que apenas dez pessoas indicaram estarem familiarizadas com o uso de VANT agrícola, o número alto de usos para controle biológico, pulverização em árvores, obtenção de imagens aéreas e de aplicação de pesticidas contrasta com a ausência de pessoas que dizem ter usado tal métodos em suas lavouras. Isso pode se dever a uma indisposição com o método ou uma falta de oportunidade para tal.

Quadro 6 – Qual capacidade que mais deseja aplicada num drone agrícola?

	Necessidades do cliente	n° Respostas
O que deseja ver aplicado no drone?	Voar sem piloto	5
	Voar em grupo	1
	Pulverizar toda a planta	3
	Realizar semeadura	4
	Aplicar fertilizante granulado	6
	Avaliar a saúde da planta	3
	Encontrar falhas na linha	1
	Amostrar solo	2
	Aplicar controle biológico	4
	Agrimensor	2
	Monitorar animais e insetos	11
	Marcar leite	2
	Cobrir larga área por voo	3
	Mapear nutrientes no solo	4

Nesta pergunta observa-se a vontade dominante de utilizar VANTs para monitoramento, seja de animais de criação, seja de insetos e pragas. Tal comportamento abre a possibilidade de que o uso de câmeras infravermelhas, para a obtenção de informações acerca das áreas com maior número de plantas menos saudáveis, que serve de indicativo de pragas, e para a capacidade de usar tal sensor para encontrar e seguir o rebanho a distância.

Quadro 7 – Qual característica é mais importante?

Quanto importa?	Necessidades do cliente	n° Respostas
	Rapidez na aplicação	11
	Eficiência de cobertura	11
	Precisão no voo	2
	Versatilidade	1
	Facilidade de uso	7

Aqui verifica-se que a rapidez na aplicação e a eficiência na cobertura são assuntos de extrema importância para quem avalia a qualidade de um VANT, sendo os demais aspectos pouco relevantes comparados a este. Mesmo facilidade de uso fica secundário comparado aos outros dois tópicos.

APÊNDICE C - Correlações entre necessidades do cliente e requisitos do projeto

Neste apêndice foi estabelecido uma relação entre os requisitos do projeto, unidades adotadas, o objetivo global e quais as principais necessidades do cliente relacionadas com o requisito. Esta tabela foi separada em quadros de acordo com o tipo de requisito considerado.

Quadro 8 – Requisitos técnicos de dimensionamento

Requisito de Projeto	Unidade	Objetivo Global	Explicações	Necessidade do Cliente Relacionada
Dimensões	mm	V	Maiores dimensões do drone permitem maiores cargas, sensores, baterias e versatilidade de aplicações.	Cobrir larga área por voo; Capacidade de carga; Tempo de voo.
Peso vazio	kg	V	Dada a limitação em 25 kg, quanto menor o peso do drone vazio maior a capacidade em litros e em número de funções distintas.	Cobrir larga área por voo; Alcance; Tempo de voo; Capacidade de carga; Monitoramento em geral
Capacidade	L	A	Maiores capacidades de carga levam a maior a área coberta por voo.	Uso envolvendo aplicação; Cobrir larga área por voo; Parâmetros que limitam o uso de um drone
Envergadura	m	A	Maiores envergaduras levam a maiores áreas cobertas por voo, facilitando monitoramentos e aplicações.	Aplicações em geral e velocidade de aplicação
Velocidade	m/s	A	Maiores velocidades levam a maiores áreas cobertas por tempo.	Voar sem piloto; Voar em grupo; Tempo de voo; Alcance; Ruído; Precisão no voo; Mapeamento; Pulverização; Monitoramento.
Área coberta	m ² /voo	A	Maiores áreas cobertas melhoram a eficiência comparativa do drone.	Todos os usos; Capacidade de carga; Velocidade de voo; Alcance; Tempo de voo; Rapidez na aplicação;
Duração da bateria	min	A	Maiores duração do conjunto de baterias, significam menos peso e maiores tempos de voos, facilitando funções de mapeamento e monitoramento.	Cobrir larga área de voo; Capacidade de carga; Precisão no voo; Tempo de voo; Alcance; Usos de monitoramento
Pressão de operação	Pa	A	Maiores pressões de operação do pulverizador significam maior alcance da gota e menor o diâmetro das gotas.	Voar sem piloto; Voar em grupo; Pulverizar toda a planta; Realizar semeadura; Aplicar controle biológico; Precisão no voo; Versatilidade
Diâmetro mínimo de gota	mm	V	Diâmetros menores significam maior eficiência de cobertura das folhas.	Pulverizar toda a planta; Cobrir larga área por voo; Todas as funções que limitem o uso de um drone; Funções de pulverização e precisão
Temperatura de operação	°C	V	A temperatura elevada leva a desperdícios de energia e, em último caso, falhas de equipamento.	Alcance; Tempo de voo; Cobrir larga área por voo
Vazão	L/min	A	Vazões controladas favorecem a atividade de pulverização, semeadura e adubação foliar.	Atividades de pulverização; Rapidez na aplicação; Capacidade de carga; Vazamentos
Preço	R\$	V	Atendendo-se as necessidades do cliente, preço pode se tornar um diferencial.	Aplicações em geral; Versatilidade; Parâmetros de material

Quadro 9 – Requisitos técnicos de componentes eletromecânicos

Requisito de Projeto	Unidade	Objetivo Global	Explicações	Necessidade do Cliente Relacionada
Carga da bateria	A.h	^	A carga individual de cada bateria se condicionar o peso vazio.	Cobrir larga área de voo; Capacidade de carga; Precisão no voo; Tempo de voo; Alcance; Usos de monitoramento
Numero de motores	nº	^	Drones com mais motores resistem melhor a falhas de equipamento, sendo menos dependentes do clima.	Capacidade de carga; Ruído; Tempo de voo
Potência do motor	W	^	Potência maior permite carregamentos maiores e velocidades maiores, auxiliando na rapidez, na cobertura e na carga.	Capacidade de carga; Ruído; Tempo de voo
Rotações por minuto	rpm	=	Altas rotações levam a altas velocidades em troca de uma menor capacidade de levantar carga.	Capacidade de carga; Ruído; Tempo de voo
Corrente do ESC	A	^	Condicionada pela potência do motor e as rotações usadas neste.	Capacidade de carga; Ruído; Tempo de voo
Modelo hélice	pol	=	Peça comercial escolhida pela carga e motor que se deseja usar.	Capacidade de carga; Ruído; Tempo de voo
Corrente da bateria	A	^	Condicionado pelo ESC e pela carga da bateria.	Capacidade de carga; Ruído; Tempo de voo
Memória RAM	Gb	^	Controladores com maiores memória RAM permite uso simultâneo e mais efetivo dos sensores e automação de tarefas.	Voar sem piloto; Voar em grupo; Marcar leito; Usos de monitoramento e coleta de imagens;
Memória ROM	Gb	^	Controladores com maiores memórias ROM permitem armazenamento maior de informações, como mapas, linhas de programação, imagens e vídeos.	Voar sem piloto; Voar em grupo; Marcar leito; Usos de monitoramento e coleta de imagens;
Raio de controle	m	^	Permitem controle a maior distância para atividades de monitoramento, mapeamento e segurança. É limitado pela legislação.	Alcance; Voar em grupo; Precisão no voo
Frequência de operação	Hz	=	Influência na capacidade de contatar múltiplos drones ao mesmo tempo em vôos em grupo.	Voar sem piloto; Voar em grupo

Quadro 10 – Requisitos técnicos por tipo de uso

Requisito de Projeto	Unidade	Objetivo Global	Explicações	Necessidade do Cliente Relacionada
Resistência a químicos	nº IP	Λ	A utilização de solventes em pulverizações e sementeiras podem reagir com componentes do drone, sendo importante vedá-los.	Pulverizar toda a planta; Aplicação de pesticidas; Pulverização em árvores
Coefficiente de segurança de impactos	C.S	Λ	A redundancia de partes e a resistência a impactos em caso de emergência..	Amostrar solo; Capacidade de carga; Velocidade de voo; Segurança e observação
Controle Biológico	nº	Λ	A capacidade de adaptar os diferentes aplicadores de controle biológico aumenta a versatilidade e o uso do drone.	Aplicar controle biológico; Monitorar animais e insetos; Versatilidade
Semeadura	nº	Λ	Realizar hidrosemeadura distribuindo as sementes sólidas pela leira com pouca sobreposição e falhas de linha.	Realizar semeadura; Capacidade de carga; Versatilidade
Alcance semadura	m	Λ	Área coberta por hidrossemeadura.	Realizar semeadura; Capacidade de carga; Versatilidade
Diametro máximo do pulverizador	mm	Λ	O maior diâmetro de semente possível para realização da hidrossemeadura..	Pulverizar toda a planta; Vazamentos; Cobertura de folha; Aplicação de pesticidas; Pulverização em árvores
Nebulizador	L/min	Λ	Capacidade de atomizar líquido para umidificação e pulverização.	Pulverizar toda a planta; Vazamentos; Cobertura de folha; Aplicação de pesticidas; Pulverização em árvores

Quadro 11 – Requisitos técnicos por tipo de sensor

Requisito de Projeto	Unidade	Objetivo Global	Explicações	Necessidade do Cliente Relacionada
Resolução de camera	Pixels	Λ	Permite maior cobertura por voo em agrimensura, bem como maior resolução no monitoramento de pragas e identificação de problemas no cultivo.	Atividades de monitoramento; Precisão no voo; Facilidade de uso
Precisão Horizontal e Vertical	mm/km	Λ	Evita áreas não pulverizadas durante a aplicação, seja pela cobertura superficial da lavoura, ou pelo papel da altura na cobertura superficial da folha.	Todos os usos e aplicações; Precisão no voo
Alarme de bateria	A.h	=	Indicado como facilitador de uso para o operador.	Aplicações do drone; Dependências do clima; Precisão do voo; Facilidade de uso
Alarme de tanque	L	=	Indicado como facilitador de uso para o operador.	Aplicações do drone; Dependências do clima; Precisão do voo; Facilidade de uso
Diferença na fronteira do vermelho	Pixels	Λ	Sensor para identificação de má desenvolvimento de plantas e diagnóstico de saúde.	Avaliar a saúde da planta; Encontrar falhas de cultivo; Facilidade de uso; Versatilidade
Infravermelho Próximo	Pixels	Λ	Sensor para identificação de má desenvolvimento de plantas e diagnóstico de saúde.	Avaliar a saúde da planta; Encontrar falhas de cultivo; Facilidade de uso; Versatilidade

Quadro 12 – Requisitos técnicos por tipo de sensor (continuação)

Coefficiente de Clorofila	Pixels	Λ	Sensor para identificação de má desenvolvimento de plantas e diagnóstico de saúde.	Avaliar a saúde da planta; Encontrar falhas de cultivo; Facilidade de uso; Versatilidade
Index de vegetação modificado	Pixels	Λ	Sensor para identificação de má desenvolvimento de plantas e diagnóstico de saúde.	Avaliar a saúde da planta; Encontrar falhas de cultivo; Facilidade de uso; Versatilidade
Visão em primeira pessoa	Pixels	Λ	Indicado como facilitador de uso para o operador.	Avaliar a saúde da planta; Encontrar falhas de cultivo; Facilidade de uso; Versatilidade
Além do campo de visão	Pixels	Λ	Indicado como facilitador de uso para o operador, permitindo maior alcance.	Facilidade de uso; Alcance; Tempo de voo; Usos para monitoramento
Sensor de pressão atmosférica	Pa	Λ	Fundamental para o cálculo da pressão a ser aplicado pelo pulverizador e o alcance da partícula a ser pulverizada.	Voar sem piloto; Voar em grupo; Dependência do clima; Amostragem solo
Umidade do ar	°	Λ	Fundamental para o cálculo do alcance da partícula pulverizada e a distância que esta percorre antes de evaporar.	Amostragem solo; Alcance; Usos de pulverização e monitoramento do solo;
Fertilidade do solo	ppm	Λ	Sensor para amostragem de solo e a quantidade de nitrogênio disponível.	Amostragem solo; Controle da saúde do cultivo; Amostragem de solo; Versatilidade
Controlador de voo	Ghz	Λ	Responsável pelas operações de processamento computacional do drone, recebe as informações de sensores e controla os motores e circuitos.	Voar sem piloto; Voar em grupo; Amostragem solo; Aplicação de pesticidas; Pulverização em árvores; Precisão no voo
Controlador remoto	m	Λ	Controle remoto usado pelo operador, influência no alcance.	Voar sem piloto; Voar em grupo; Alcance; Aplicação de pesticidas; Versatilidade; Precisão no voo
Bluetooth	m	Λ	Permite em curta distância a transferência de informações entre o drone e a estação de comando.	Voar sem piloto; Voar em grupo; Precisão no voo
Desvio de obstáculos	%	Λ	Capacidade de detectar obstáculos e avisar o operador ou implementar algoritmo de desvio de rota com o objetivo de facilitar o uso.	Todos os usos e aplicações; Precisão no voo
Altura autônoma	m	Λ	Capacidade de manter-se em altura desejada, fundamental para aplicar a pulverização na planta toda pela relação entre diâmetro de gota e distância.	Todos os usos e aplicações; Precisão no voo;
Retorno autônomo	m	Λ	Capacidade de voltar ao ponto de decolagem sem auxílio do piloto em caso de falha, de finalização do tanque, da bateria ou da atividade.	Voar sem piloto; Voar em grupo; Segurança e observação
Pulverização autônoma pressurizada	Pa	Λ	Capacidade de calcular de maneira autônoma a pressão do pulverizador a partir do sensor e da variação do tamanho da planta no cultivo.	Usos envolvendo aplicação; Cobrir larga área por voo; Facilidade de uso; Versatilidade; Precisão no voo
Capacidade swarm	nº	Λ	Capacidade de voar em grupo, trocando informações.	Voar em grupo; Rapidez na aplicação; Alcance; Versatilidade; Precisão no voo

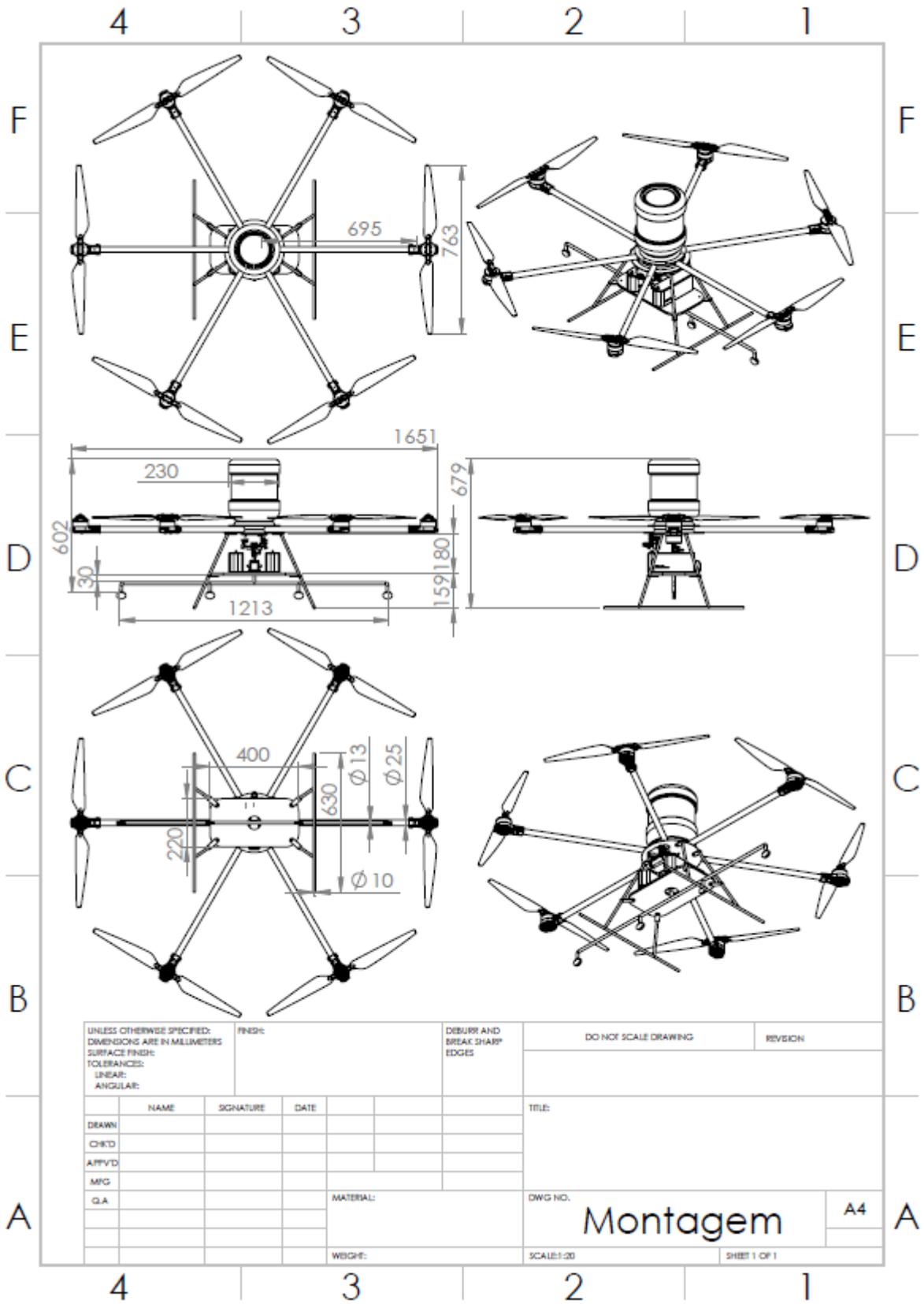
APÊNDICE D - Casa da Qualidade

Através do conhecimento acumulado acerca da construção de um VANT e de um pulverizador foi identificadas características técnicas que são fundamentais para seu funcionamento. Através das perguntas encontrou-se necessidades dos clientes que se relacionam diretamente com seus aspectos técnicos, com isso utilizar a metodologia da casa da qualidade para estabelecer relações entre a voz do cliente e a voz do projetista. Para a correlação entre requisitos de projeto e necessidades do cliente os valores zero para nenhuma correlação, um para mínima correlação, três para mediana correlação, e cinco para máxima correlação.

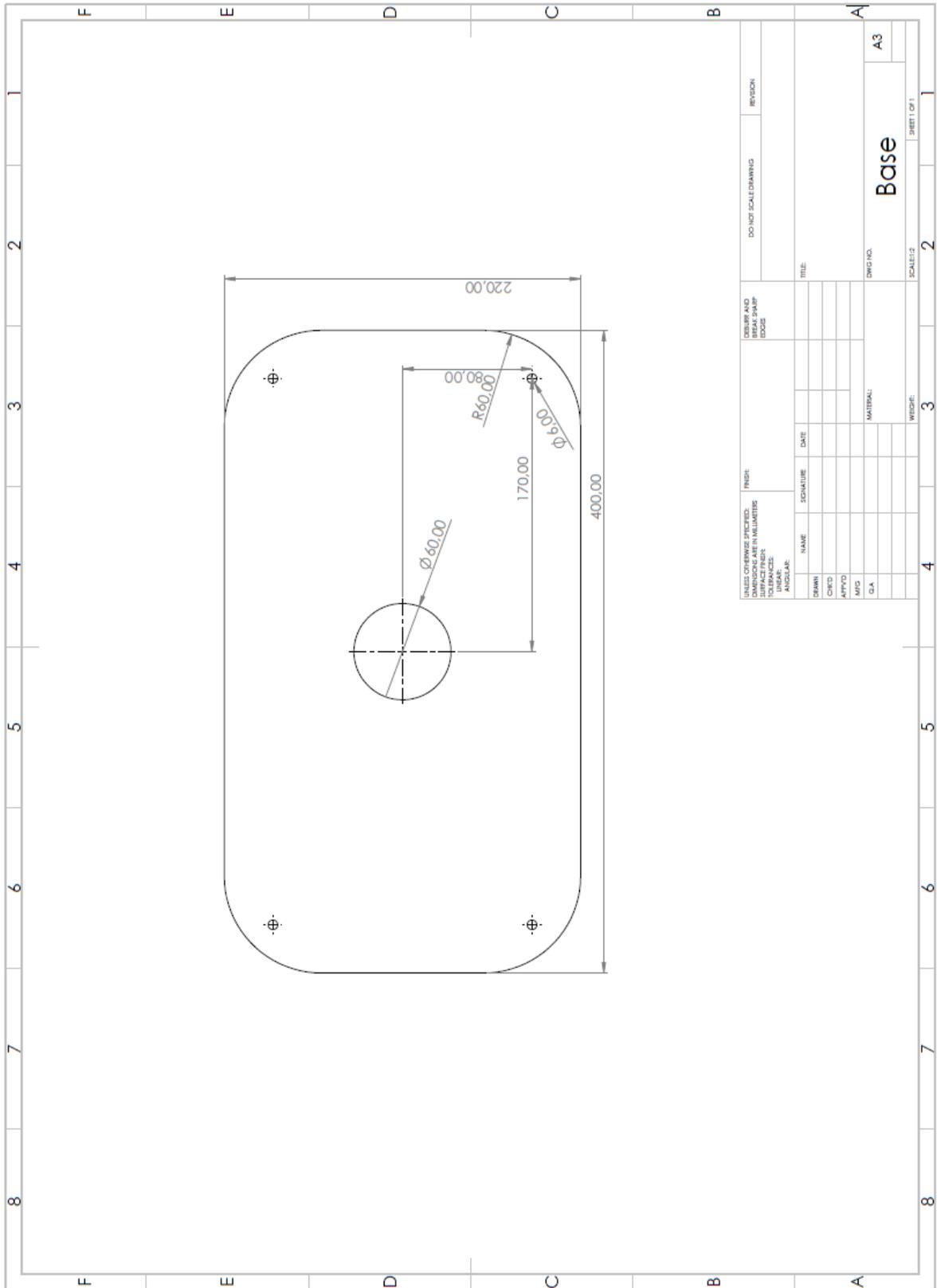
Tabela 6 – Valores obtidos na casa da qualidade

Aspectos	Dimensões													Características eletromecânicas								Usos								Sensores agregados																						
	Objetivo Global																																																			
Perguntas	Aspecto analisado													Características eletromecânicas								Usos								Sensores agregados																						
O que deseja ser aplicado no drone?	Número de respostas													Número de motores								Resistência a químicos								Resistência a impactos																						
	Número de consumidores													Potência do motor								Coeficiente de segurança de motores								Controlador de velocidade																						
	Peso vazio													Relações por minuto								Controlador Biológico								Semaadura																						
	Capacidade													Corrente do ESC								Semaadura								Alcance semaadura																						
	Envergadura													Modelo hélice								Número de baterias								Número de baterias																						
	Velocidade													Corrente da bateria								Memória RAM								Resolução de câmera																						
	Área coberta													Corrente do motor								Memória ROM								Precisão Horizontal e Vertical																						
	Duração da bateria													Velocidade								Raio de controle								Alcance de bateria																						
	Pressão de operação													Temperatura de operação								Frequência de operação								Diferença na montaria do vermeijo																						
	Diâmetro mínimo de asa													Vazão								Resistência a químicos								Infravermelho Físico																						
O que deseja ser aplicado no solo?	Número de respostas													Número de baterias								Resistência a impactos								Coeficiente de segurança de motores																						
	Número de consumidores													Potência do motor								Coeficiente de segurança de motores								Controlador de velocidade																						
	Peso vazio													Relações por minuto								Coeficiente de segurança de motores								Semaadura																						
	Capacidade													Corrente do ESC								Semaadura								Alcance semaadura																						
	Envergadura													Modelo hélice								Número de baterias								Número de baterias																						
	Velocidade													Corrente da bateria								Memória RAM								Resolução de câmera																						
	Área coberta													Corrente do motor								Memória ROM								Precisão Horizontal e Vertical																						
	Duração da bateria													Velocidade								Raio de controle								Alcance de bateria																						
	Pressão de operação													Temperatura de operação								Frequência de operação								Diferença na montaria do vermeijo																						
	Diâmetro mínimo de asa													Vazão								Resistência a químicos								Infravermelho Físico																						
Quem limita o uso de um drone?	Número de respostas													Número de baterias								Resistência a impactos								Coeficiente de segurança de motores																						
	Número de consumidores													Potência do motor								Coeficiente de segurança de motores								Controlador de velocidade																						
	Peso vazio													Relações por minuto								Coeficiente de segurança de motores								Semaadura																						
	Capacidade													Corrente do ESC								Semaadura								Alcance semaadura																						
	Envergadura													Modelo hélice								Número de baterias								Número de baterias																						
	Velocidade													Corrente da bateria								Memória RAM								Resolução de câmera																						
	Área coberta													Corrente do motor								Memória ROM								Precisão Horizontal e Vertical																						
	Duração da bateria													Velocidade								Raio de controle								Alcance de bateria																						
	Pressão de operação													Temperatura de operação								Frequência de operação								Diferença na montaria do vermeijo																						
	Diâmetro mínimo de asa													Vazão								Resistência a químicos								Infravermelho Físico																						
Como voa o drone e seu uso?	Número de respostas													Número de baterias								Resistência a impactos								Coeficiente de segurança de motores																						
	Número de consumidores													Potência do motor								Coeficiente de segurança de motores								Controlador de velocidade																						
	Peso vazio													Relações por minuto								Coeficiente de segurança de motores								Semaadura																						
	Capacidade													Corrente do ESC								Semaadura								Alcance semaadura																						
	Envergadura													Modelo hélice								Número de baterias								Número de baterias																						
	Velocidade													Corrente da bateria								Memória RAM								Resolução de câmera																						
	Área coberta													Corrente do motor								Memória ROM								Precisão Horizontal e Vertical																						
	Duração da bateria													Velocidade								Raio de controle								Alcance de bateria																						
	Pressão de operação													Temperatura de operação								Frequência de operação								Diferença na montaria do vermeijo																						
	Diâmetro mínimo de asa													Vazão								Resistência a químicos								Infravermelho Físico																						
Como voa o drone e seu uso?	Número de respostas													Número de baterias								Resistência a impactos								Coeficiente de segurança de motores																						
	Número de consumidores													Potência do motor								Coeficiente de segurança de motores								Controlador de velocidade																						
	Peso vazio													Relações por minuto								Coeficiente de segurança de motores								Semaadura																						
	Capacidade													Corrente do ESC								Semaadura								Alcance semaadura																						
	Envergadura													Modelo hélice								Número de baterias								Número de baterias																						
	Velocidade													Corrente da bateria								Memória RAM								Resolução de câmera																						
	Área coberta													Corrente do motor								Memória ROM								Precisão Horizontal e Vertical																						
	Duração da bateria													Velocidade								Raio de controle								Alcance de bateria																						
	Pressão de operação													Temperatura de operação								Frequência de operação								Diferença na montaria do vermeijo																						
	Diâmetro mínimo de asa													Vazão								Resistência a químicos								Infravermelho Físico																						
Quanto importa?	Número de respostas													Número de baterias								Resistência a impactos								Coeficiente de segurança de motores																						
	Número de consumidores													Potência do motor								Coeficiente de segurança de motores								Controlador de velocidade																						
	Peso vazio													Relações por minuto								Coeficiente de segurança de motores								Semaadura																						
	Capacidade													Corrente do ESC								Semaadura								Alcance semaadura																						
	Envergadura													Modelo hélice								Número de baterias								Número de baterias																						
	Velocidade													Corrente da bateria								Memória RAM								Resolução de câmera																						
	Área coberta													Corrente do motor								Memória ROM								Precisão Horizontal e Vertical																						
	Duração da bateria													Velocidade								Raio de controle								Alcance de bateria																						
	Pressão de operação													Temperatura de operação								Frequência de operação								Diferença na montaria do vermeijo																						
	Diâmetro mínimo de asa													Vazão								Resistência a químicos								Infravermelho Físico																						
Quanto importa?	Número de respostas													Número de baterias								Resistência a impactos								Coeficiente de segurança de motores																						
	Número de consumidores													Potência do motor								Coeficiente de segurança de motores								Controlador de velocidade																						
	Peso vazio													Relações por minuto								Coeficiente de segurança de motores								Semaadura																						
	Capacidade													Corrente do ESC								Semaadura								Alcance semaadura																						
	Envergadura													Modelo hélice								Número de baterias								Número de baterias																						
	Velocidade													Corrente da bateria								Memória RAM								Resolução de câmera																						
	Área coberta													Corrente do motor								Memória ROM								Precisão Horizontal e Vertical																						
	Duração da bateria													Velocidade								Raio de controle								Alcance de bateria																						
	Pressão de operação													Temperatura de operação								Frequência de operação								Diferença na montaria do vermeijo																						
	Diâmetro mínimo de asa													Vazão								Resistência a químicos								Infravermelho Físico																						
Facilidade de uso	Número de respostas													Número de baterias								Resistência a impactos								Coeficiente de segurança de motores																						
	Número de consumidores													Potência do motor								Coeficiente de segurança de motores								Controlador de velocidade																						
	Peso vazio													Relações por minuto								Coeficiente de segurança de motores								Semaadura																						
	Capacidade													Corrente do ESC								Semaadura								Alcance semaadura																						
	Envergadura													Modelo hélice								Número de baterias								Número de baterias																						
	Velocidade													Corrente da bateria								Memória RAM								Resolução de câmera																						
	Área coberta													Corrente do motor								Memória ROM								Precisão Horizontal e Vertical																						
	Duração da bateria													Velocidade								Raio de controle								Alcance de bateria																						
	Pressão de operação													Temperatura de operação								Frequência de operação								Diferença na montaria do vermeijo																						
	Diâmetro mínimo de asa													Vazão								Resistência a químicos								Infravermelho Físico																						
Somatório	202	297	241	238	297	327	268	211	203	76	142	265	268	102	102	102	102	102	76	167	175	46	88	62	149	134	130	130	61	76	178	314	193	128	124	128	113	68	129	117	107	93	66	171	153	260	297	211	134	134		
Classificação da qualidade	15	7	11	12	5	1	3	13	10	45	24	8	3	36	36	36	36	36	45	20	18	50	51	49	23	23	25	27	27	44	47	17	2	16	30	32	30	34	41	29	33	35	42	42	19	21	48	9	5	21	13	25

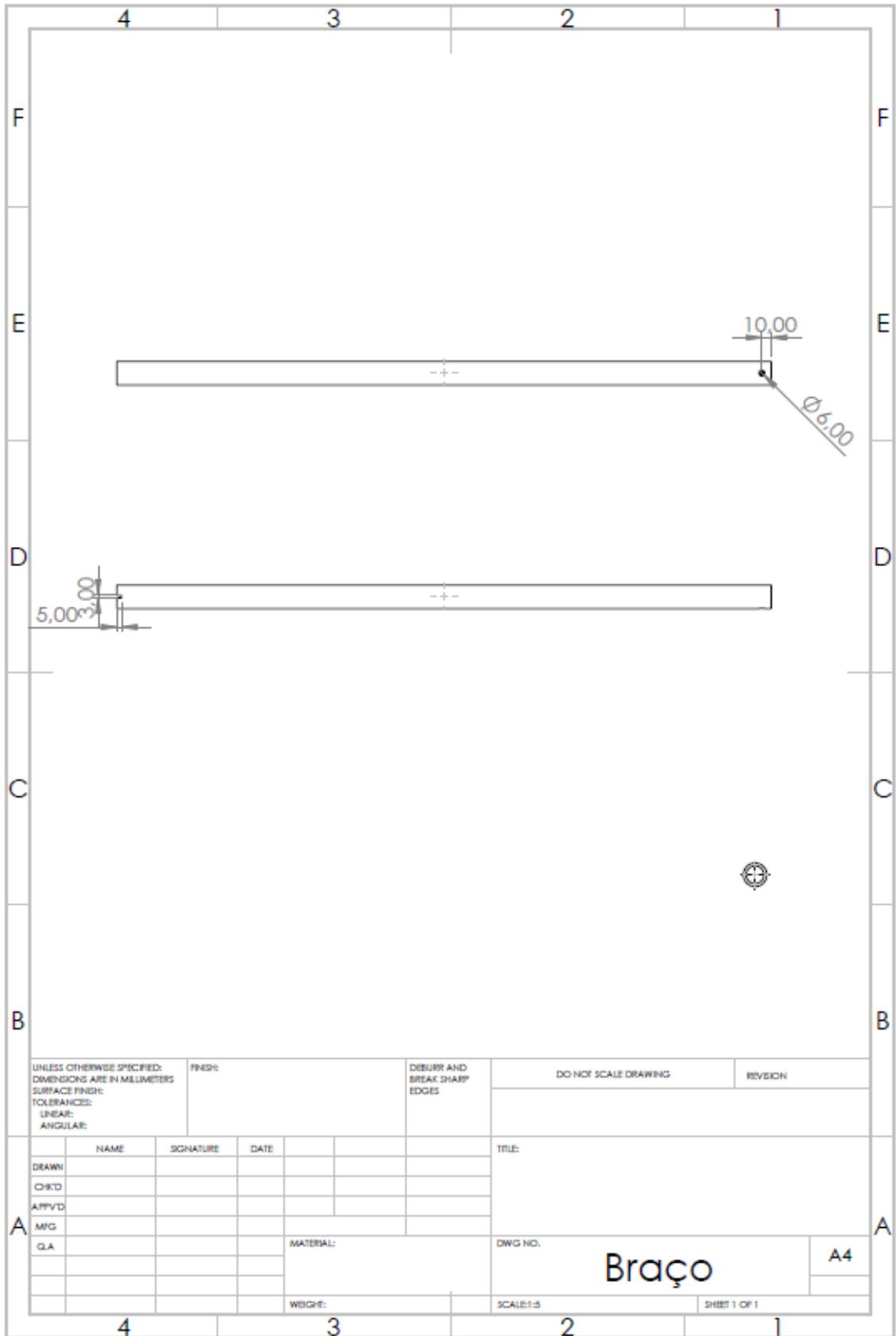
**APÊNDICE E -
Desenhos dos componentes do sistema**

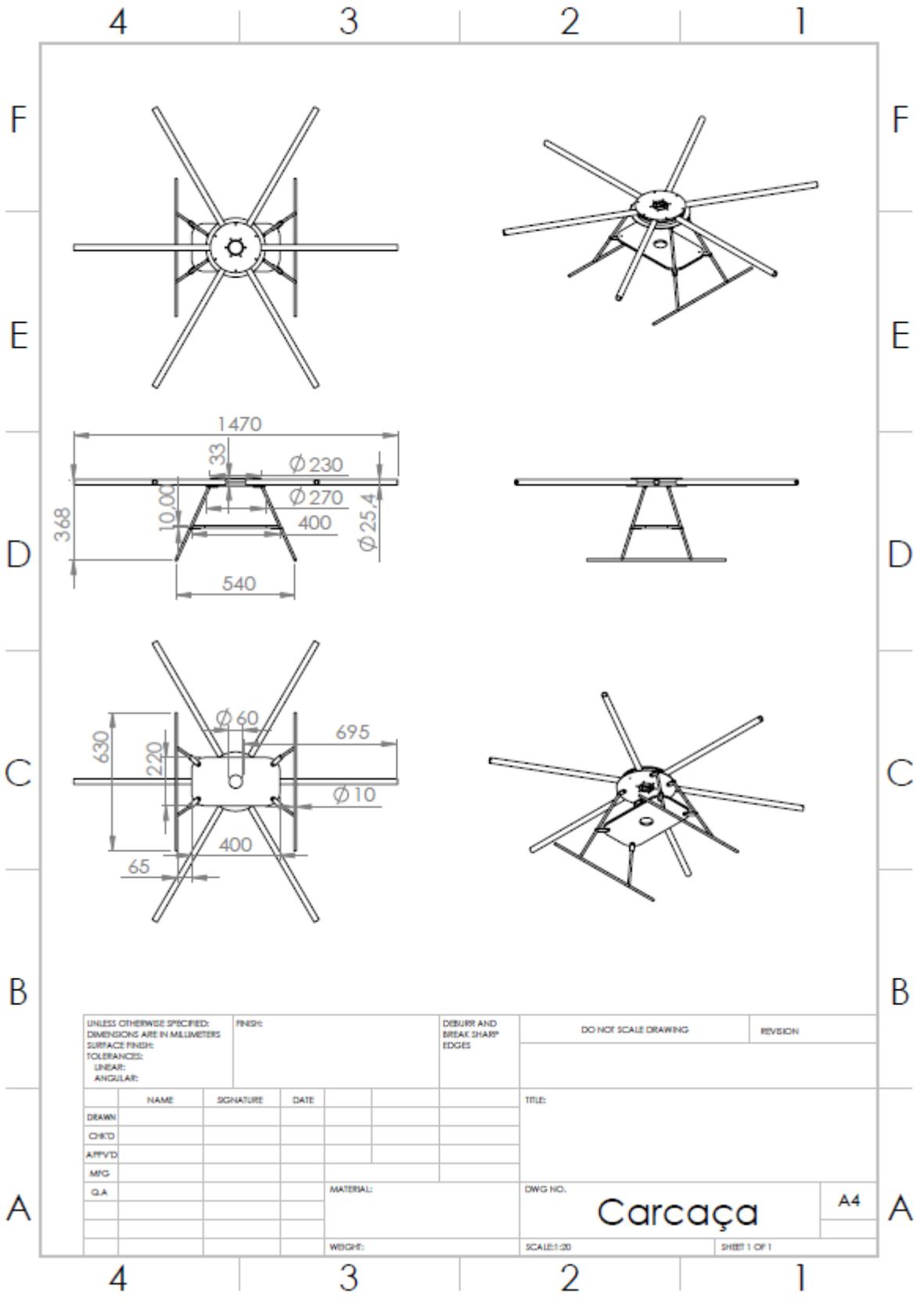


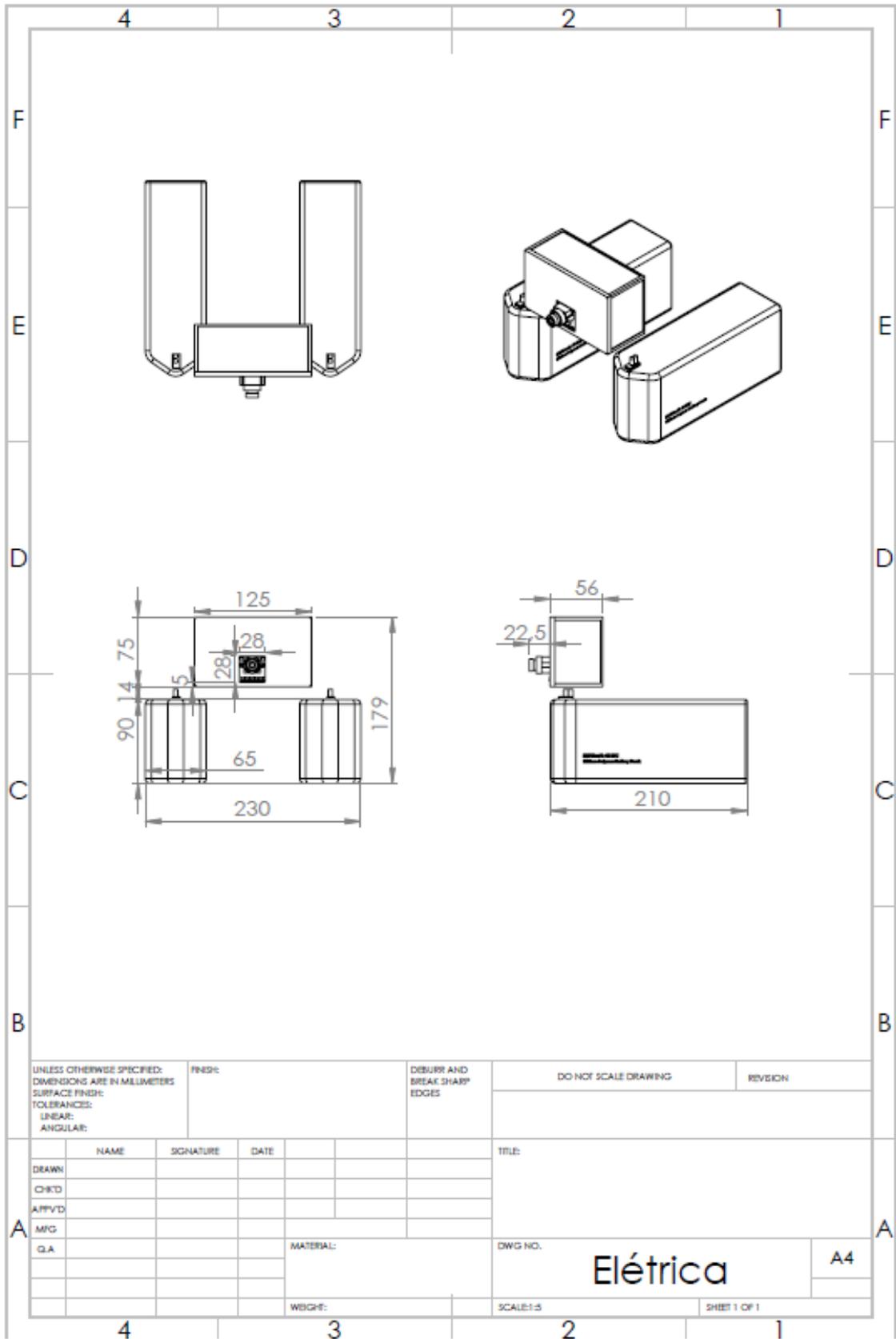
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS			FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		
SURFACE FINISH:											
TOLERANCES:											
LINEAR:											
ANGULAR:											
NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:					
DRAWN											
CHK'D											
APP'D											
MFG											
Q.A.											
						MATERIAL:		DWG. NO.		A4	
								Montagem			
						WEIGHT:		SCALE: 1:20		SHEET 1 OF 1	

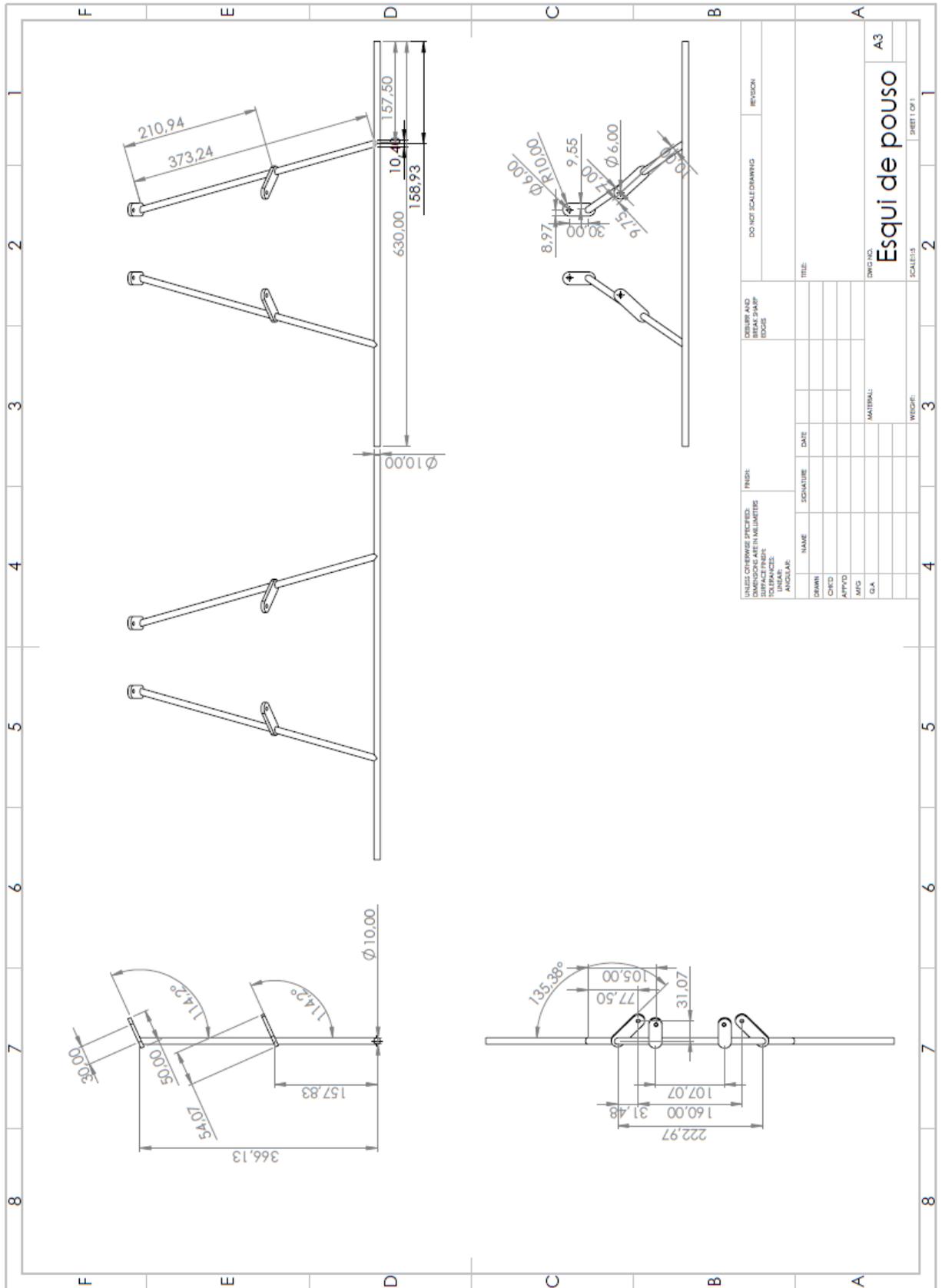


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS DECIMALS ARE TO BE TRUNCATED TOLERANCES:		FINISH: DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE		
DRWN					
CHKD					
APPRD					
MFG					
C.A.					
MATERIAL:			DWG NO.	A3	
WGT:			SCALE:	2	
			SHEET OF 1		







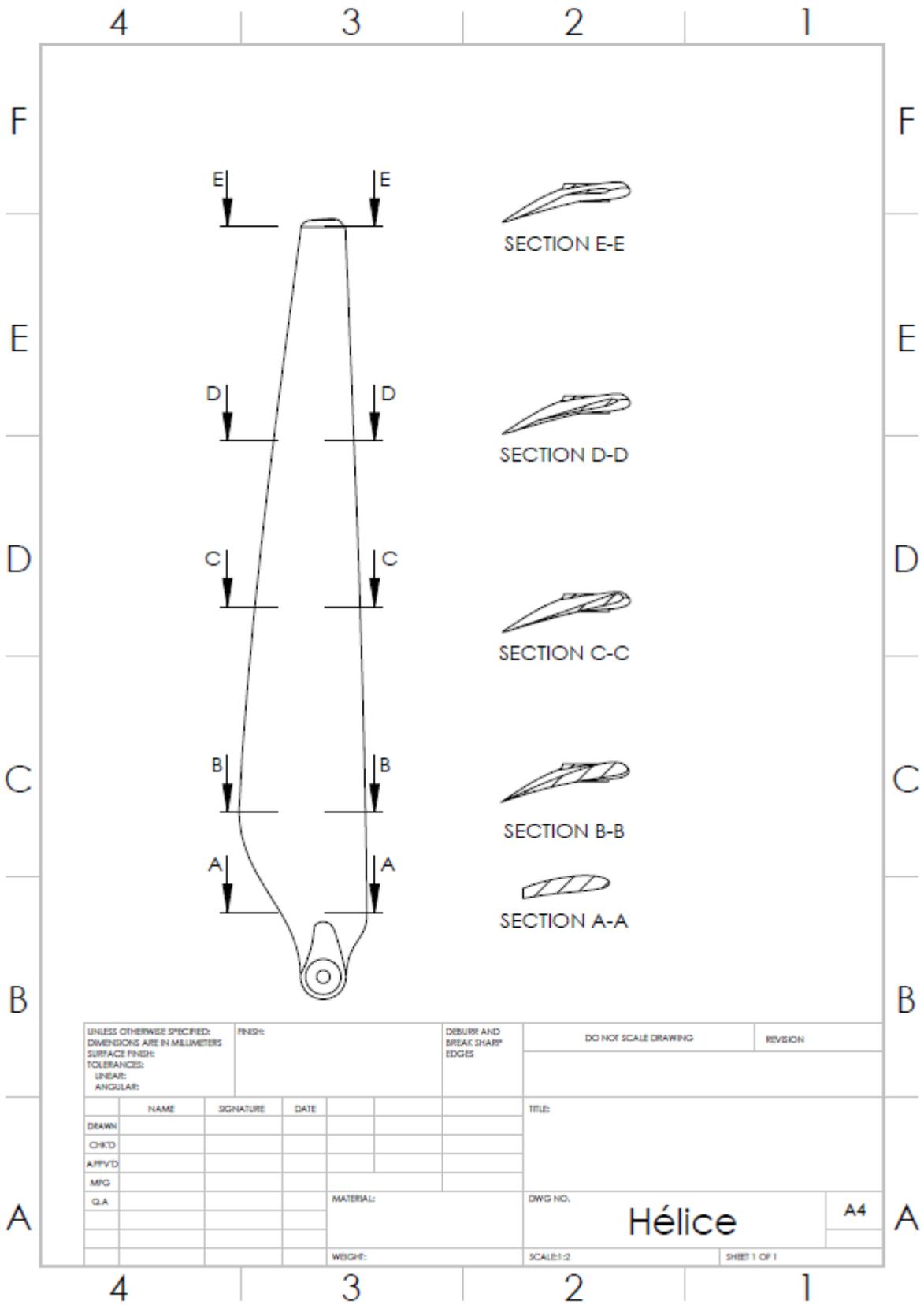


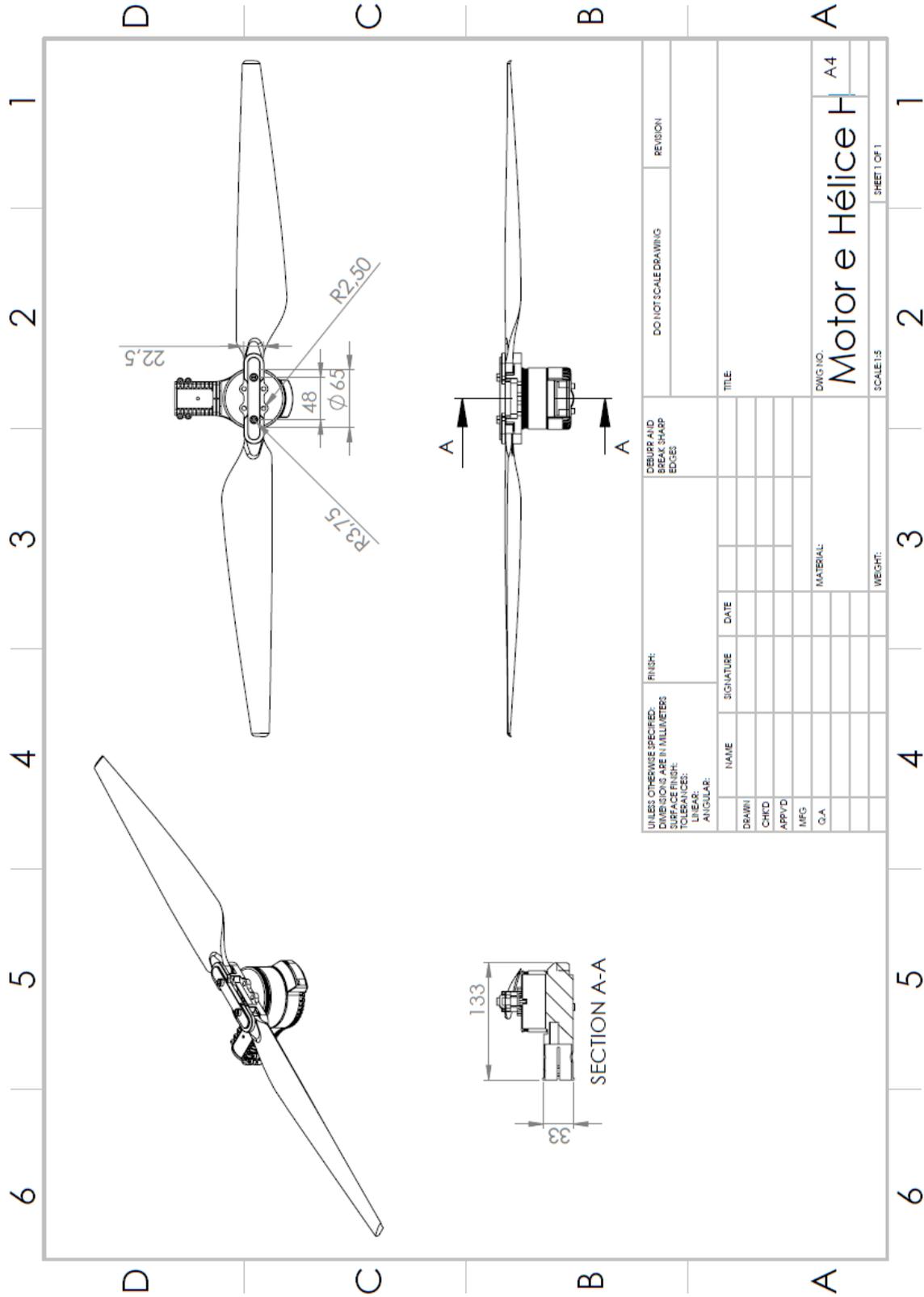
(UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS)		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DIMENSIONS OF HOLE PUNCHES AND SPACERS ARE IN MILLIMETERS		USE SHARP BREAKS FOR EDGES		TITLE	
DIMENSIONS OF ANGLES		NAME		DATE	
DRAWN		SIGNATURE		DATE	
CHECKED		DATE		TITLE	
APPROVED		DATE		TITLE	
DATE		DATE		TITLE	
MATERIAL		MATERIAL		TITLE	
WEIGHT		WEIGHT		TITLE	
SCALE: 1:3		SCALE: 1:3		TITLE	
SHEET 1 OF 1		SHEET 1 OF 1		TITLE	

Esqui de pouso

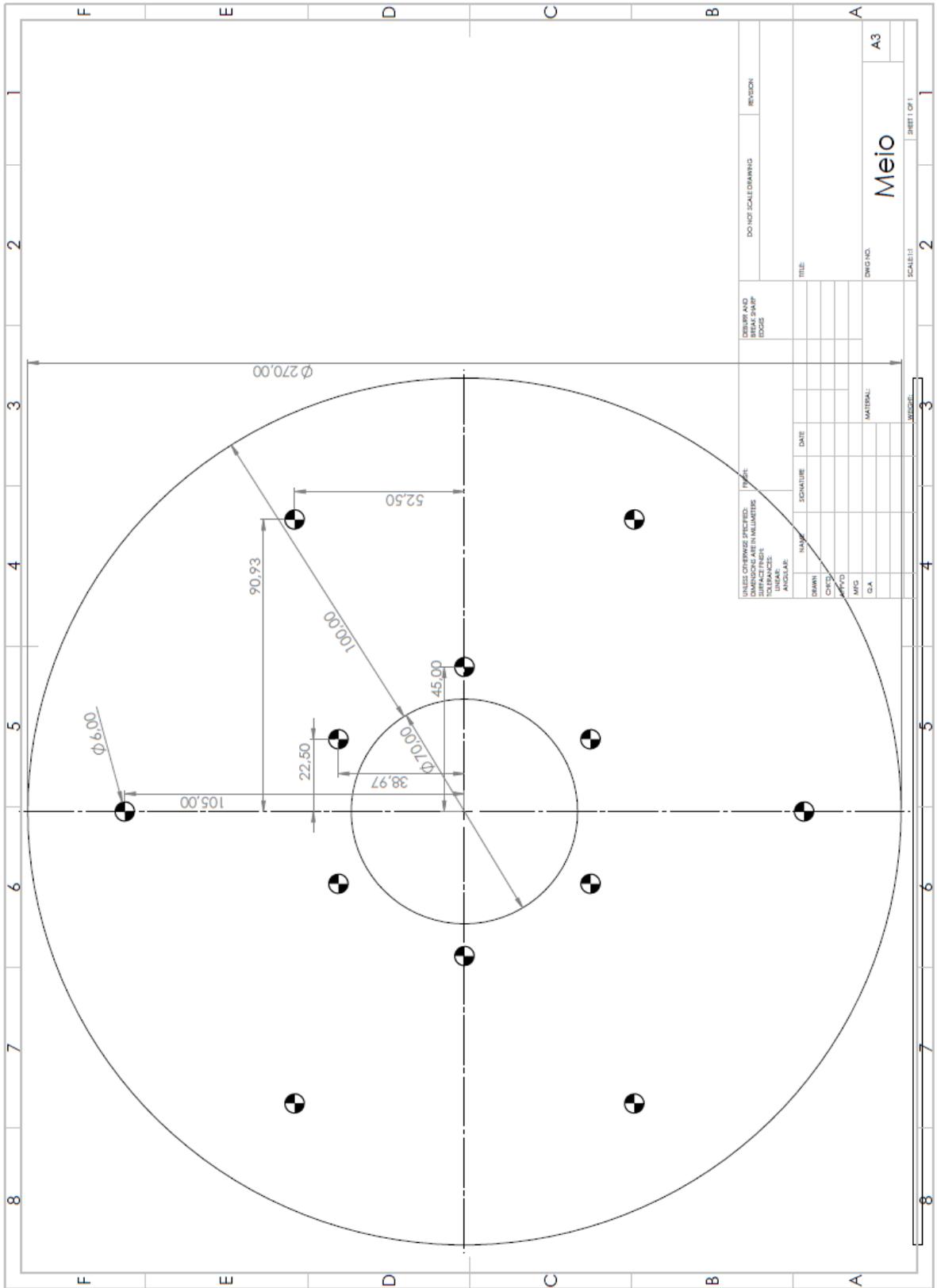
A3

2 3 4 5 6 7 8





UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DECIMALS: 0.1		NONE		SEE SURF AND BRICK SHARP EDGES			
FRACTIONS: 1/16		NONE					
TOLERANCES:							
LINEAR:							
ANGULAR:							
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE			
CHK'D							
APP'D							
MFG							
C.A.				MATERIAL:			
				DWG NO. Motor e Hélice H A4			
				SCALE: 1:1			
				SHEET 1 OF 1			



ANEXO A - Portaria mapa nº 298, de 22 de setembro de 2021



OFICIAL DA UNIÃO
Publicado em: 24/09/2021 | Edição: 182 | Seção: 1 | Página: 14

Órgão: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Gabinete da Ministra

PORTARIA MAPA Nº 298, DE 22 DE SETEMBRO DE 2021.

Estabelece regras para operação de aeronaves remotamente pilotadas destinadas à aplicação de agrotóxicos e afins, adjuvantes, fertilizantes, inoculantes, corretivos e sementes.

A MINISTRA DE ESTADO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, no uso das atribuições que lhe confere o art. 87, parágrafo único, inciso II, da Constituição Federal, tendo em vista o disposto no Decreto-Lei nº 917, de 8 de outubro de 1969, no Decreto nº 86.765, de 22 de dezembro de 1981, e o que consta do Processo nº 21000.082935/2019-94, resolve:

Art. 1º Ficam estabelecidas as regras para operação de aeronaves remotamente pilotadas - ARP's destinadas à aplicação de agrotóxicos e afins, adjuvantes, fertilizantes, inoculantes, corretivos e sementes.

CAPÍTULO I

DAS DISPOSIÇÕES PRELIMINARES

Art. 2º Para efeitos desta Portaria, considera-se:

I - aeronave remotamente pilotada - ARP: aeronave não tripulada, pilotada a partir de uma estação de pilotagem remota;

II - agrotóxicos e afins: agentes de processos físicos, químicos ou biológicos destinados ao uso nos setores de produção, no armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas, nativas ou implantadas, e de outros ecossistemas e também de ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos e produtos e substâncias empregados como desfolhantes, dessecantes, estimuladores e inibidores de crescimento;

III - curso para aplicação aeroagrícola remota - CAAR: curso homologado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA e oferecido por entidade de ensino registrada no MAPA, destinado a formação de aplicadores aeroagrícolas remotos;

IV - aplicador aeroagrícola remoto: profissional maior de 18 anos de idade, aprovado em CAAR, que acompanha e auxilia o piloto nas operações aeroagrícolas destinadas a aplicação dos produtos indicados no caput do art. 1º;

V - operador de ARP: pessoa física ou jurídica, agricultor ou empresa rural, cooperativa, consórcio de produtores rurais, empresa prestadora de serviço e órgão governamental, tanto proprietário quanto arrendatário de ARP, que pretenda efetuar operações aeroagrícolas com aplicação de agrotóxicos e afins, adjuvantes, fertilizantes, inoculantes, corretivos e sementes; e

VI - piloto remoto: pessoa que manipula os controles de voo da aeronave remotamente pilotada.

CAPÍTULO II

DO REGISTRO

Seção I

Dos operadores de ARP

Art. 3º Os operadores de ARP deverão possuir registro junto ao MAPA, através de requerimento no Sistema Integrado de Produtos e Estabelecimentos Agropecuários - SIPEAGRO.

Art. 4º Para obter o registro, os operadores de ARP deverão possuir:

I - responsável técnico, engenheiro agrônomo ou engenheiro florestal, registrado no respectivo Conselho Profissional, encarregado pela coordenação das atividades específicas de sua área de atuação;

II - aplicador aeroagrícola remoto com CAAR, ressalvados os casos do parágrafo único do art. 5º; e

III - aeronaves remotamente pilotadas em situação regular junto à Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC.

§ 1º O inciso I do caput aplica-se apenas às pessoas jurídicas operadoras de ARP.

§ 2º O aplicador aeroagrícola remoto de que trata o inciso II do caput poderá acumular a função de piloto remoto da ARP.

Art. 5º Para comprovação do atendimento às exigências dispostas no art. 4º, os requerimentos de registro dos operadores de ARP deverão ser instruídos com:

I - contrato social ou documento de comprovação de posse da área rural, no caso de agricultores e empresas rurais operadores de ARP;

II - certificado de conclusão do CAAR de cada aplicador aeroagrícola remoto;

III - comprovante de registro do responsável técnico junto ao respectivo Conselho Profissional, nos casos de pessoas jurídicas operadoras de ARP; e

IV - documento comprobatório de situação regular da aeronave junto à ANAC.

Parágrafo único. Os profissionais com habilitação de coordenador ou técnico executor em aviação agrícola, comprovada mediante certificado de conclusão de curso, ficam dispensados da apresentação do documento de que trata o inciso II do caput.

Art. 6º Os proprietários de aeronaves agrícolas já registrados no MAPA que manifestem interesse em realizar operações com ARP deverão atualizar seu cadastro de acordo com o disposto nesta Portaria.

Seção II

Das entidades de ensino

Art. 7º As entidades de ensino interessadas em oferecer o CAAR deverão requerer seu registro através do SIPEAGRO, instruídos com os seguintes documentos:

I - cópia do estatuto ou contrato social;

II - comprovação de que possuem profissional ocupante do cargo de engenheiro agrônomo, registrado no respectivo Conselho de Classe e com curso de coordenador em aviação agrícola; e

III - certificado de conclusão do curso de que trata o inciso II.

Art. 8º As entidades de ensino de cursos de aviação agrícola já registradas no MAPA que manifestem interesse em oferecer o CAAR deverão atualizar seu cadastro de acordo com o disposto nesta Portaria.

CAPÍTULO III

DA SEGURANÇA OPERACIONAL E DO REGISTRO DE DADOS

Art. 9º Para efeito de segurança operacional, a aplicação aeroagrícola com ARP fica restrita à área alvo da intervenção, observando as seguintes regras:

I - não é permitida a aplicação aérea de agrotóxicos e afins, adjuvantes, fertilizantes, inoculantes, corretivos e sementes com ARP em áreas situadas a uma distância mínima de vinte metros de povoações, cidades, vilas, bairros, moradias isoladas, agrupamentos de animais, de mananciais de captação de água para abastecimento de população, inclusive reservas legais e áreas de preservação permanente, além de outras áreas ambientais com larguras mínimas de proteção estabelecidas em legislação específica, caso não sejam áreas alvos da aplicação, devendo ser respeitadas ainda, quando couber, as restrições de distância constantes na recomendação do produto a ser aplicado;

II - ficam dispensadas do cumprimento do inciso I as aplicações com agrotóxicos registrados no MAPA e classificados como agentes biológicos ou produtos fitossanitários utilizados na agricultura orgânica, desde que não apresentem restrições quanto à saúde humana e ao meio ambiente;

III - as ARP's que estejam abastecidas com produtos para aplicação ficam proibidas de sobrevoar as áreas povoadas, moradias e agrupamentos humanos, ressalvados os casos de produtos para controle de vetores, observadas as normas legais pertinentes;

IV - nas proximidades do local da operação deverá ser fixada placa de sinalização visível para pessoas não envolvidas na atividade contendo a expressão: "CUIDADO! OPERAÇÃO COM DRONE";

V - no local da operação deverá ser mantido fácil acesso ao extintor de incêndio (de categoria adequada para equipamentos eletrônicos), sabão, água para higiene pessoal e caixa contendo material de primeiros socorros, observando ainda as orientações específicas contidas na bula ou no rótulo do produto;

VI - no local da operação, deverão constar, de forma legível, o endereço e os números de telefones de hospitais e centros de informações toxicológicas;

VII - a equipe de campo deverá obrigatoriamente usar os Equipamentos de Proteção Individual (EPI) necessários, fornecidos pelo empregador;

VIII - a equipe de campo deverá utilizar coletes ou faixas de sinalização durante as atividades; e

IX - as condições meteorológicas e ambientais deverão ser devidamente avaliadas durante as operações, de modo a se garantir a eficácia e a segurança da aplicação

Art. 10. O operador de ARP deverá manter registro dos dados relativos a cada aplicação de agrotóxicos e afins, adjuvantes, fertilizantes, inoculantes, corretivos e sementes, com as seguintes informações:

I - data e hora de início e data e hora de término da aplicação;

II - coordenadas geográficas da área aplicada;

III - cultura a ser tratada;

IV - área tratada em hectare(s);

V - tipo de atividade (aplicação de agrotóxico, de fertilizante, de inoculante, de corretivo, semeadura e outros);

VI - marca comercial, volume e dosagem aplicada;

VII - altura do voo;

VIII - dados meteorológicos (temperatura, umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento durante a aplicação);

IX - aeronave utilizada (identificação da ARP conforme ANAC); e

X - tipo/modelo de ponta de pulverização utilizada.

§ 1º O registro dos dados deverá ser arquivado pelo operador para fins de fiscalização, em meio físico ou digital, sob pena de responsabilização.

§ 2º Anexados aos registros de cada operação deverão constar o mapa de aplicação e, se for o caso, o receituário agrônômico.

§ 3º O MAPA poderá solicitar os registros a qualquer tempo, acompanhados de outros documentos comprobatórios, em caso de necessidade de realização de auditoria e fiscalização das atividades de aviação agrícola.

Art. 11. As informações relativas às atividades realizadas durante o mês deverão ser consolidadas no relatório mensal, via sistema eletrônico, com os seguintes dados:

I - município/UF do local de aplicação;

II - aeronave utilizada (identificação da ARP);

III - total da área aplicada (ha) e horas de execução (h);

IV - tipo de atividade (aplicação de agrotóxico, de fertilizante, de inoculante, de corretivo, semeadura e outros);

e

V - marca comercial, volume e dosagem aplicada.

Parágrafo único. O relatório mensal deverá ser disponibilizado ao MAPA até o décimo quinto dia do mês subsequente da realização das atividades.

Art. 12. Os remanescentes de calda de agrotóxicos e afins e adjuvantes, assim como os resíduos de lavagem e limpeza da ARP poderão ser descartados sobre a lavoura tratada, desde que diluídos em água.

Parágrafo único. As recomendações de lavagem e devolução das embalagens devem ser seguidas de acordo com normas e legislações específicas.

CAPÍTULO IV

DO CURSO PARA APLICAÇÃO AEROAGRÍCOLA REMOTA

Art. 13. A entidade de ensino registrada no MAPA deverá apresentar projeto de execução do CAAR à Superintendência Federal de Agricultura, Pecuária e Abastecimento - SFA do local do curso, com antecedência mínima de trinta dias da data de início das aulas.

Art. 14. O projeto deverá conter as seguintes informações:

I - local e período de realização do curso;

II - número de participantes;

III - detalhamento do material de apoio e didático, incluindo a base legal;

IV - identificação do engenheiro agrônomo responsável por ministrar as disciplinas relacionadas à legislação, normas técnicas e tecnologia de aplicação;

V - metodologia de aplicação da prova final; e

VI - modelo de prova a ser aplicada.

§ 1º O curso poderá ser ofertado na modalidade Ensino a Distância - EaD.

§ 2º A entidade de ensino deve atuar para garantir a qualidade do curso através de material de apoio e didático, além de local adequado para aplicação das aulas.

§ 3º Não havendo pendências em relação ao projeto apresentado pela entidade de ensino registrada, o CAAR deverá ser homologado pelo MAPA.

Art. 15. A entidade de ensino fica obrigada a ministrar o conteúdo e a carga horária mínima da grade curricular exigida para o CAAR, de acordo com o previsto no Anexo desta normativa.

Art. 16. Para aprovação no curso, o aluno deverá contar com oitenta por cento de frequência mínima nas aulas e obter pelo menos setenta por cento de aproveitamento na prova final.

Art. 17. Em até quinze dias após o término do curso, a entidade de ensino deverá apresentar ao MAPA os seguintes documentos:

I - listagem com a identificação dos alunos aprovados, contendo nome, CPF, formação acadêmica e as respectivas notas finais;

II - cópia das provas aplicadas para cada participante;

III - lista de frequência do curso; e

IV - formulários de avaliação do curso respondidos pelos alunos.

Art. 18. O MAPA poderá fiscalizar a qualquer tempo, de forma remota ou presencial, os cursos oferecidos pelas entidades de ensino registradas, através da designação de servidor que verificará a conformidade da execução dos cursos em relação ao projeto apresentado.

Parágrafo único. Deverá ser garantido ao servidor acesso irrestrito às instalações, materiais, equipamentos, plataformas, sistemas, bem como a vídeos, imagens e demais documentos e ferramentas de ensino utilizadas.

CAPÍTULO V

DAS OBRIGAÇÕES

Seção I

Dos operadores de ARP

Art. 19. Os operadores de ARP registrados no MAPA, deverão:

I - apresentar relatórios mensais de atividades no SIPEAGRO;

II - informar qualquer alteração dos dados cadastrais no prazo máximo de trinta dias;

III - manter, à disposição da fiscalização, os registros das aplicações, os mapas de aplicação e os receituários agrônômicos devidamente arquivados pelo prazo mínimo de dois anos; e

IV - atender as exigências e prazos estabelecidos pela fiscalização do MAPA.

Seção II

Das entidades de ensino

Art. 20. As entidades de ensino, registradas no MAPA, deverão:

I - informar qualquer alteração dos dados do registro no prazo máximo de trinta dias;

II - comunicar à SFA, antes do início do curso, qualquer alteração do projeto de execução do CAAR;

III - manter arquivados, à disposição da fiscalização, pelo prazo mínimo de cinco anos, o histórico dos cursos oferecidos; e

IV - atender as exigências e prazos estabelecidos pela fiscalização do MAPA.

CAPÍTULO VI

DAS DISPOSIÇÕES FINAIS

Art. 21. Os agricultores e as empresas rurais, proprietários de ARP, que vierem a fazer uso da tecnologia em consonância com os objetivos da sua exploração agropecuária somente poderão utilizá-la dentro de sua propriedade, vedada, a qualquer título, a prestação de serviços a terceiros.

§ 1º A utilização de ARP por cooperativas e consórcios de produtores rurais deverá ficar restrita às áreas dos cooperados ou consorciados, ficando sujeitos, no que couber, às disposições deste Regulamento.

§ 2º O uso de uma mesma aeronave por dois ou mais operadores fica permitido, desde que cada operador possua registro próprio no MAPA, atendendo, no que couber, às exigências deste Regulamento.

Art. 22. O operador de ARP terá o seu registro no SIPEAGRO cancelado em caso de não atendimento aos requisitos dispostos nesta Portaria, de acordo com o procedimento previsto na Instrução Normativa nº 34, de 21 de outubro de 2015.

Art. 23. O descumprimento do disposto nesta Portaria sujeita os infratores às sanções previstas no Decreto nº 86.765, de 22 de dezembro de 1981.

Art. 24. As operações com ARP que envolvam uso de agrotóxicos e afins, adjuvantes, fertilizantes, inoculantes, corretivos e sementes ficam ainda sujeitas ao disposto nas normas e legislações específicas aplicáveis ao caso.

Art. 25. Para a aplicação de agrotóxicos e afins, fica estabelecida a equivalência entre as aplicações com aeronaves tripuladas e com ARP, principalmente quanto às recomendações de uso estabelecidas na bula do produto comercial

e no receituário agrônômico, sem impedimento de que sejam aprovadas autorizações exclusivas para ARP, de acordo com o previsto na Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989.

Art. 26. Em caso de constatação de descumprimento de normas relacionadas ao uso e aplicação de agrotóxicos ou de irregularidades praticadas pelos responsáveis técnicos dos operadores de ARP's, o MAPA deverá encaminhar os documentos pertinentes ao órgão de fiscalização ou Conselho Profissional competente.

Art. 27. As instituições de ensino e pesquisa, de nível técnico e superior, públicas e privadas, que utilizam ARP's para aplicações com fins educacionais e científicos ficam dispensadas do cumprimento das exigências previstas nesta Portaria, devendo observar as normas e legislações específicas aplicáveis ao caso.

Art. 28. Os regulamentos do MAPA relativos à aviação agrícola aplicam-se subsidiariamente, no que couber, às operações de ARP de que tratam esta Portaria.

Art. 29. Esta Portaria entra em vigor em 1º de outubro de 2021.

ANEXO B - Portaria ANAC nº 94, de 01 de Junho de 2021



REGULAMENTO BRASILEIRO DA AVIAÇÃO CIVIL ESPECIAL

RBAC-E nº 94

Emenda nº 01

Título:	REQUISITOS GERAIS PARA AERONAVES NÃO TRIPULADAS DE USO CIVIL	
Aprovação:	Resolução nº 419, de 02.05.2017. [Emenda nº 00] Resolução nº 622, de 01.06.2021. [Emenda nº 01]	Origem: SAR/SPO

E94.103 Regras gerais para a operação de aeronaves não tripuladas

(a) É proibido o transporte de pessoas, animais, artigos perigosos referidos no RBAC nº 175 ou carga proibida por autoridade competente, em aeronaves não tripuladas.

(1) Essa proibição não se aplica aos artigos perigosos transportados por uma aeronave não tripulada, quando tais artigos:

(i) se destinem a lançamentos relacionados a atividades de agricultura, horticultura, florestais, controle de avalanche, controle de obstrução por gelo e deslizamentos de terra ou controle de poluição;

(ii) sejam equipamentos eletrônicos que contenham baterias de lítio necessárias para seu funcionamento, desde que sejam destinadas para uso durante o voo, tais como câmeras fotográficas, filmadoras, computadores etc. Este item não isenta o cumprimento de requisitos de certificação exigidos por outros regulamentos da ANAC;

(b) É vedado operar uma aeronave não tripulada, mesmo não sendo com o propósito de voar, de maneira descuidada ou negligente, colocando em risco vidas ou propriedades de terceiros.

(c) É proibida a operação autônoma de aeronaves não tripuladas.

(d) Todas as operações de aeronaves não tripuladas de uso não recreativo acima de 250 gramas de peso máximo de decolagem devem possuir seguro com cobertura de danos a terceiros, exceto as operações de aeronaves pertencentes a entidades controladas pelo Estado.

(f) A operação de RPA de peso máximo de decolagem acima de 250 gramas somente é permitida pela ANAC em áreas distantes de terceiros, conforme permitido o uso do espaço aéreo pelo DECEA, sob total responsabilidade do seu operador, nas seguintes condições:

(1) se forem atendidas as demais exigências deste Regulamento Especial;

(2) se houver uma avaliação de risco operacional, em formato aceitável, contemplando cada cenário operacional, que deve estar atualizada dentro dos últimos 12 meses calendáricos prévios à operação

E94.5 Classificação do RPAS e da RPA

(a) O RPAS e a RPA são classificados de acordo com o peso máximo de decolagem (PMD) da RPA da seguinte maneira:

(1) Classe 1: RPA com peso máximo de decolagem maior que 150 kg;

(2) Classe 2: RPA com peso máximo de decolagem maior que 25 kg e menor ou igual a 150 kg;

(3) Classe 3: RPA com peso máximo de decolagem menor ou igual a 25 kg.

E94.301 Registro e cadastro

(b) Exceto como previsto no parágrafo (d) desta seção, todo aeromodelo, ou RPA Classe 3 que opere somente em VLOS até 400 pés AGL, e que não seja de um projeto autorizado ou de um tipo certificado, deve ser cadastrado junto à ANAC e vinculado a uma pessoa (física ou jurídica, com CPF ou CNPJ no Brasil), que será a responsável legal pela aeronave

(c) Exceto como previsto em (d), todo aeromodelo, ou RPA Classe 3 que opere somente em VLOS até 400 pés AGL, e que não seja de um projeto autorizado ou de um tipo certificado, deve ser identificado com o seu número de cadastro.

(1) A identificação deve ser mantida em uma condição legível para uma inspeção visual próxima e estar localizada:

(i) no lado externo da fuselagem da aeronave;

(ii) em um compartimento interno da aeronave que possa ser facilmente acessado sem necessidade de uso de qualquer ferramenta

E94.401 Autorização do projeto do RPAS

(a) Somente é permitido operar um RPAS civil no Brasil se o projeto do RPAS for autorizado pela ANAC levando em consideração a Classe do RPAS e o tipo de operação (VLOS ou BVLOS), exceto nos seguintes casos:

(1) RPAS Classe 3 que se destinem exclusivamente para operações VLOS até 400 pés AGL;

E94.501 Disposições gerais

(c) As RPAs Classe 3 que se destinam unicamente a operações VLOS até 400 pés AGL e os aeromodelos não necessitam possuir qualquer certificado de aeronavegabilidade.

E94.107 Posto de trabalho do piloto remoto

(a) É necessária a presença de um piloto remoto requerido para a operação na RPS durante todas as fases do voo, sendo admitida a troca do piloto remoto em comando durante a operação.

(b) Um piloto remoto somente pode operar um único RPAS por vez, exceto se de outra forma autorizado pela ANAC. (Redação dada pela Resolução nº 622, de 01.06.2021)

ANEXO C - Portaria Anatel 465 de 22 de agosto de 2007

A certificação para operar drones com peso máximo de decolagem entre 250g e 25kg, para operações dentro da linha de visada visual (VLOS) e limitadas a 400 pés (120 metros) acima do nível do solo, é obtida de forma imediata, por meio do [cadastro no Sistema de Aeronaves não Tripuladas \(SISANT\)](#).

A operação deve seguir as regras dispostas no Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial – RBAC E-94; as regras de espaço aéreo, determinadas pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo – DECEA, disponíveis em <https://www.decea.mil.br/drone/>; e as regras da ANATEL, que disponibiliza em <https://www.gov.br/pt-br/servicos/homologar-produtos-de-telecomunicacoes#>.

Destaca-se que a operação de drones deve respeitar o afastamento lateral de pelo menos 30 metros de pessoas não anuentes e o operador do drone deve possuir e portar os documentos listados no RBAC-E nº 94 item E94.19 para uma eventual fiscalização. A certidão tem validade de 24 meses.

O cadastro é feito em <https://sistemas.anac.gov.br/sisant>, opção “[Cadastrar novo operador](#)”, e preencher as informações solicitadas. O sistema SISANT não permite o cadastro de mais de um operador para mesmo drone.

Documentação em comum para todos os casos

- Dados pessoais
- Dados de pessoa jurídica (CNPJ), se for o caso.
- Dados da aeronave (nome, modelo, fabricante, número de série).
- Combinação de nove dígitos, a ser escolhida pelo requerente, que será o número da identificação do equipamento.
- Foto da aeronave com o número de série do equipamento
- Documentação extra para uso não recreativo:
- Avaliação de risco operacional em conformidade com a IS nº E94-003
- Manual da aeronave;
- Seguro com cobertura de danos a terceiros.

ANEXO D - Portaria N° 3726/GM-MD, de 12 de Novembro de 2020

Art. 15. As entidades a que se referem os incisos I e II do caput do art. 13 poderão ser autorizadas a executar aerolevantamentos desde que estejam devidamente inscritas no Ministério da Defesa em uma das seguintes categorias:

I - categoria A, para a entidade que executa as fases aeroespacial e decorrente do aerolevantamento;

II - categoria B, para a entidade que executa a fase aeroespacial; e

III - categoria C, para a entidade que executa a fase decorrente.

Parágrafo único. Serão divulgadas, por meio do sítio do Ministério da Defesa na internet, na seção de aerolevantamento, as relações das entidades inscritas, de acordo com as categorias de que trata o caput.

Art. 38. O projeto de aerolevantamento estará pré-autorizado, com a dispensa do processo de concessão da AAFA no SisCLATEN, quando:

I - destinar-se a áreas de atividades agroflorestais ou outras que estejam dentro das condicionantes operacionais de voo com RPA de que trata a Instrução do Comando da Aeronáutica - ICA-100-40 ou norma equivalente para as aeronaves tripuladas;

II - a área a ser aerolevantada não ultrapassar um círculo de raio igual a 2,2km (dois quilômetros e duzentos metros) ou área circular inferior a 15km²(quinze quilômetros quadrados);

III - não apresentar áreas a serem aerolevantadas contendo interseção com áreas ou instalações passíveis de restrição, que possam redundar em algum tipo de procedimento específico, observando-se o interesse da Defesa; e

IV - não for do tipo geofísico.

ANEXO E - Portaria ICA 100-40/2020, de 01 de Julho de 2020

Condicionantes operacionais para operações em alturas baixas:

- a) Terem os Sistemas atendido às necessidades legais dos demais Órgãos Reguladores;
- b) Conhecer os meios de contato do Órgão Regional responsável pela área de operação;
- c) Conhecer os meios de contato com o órgão ATS mais próximo da área de operação;
- d) Operar em condições VMC;
- e) Realizar operação VLOS, em área circular, polígono ou corredor, sendo limitada a uma distância horizontal que permita a manutenção da visualização da aeronave, com ou sem auxílio de observadores;
- f) A menos que autorizado pelos proprietários, estar sua projeção vertical no solo afastada, pelo menos, 30 m de edificações, estruturas, patrimônios e animais;
- g) Estar sua projeção vertical no solo afastada, pelo menos, 30 m de pessoas não anuentes;
- h) Não voar sobre áreas povoadas e aglomeração de pessoas (exceto aquelas anuentes e/ou envolvidas na operação), salvo o previsto no item 11.2.4.11.2.1.4

Condicionantes operacionais específicas para operações do solo até 131 ft AGL (aproximadamente 40 metros de altura):

- a) Voar até 131 ft AGL (aprox. 40 m de altura acima do nível do solo);
- b) Manter-se com velocidade igual ou inferior a 30 Kt (60 km/h);
- c) Manter-se, afastado 3 NM (5 km) de aeródromos cadastrados, quando operando nas Zonas de Aproximação e de Decolagem;
- d) Manter-se, afastado 1 NM (2 km) de aeródromos cadastrados, quando operando fora das Zonas de Aproximação e de Decolagem;
- e) Manter-se, no mínimo, afastado 2 km de helipontos cadastrados, cuja altura em relação ao solo (AGL) seja inferior a 60 m;
- f) Manter-se, no mínimo, afastado 600 m de helipontos cadastrados, cuja altura em relação ao solo (AGL) seja superior a 60 m;
- g) Manter-se, no mínimo, afastado 2 km de áreas nas quais sejam previstas operações ligadas à aviação agrícola