

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal  
de Campina Grande

EMANUELA KARLA DE FREITAS APOLINÁRIO

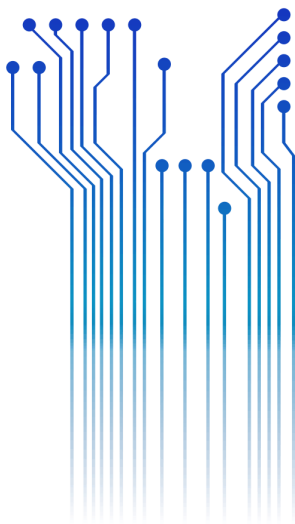


Centro de Engenharia  
Elétrica e Informática

RELATÓRIO DE ESTÁGIO  
ELETROVANT



Departamento de  
Engenharia Elétrica



Campina Grande  
2018



EMANUELA KARLA DE FREITAS APOLINÁRIO

ELETROVANT

*Relatório de Estágio Supervisionado submetido à Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Orientador:

Professor Leimar de Oliveira, M. Sc.

Campina Grande  
2018

EMANUELA KARLA DE FREITAS APOLINÁRIO

ELETROVANT

*Relatório de Estágio Supervisionado submetido  
à Coordenação do Curso de Engenharia  
Elétrica da Universidade Federal de Campina  
Grande como parte dos requisitos necessários  
para a obtenção do grau de Bacharel em  
Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Aprovado em        /        /

**Professor Avaliador**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

**Professor Leimar de Oliveira, M. Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador

*Dedico este trabalho aos meus pais, Inácia e Carlos, a quem devo tudo que sou.*

# AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que é Pai, que em seu gigante amor me proporcionou muita saúde, força, coragem e sempre colocou as melhores pessoas ao meu lado na vida e durante o curso, deixando a trajetória de graduação muito mais leve.

Agradeço muito aos meus pais, Inácia e Carlos, por todo amor, carinho, exemplo, ensinamentos, abraços, investimento, confiança. E aos meus irmãos, Ester e Rodrigo, por todo o amor, apoio e exemplo durante toda a vida. Somos um. A vocês todo o meu amor.

Agradeço muito a todos/as os/as queridos/as amigos/as que não só me acompanham na vida, mas também foram porto seguro em toda a trajetória do curso e a cada um/a que de alguma maneira contribuiu para a pessoa e profissional que sou hoje.

Agradeço imensamente ao corpo de funcionários da Eletrovant, ao Marcos e ao Marcelo que me deram a oportunidade de trabalhar em conjunto com eles e aprender bastante com cada um. Vocês são pessoas e profissionais incríveis. Em especial, agradeço ao coordenador Marcos, que não mediu esforços para me ensinar e orientar em todas as atividades do estágio.

Agradeço de coração a todos/as que compõem o Departamento de Engenharia Elétrica da UFCG. Em especial, ao professor Ubirajara por toda a confiança, motivação e por nunca deixar de acreditar no meu potencial.

Por fim, mas não menos importante, gostaria de expressar minha imensa gratidão ao professor Leimar, que me acolheu mesmo diante das dificuldades e me acompanhou como um verdadeiro educador desde então. Um verdadeiro mestre. Tenho certeza que poder contar com a sua orientação, a sua experiência e os seus ensinamentos foi peça chave no desenvolver deste estágio, sou fã desde sempre.

*Sempre que dedicares muito de ti a algo que acreditas, tenha a certeza que terás o teu melhor resultado. (Emanuela Freitas)*

## RESUMO

O presente relatório é referente ao estágio supervisionado desenvolvido pela aluna Emanuela Karla de Freitas Apolinário, concluinte do curso de graduação em Engenharia Elétrica, na empresa Eletrovant, sediada na cidade de Campina Grande, Paraíba. O referido estágio foi desenvolvido no setor de projetos, operação e manutenção técnica, responsável por gerenciar e executar todos os serviços técnicos que a empresa se propõe. Como atividades desenvolvidas pela estagiária foram realizadas o projeto e a construção de duas aeronaves não tripuladas, um Quadricóptero e um Asa, com o objetivo de serem aplicados em mapeamentos agrícolas. Inicialmente, foi feito um breve estudo acerca da definição dos veículos aéreos não tripulados (VANTs) em geral, da classificação dos mesmos e de toda a tecnologia integrada nesse tipo de aeronave. Em seguida, foram descritos todos os componentes de hardware e software utilizados no projeto e construção dos VANTs desenvolvidos, bem como os resultados finais com os mesmos prontos para alçar voo. A experiência do estágio agregou inúmeros valores e competências a estagiária, destacando-se a importância significativa do trabalho em time; a apreciação pela ética e integridade nas relações interpessoais; a capacidade de gerenciar projetos; bem como a busca constante pela excelência em todas as atividades.

**Palavras-chave:** Mapeamento agrícola. Tecnologia. VANTs.



# ABSTRACT

This report refers to the supervised internship developed by the student Emanuela Karla de Freitas Apolinário, completing the undergraduate course in Electrical Engineering, at the company Eletrovant, headquartered in the city of Campina Grande, Paraíba. This internship was performed in the technical project, operation and maintenance sector, responsible for managing and executing all the technical services available to the company. During this time, the activities developed by the intern were a project and build two UAVs, one Quadcopter and one Asa, with the objective of applying them in agricultural mappings. Initially, it was done a brief study on the definition of UAVs in general; the classification of them as well as about the technology integrated in this kind of aircraft. Then, it was described all of the hardware and software components applied in the project, building and calibration of the UAVs, as the final results with them ready to take flight. The internship experience added several values and competences for the intern, highlighting the significant importance of teamwork; appreciation for ethics and integrity in interpersonal relationships; as well as the constant quest for the excellence in all the assignments.

**Keywords:** Agricultural mappings. UAVs. Technology.

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fundação Parque Tecnológico da Paraíba, Campina Grande, PB. ....	15
Figura 2 – VANT de asa rotativa com uma câmera fotográfica acoplada. ....	17
Figura 3 – VANTs de asa rotativa. ....	19
Figura 4 – VANTs de asa fixa. ....	20
Figura 5 – Composição básica de um VANT. ....	22
Figura 6 – Estruturas de VANTs. ....	23
Figura 7 – Motor Brushless; ligação do estator em delta; rotor de quatro pólos. ....	24
Figura 8 – Descrição de uma hélice; exemplos de hélices para VANTs. ....	25
Figura 9 – Exemplos de ESCs. ....	26
Figura 10 – Controladoras de voo: (a) Pixhawk; (b) APM. ....	27
Figura 11 – Baterias LiPO. ....	30
Figura 12 – Exemplos de Rádios Controle. ....	30
Figura 13 – Exemplos de receptores. ....	31
Figura 14 – Conectores extras utilizados em VANTs. ....	32
Figura 15 – Mestruturas em formato “X” para o VANT Quadricóptero. ....	34
Figura 16 – Motor Brushless de 1000KV. ....	35
Figura 17 – Hélices 10x4,5 utilizadas para o projeto do Quadricóptero. ....	35
Figura 18 – ESC de 30A. ....	36
Figura 19 – (a) Controladora de voo APM 2.8; (b) Módulo GPS/ <i>Compass</i> + haste. ....	37
Figura 20 – Bateria LiPO de 5200 mAh utilizada no Quadricóptero. ....	37
Figura 21 – Conjunto RC/Receptor 6Ch <i>Flysky</i> . ....	38
Figura 22 – Estrutura para o projeto do VANT Asa. ....	39
Figura 23 – Servo de plástico de 9g. ....	40
Figura 24 – Motor Brushless de 1800KV acoplado a hélice 9x6. ....	40
Figura 25 – ESC de 40A. ....	41
Figura 26 – (a) Controladora de voo Pixhawk; (b) Módulo GPS/ <i>Compass</i> . ....	42
Figura 27 – Bateria LiPO de 2200 mAh utilizada no VANT Asa. ....	42
Figura 28 – Tela inicial do <i>software mission planner</i> . ....	44
Figura 29 – Instalando o <i>firmware</i> e configurando o tipo de VANT. ....	45
Figura 30 – Calibração do <i>compass</i> . ....	46
Figura 31 – Calibrando os modos de voo. ....	48
Figura 32 – Montando o VANT Quadricóptero. ....	49
Figura 33 – Controladora de voo, <i>Pixhawk</i> , sendo conectada aos outros componentes. ....	49
Figura 34 – Montando o VANT Asa. ....	50
Figura 35 – Esquema de comunicação entre os componentes do VANT Quadricóptero. ....	51
Figura 36 – Esquema de comunicação entre os componentes do VANT Asa. ....	51
Figura 37 – Apresentação dos VANTs no <i>stand</i> da Eletrovant no evento <i>Coffee Tech</i> . ....	52
Figura 38 – Estagiária e o seu supervisor. ....	52
Figura 39 – Time da Eletrovant presente no evento <i>Coffee Tech</i> . ....	53

# LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ARP</b>	Aeronave Remotamente Pilotada
<b>BEC</b>	Circuito Eliminador de Bateria (em inglês)
<b>CI</b>	Circuito Integrado
<b>CLP</b>	Controlador Lógico Programável
<b>CPU</b>	Unidade Central de Processamento (em inglês)
<b>ESC</b>	Controle Eletrônico de Velocidade (em inglês)
<b>FIEP</b>	Federação das Indústrias do Estado da Paraíba
<b>GPS</b>	Sistema de Posicionamento Global (em inglês)
<b>IMU</b>	Unidade de Medição Inercial (em inglês)
<b>LED</b>	Diodo Emissor de Luz (em inglês)
<b>LiPO</b>	Lítio + Polímero
<b>PaqTcPB</b>	Parque Tecnológico da Paraíba
<b>PDU</b>	Unidade de Distribuição de Energia (em inglês)
<b>PWM</b>	Modulação por Largura de Pulso (em inglês)
<b>RC</b>	Rádio Controle
<b>RF</b>	Rádio Frequência
<b>RTL</b>	Voltar ao Lançamento (em inglês)
<b>SR</b>	Sensoriamento Remoto
<b>UAV</b>	Veículo Aéreo Não Tripulado (em inglês)
<b>USB</b>	Barramento Serial Universal (em inglês)
<b>VANT</b>	Veículo Aéreo Não Tripulado

# LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

<b>A</b>	Ampère, unidade de corrente elétrica
<b>Ah</b>	Ampère-hora, unidade de carga elétrica (3600 coulombs)
<b>B</b>	Unidade do ângulo de seção da hélice
<b>C</b>	Unidade de corrente máxima que uma bateria eletrônica fornece
<b>G</b>	Grama, unidade de medida de massa
<b>Kg</b>	Quilograma, unidade de massa (1.000 g)
<b>kV</b>	Quilovolt, unidade de tensão (1.000 V)
<b>KV</b>	Unidade que mede a rotação máxima por volt (rpm/V)
<b>kW</b>	Quilowatt, unidade de potência (1.000 W)
<b>mA</b>	Miliampère, unidade de corrente elétrica (0,001 A)
<b>mAh</b>	Miliampère-hora, unidade de carga elétrica (3,600 coulombs)
<b>mΩ</b>	Miliohm, unidade de resistência elétrica (0,001 Ω)
<b>MΩ</b>	Megaohm, unidade de resistência elétrica (1.000.000 Ω)
<b>Rpm</b>	Rotação por minuto, unidade de velocidade angular
<b>S</b>	Número de células em um grupo de baterias
<b>V</b>	Volt, unidade de tensão

# SUMÁRIO

1	Introdução .....	14
1.1	Motivações do Estágio .....	14
1.2	Objetivos do Estágio .....	14
1.3	Empresa Eletrovant .....	15
1.4	Estrutura do Relatório .....	16
2	Embasamento Teórico .....	17
2.1	Veículos Aéreos Não Tripulados .....	17
2.2	Classificação dos VANTs .....	18
2.2.1	VANTs de Asa Rotativa: .....	18
2.2.2	VANTs de Asa Fixa: .....	19
2.3	Tecnologia embarcada nos VANTs .....	20
2.3.1	Sensoriamento Remoto .....	20
2.3.2	Telemetria .....	21
2.3.3	Rádio Frequência .....	21
2.4	Componentes Básicos de um VANT .....	22
2.4.1	Estrutura .....	23
2.4.2	Motores .....	23
2.4.3	Hélices .....	24
2.4.4	Controlador de Velocidade .....	25
2.4.5	Placa Controladora de Voo .....	26
2.4.5.1	Sensores .....	28
2.4.6	Baterias .....	29
2.4.7	Rádio Controle .....	30
2.4.8	Acessórios conectores .....	31
3	Atividades Desenvolvidas .....	33
3.1	Projeto de um VANT Quadricóptero .....	33
3.1.1	Estrutura .....	33
3.1.2	Motores e Hélices .....	34
3.1.3	Controladores de Velocidade .....	35
3.1.4	Placa Controladora de Voo .....	36
3.1.5	Bateria .....	37
3.1.6	Conjunto Rádio Controle e Receptor .....	37

3.2	Projeto de um VANT Asa.....	38
3.2.1	Estrutura .....	38
3.2.2	Servos .....	39
3.2.3	Motor e Hélice.....	40
3.2.4	Controlador de Velocidade.....	41
3.2.5	Placa Controladora de Voo .....	41
3.2.6	Bateria .....	42
3.2.7	Conjunto Rádio Controle e Receptor .....	42
3.3	Construção dos VANTs .....	43
3.3.1	Aquisição e Teste dos Componentes.....	43
3.3.2	Calibração.....	44
3.3.3	Montagem.....	48
3.3.4	Resultados .....	51
4	Considerações finais .....	54
	Referências .....	56

# 1 INTRODUÇÃO

O presente relatório descreve as atividades desenvolvidas pela aluna concluinte do curso de graduação em Engenharia Elétrica, Emanuela Karla de Freitas Apolinário, em seu estágio supervisionado realizado na empresa Eletrovant.

Desenvolvido em uma carga horária de 191 horas, durante o período de 10 de setembro de 2018 a 09 de novembro de 2018, o estágio ocorreu sob a supervisão do coordenador de projetos e proprietário da empresa, Marcos Vinícius da Silva Filho.

As atividades foram desenvolvidas pela estagiária no setor de projetos, operação e manutenção técnica, responsável por gerenciar e executar todos os serviços técnicos que a empresa se dispõe, no qual a mesma trabalhou em conjunto com o engenheiro Armando e com o Marcos.

## 1.1 MOTIVAÇÕES DO ESTÁGIO

A empresa Eletrovant surgiu como *startup* com o intuito de solucionar problemas do setor agrícola através do processamento de imagens aéreas coletadas por câmeras acopladas a aeronaves não tripuladas (VANTs). Devido ao baixo número de integrantes da empresa, a mesma ofereceu a oportunidade de estágio a fim de suprir o déficit no setor de projetos, operação e manutenção técnica, solicitando que o/a estagiário/a contribuísse para a eficiência e evolução do setor técnico da empresa.

## 1.2 OBJETIVOS DO ESTÁGIO

Os principais objetivos do estágio são projetar e construir um VANT Quadricóptero e um VANT de Asa Fixa.

### 1.3 EMPRESA ELETROVANT

A Eletrovant é a primeira indústria especializada no setor de VANTs do eixo Norte-Nordeste brasileiro. Tem como missão atuar na área de desenvolvimento de VANTs, trazendo soluções inovadoras, ecologicamente corretas e adequadas as necessidades dos seus clientes contribuindo para o desenvolvimento tecnológico brasileiro, sempre trabalhando com muita excelência, responsabilidade social e respeito.

Localizada em um dos maiores pólos tecnológicos do Brasil e próxima a um vasto mercado agrícola, a empresa tem nesse mercado seu grande foco de atuação, projetando e construindo seus VANTs para serem grandes instrumentos de eficiência e otimização de vários processos agrícolas.

Atualmente, a Eletrovant pertence ao seletto grupo de empresas incubadas pela Fundação Parque Tecnológico da Paraíba (PaqTcPB), local onde possui seu escritório na cidade de Campina Grande, PB.

Figura 1 - Fundação Parque Tecnológico da Paraíba, Campina Grande, PB.



Fonte: Própria autora.



## 1.4 ESTRUTURA DO RELATÓRIO

O presente relatório foi estruturado em quatro capítulos.

O Capítulo 1 consiste na introdução detalhando a motivação e os objetivos do estágio, descrevendo a empresa Eletrovant, na qual foi desenvolvido o estágio; encerrando com esta descrição da estrutura do trabalho.

O Capítulo 2 define todo o estudo que serviu de base teórica para o desenvolvimento das atividades no estágio, inicialmente tem-se a definição das aeronaves não tripuladas seguida da classificação dessas aeronaves. Logo após são expostos os conceitos sobre a tecnologia embarcada nesse tipo de aeronave, e ao final do capítulo, são descritos os componentes básicos de um VANT.

O Capítulo 3 descreve as três atividades desenvolvidas no decorrer do estágio. Iniciando com a descrição de todo o projeto do VANT Quadricóptero, apresentando cada componente; seguido do projeto do VANT Asa, também expondo cada componente especificamente; e logo após, detalhando a construção de cada VANT, descrevendo as fases de teste, calibração, montagem e resultados.

Por fim, o Capítulo 4 expõe algumas considerações finais e conclusões acerca de todo o estágio.

## 2 EMBASAMENTO TEÓRICO

As aeronaves não tripuladas são dispositivos que se destacam por sua evolução rápida e sua vasta aplicação dentre os mais variados objetivos. Considerada ser um equipamento de alta complexidade e multifuncional, carrega em si a capacidade de unir as quatro maiores áreas de estudo da Engenharia Elétrica, aliando o estudo de propulsão de motores, a comunicação entre o rádio e os receptores, a eletrônica analógica e a tecnologia de sistemas embarcados.

Dessa maneira, com o objetivo de se construir tais aeronaves, o presente trabalho teve como base teórica os estudos acerca da definição de uma aeronave não tripulada, da classificação dessas aeronaves, do aprofundamento da tecnologia embarcada nas mesmas, bem como de compreender detalhadamente sua composição básica.

### 2.1 VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS

Os veículos aéreos não tripulados (VANTs), conhecidos mundialmente como UAVs (*Unmanned Aerial Vehicles*), são definidos como todo e qualquer tipo de aeronave que tem a possibilidade de ser controlada nos três eixos e que não requer a presença de um piloto a bordo, ou seja, são veículos operados remotamente por meios eletrônicos e computacionais, sob a supervisão de humanos, ou mesmo sem a sua intervenção, por meio de Controladores Lógicos Programáveis (CLPs).

Figura 2 - VANT de asa rotativa com uma câmera fotográfica acoplada.



Fonte: (LEGRAND, 2015).

Tais aeronaves são veículos que utilizam hélices para voar e o fato do barulho oriundo do movimento das hélices ser similar ao som de um zangão fez com que fossem conhecidas de maneira popular por *drones* (palavra inglesa que traduzida para o português significa “zangão” ou “zumbido”) (DECEA, 2016).

De acordo com o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA, 2016) da Aeronáutica no Brasil, as aeronaves não tripuladas na legislação brasileira são classificadas segundo a sua aplicação, sendo divididas em:

- Aeromodelos - aeronaves não tripuladas utilizadas apenas para fins recreativos.
- VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados) - aeronaves não tripuladas utilizadas para fins comerciais e profissionais. Ainda para ser designado como um VANT, o *drone* precisa possuir uma carga útil embarcada não necessária para o seu voo.

Em vista da diversidade de fins comerciais e profissionais, no Brasil, os VANTs ainda são classificados em:

- Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) – VANT controlado por um piloto através de controle remoto, simulador, computador, etc.
- Aeronave Autônoma – uma vez programada não permite a intervenção externa durante o voo.

## 2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS VANTS

Os VANTs podem ser classificados em vários critérios como autonomia, material, peso, altura de voo entre outros. Porém, é muito comum os VANTs serem escolhidos em função da sua aplicação, dessa maneira, primariamente existem duas categorias: asas fixas e asas rotativas.

### 2.2.1 VANTS DE ASA ROTATIVA:

Os VANTs de asa rotativa podem ser do tipo helicóptero convencional ou multirotor, sendo caracterizados por possuírem duas ou mais hélices. A sustentação desses “robózinhas” no ar é feita pelo empuxo das hélices movimentadas pelo giro dos motores.

Segundo Santos (2016), os VANTs de asa rotativa são hoje a categoria mais comum entre as aeronaves não tripuladas, principalmente para aplicações civis. São muito versáteis, com capacidade de decolagem e pouso vertical (não necessitam de pista para tal), e boa estabilidade. Suas maiores aplicações são filmagens aéreas devido a sua facilidade de uso, operações em locais de difícil acesso, perigosos e fechados, no entanto, possuem uma autonomia de voo limitada além de um alto custo de aquisição, dependendo da aplicação, restringindo sua utilização em certas aplicações.

Figura 3 - VANTs de asa rotativa.



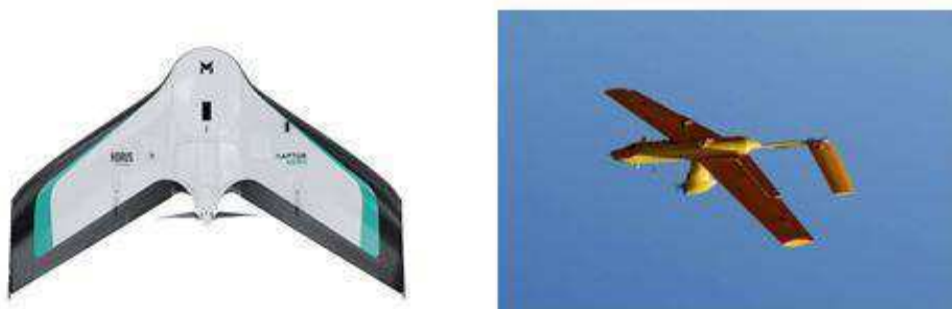
Fonte: (DJI, 2016; REES, 2015).

### 2.2.2 VANTs DE ASA FIXA:

São caracterizados por possuírem asas e necessitarem de uma catapulta de lançamento, pista para decolagem e pouso, ou pouso por paraquedas. Os VANTs de asa fixa se assemelham a um avião moderno, possuindo sustentação aerodinâmica a partir do fluxo de ar nas asas (SANTOS, 2016). Tais dispositivos possuem uma maior autonomia e, muitas vezes, um custo reduzido, o que contribui na utilização em várias aplicações que necessitem de uma maior autonomia, como mapeamento aéreo, onde é necessária a cobertura de grandes áreas.

De acordo com Ribeiro (2016), os *drones* de asa fixa são VANTs mais difíceis de operar, os mesmos possuem sistemas de piloto automático que realizam boa parte do trabalho, desde a decolagem ao pouso automático, podendo utilizar sensores e câmeras embarcados. A variedade destes modelos, bem como dos componentes embarcados, só aumenta a cada ano.

Figura 4 - VANTs de asa fixa.



Fonte: (HORUS, 2018; AGX, 2012).

## 2.3 TECNOLOGIA EMBARCADA NOS VANTs

As aeronaves não tripuladas tiveram sua ascensão aliadas a vasta aplicação tecnológica que as mesmas comportam. À medida que foram surgindo novas técnicas de comunicação e transmissão de dados à distância e sem fio, abriram-se as portas para que os VANTs evoluíssem e fossem aplicados nas mais diversas atividades, permitindo ainda que os mesmos se tornassem cada vez mais autônomos. Dessa maneira, a tecnologia embarcada nesse tipo de aeronave pode ser resumida na associação das três técnicas descritas a seguir:

### 2.3.1 SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto (SR) pode ser definido como um conjunto de técnicas e procedimentos tecnológicos que tem o objetivo de representar e coletar dados da superfície terrestre sem a necessidade de um contato direto. Através da interação dos objetos em solo com a energia eletromagnética radiada pelo sol, o registro dessa interação pode ser realizado por sensores distantes ou remotos instalados geralmente em plataformas orbitais, satélites ou aviões (BEZERRA, 2015).

Os sensores utilizados para captura da energia eletromagnética proveniente do sol são os ópticos-eletrônicos; tais sensores usam o mesmo princípio de uma câmera fotográfica (que capta e registra a radiação – luz – emitida/refletida pelo objeto) tirando fotos do solo, só que um pouco mais sofisticados.

As câmeras fotográficas comuns captam apenas o espectro de luz visível, já os sensores utilizados no SR chegam a captar outras bandas, como o infravermelho, muito aplicado no estudo das vegetações.

Todo esse conjunto de técnicas de registro da superfície por meio da fotografia foi chamado de aerofotogrametria, que, além de conter o registro da imagem, o processo consiste também no tratamento dessa e de suas adaptações para a produção de visualizações de áreas inteiras, tendo uma grande aplicação na agricultura (LONGHITANO, 2010).

O sensoriamento remoto por VANTs oferece as vantagens de não apresentar risco de perda de vidas de tripulantes e de muitas vezes, dependendo do tamanho, as aeronaves serem invisíveis a sistemas de vigilância do espaço aéreo. Além disso, embora os principais projetos de VANTs sejam dispendiosos, ainda assim custam menos que uma aeronave tripulada ou um satélite para os mesmos fins.

### 2.3.2 TELEMETRIA

O termo telemetria é resultado da união de duas palavras gregas, *tele* que significa longe, e *metron* que significa instrumento para medir, por esse motivo, é uma tecnologia definida como um sistema de monitoramento que pode ser usado para medir, rastrear ou comandar dados e informações à distância ou em locais remotos, através de dispositivos de comunicação sem fio (ondas de rádio, infravermelho ou satélites), transmitindo as informações coletadas para uma central de controle, que tem por função acompanhar e decodificar as mesmas.

A tecnologia da telemetria é peça chave na realização do voo de uma aeronave não tripulada, no qual se faz necessário o retorno de todos os dados em tempo real. Assim, através dessa tecnologia, o piloto recebe em solo importantes informações acerca do comportamento, da velocidade e da posição em terra (GPS - em inglês) do VANT, bem como da distância entre ele mesmo e a aeronave (SANTOS, 2015).

### 2.3.3 RÁDIO FREQUÊNCIA

Segundo Santos (2015), a descoberta das ondas eletromagnéticas (ondas que não precisam de um meio para se propagar) foi uma das mais importantes do século 19, no qual, teoricamente o físico escocês, James Clerck Maxwell em 1864, conseguiu provar que uma

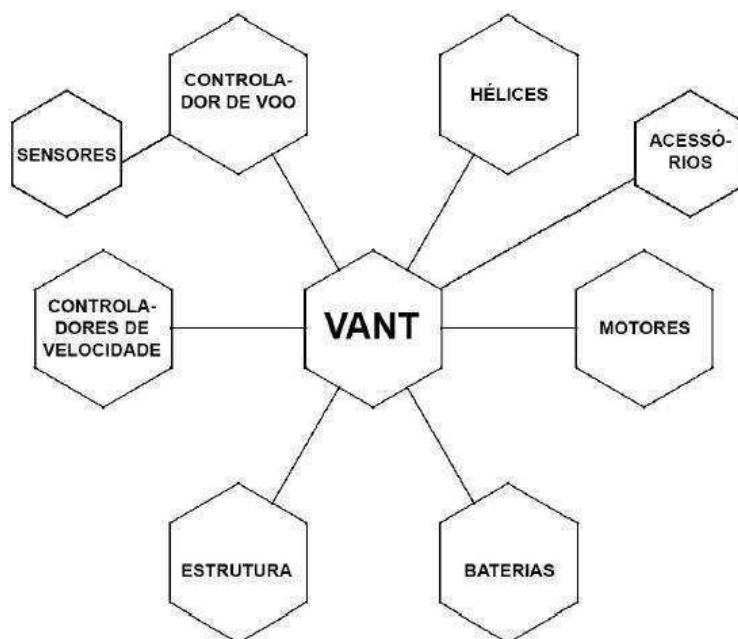
onda eletromagnética devia se propagar no vácuo com velocidade equivalente à velocidade da luz. E experimentalmente, Henrich Hertz em 1887, verificou tal teoria produzindo ondas eletromagnéticas por meio de circuitos oscilantes e os detectando por meio de outros circuitos sintonizados na mesma frequência, dando origem a transmissão por rádio frequência (RF).

Desde então as ondas eletromagnéticas revolucionaram as comunicações por anos. E foi através desse fenômeno que os VANTs puderam ser controlados. O Sistema de Rádio Controle (RC) implantado em uma aeronave não tripulada pode ser definido simplesmente como sendo a emissão de ondas de rádio feita por um rádio transmissor em solo e recebida por um receptor na aeronave.

## 2.4 COMPONENTES BÁSICOS DE UM VANT

De acordo com Demolinari (2016), na composição básica de um VANT existem seis componentes principais que devem ser escolhidos e especificados para se construir uma aeronave, são eles: Estrutura (*frame*), motores, hélices, controladores de velocidade, controlador de voo e baterias. Além desses, existem os conectores que interligam os mesmos, existem alguns componentes opcionais, como sensores, que são muito utilizados.

Figura 5 - Composição básica de um VANT.



Fonte: (DEMOLINARI, 2016).

### 2.4.1 ESTRUTURA

Os VANTs possuem uma estrutura básica chamada de *frame*, designada como o corpo da aeronave. A mesma é formada por uma região central na qual são acoplados os braços e fixados os sensores, o controlador de voo e as baterias. Nas extremidades dos braços são acoplados os motores, que em alguns casos, necessitam ainda de suportes.

Na escolha do tipo de *frame*, alguns critérios são determinantes, como o peso da estrutura e o peso extra, caso se tenha o objetivo de que algum material seja transportado pelo VANT. Um fator que contribui muito para a estabilidade de um multirrotor e a capacidade de suportar um peso extra é o número de hélices, pois quanto mais hélices o mesmo possuir, maiores serão tais habilidades (SANTOS, 2015).

Figura 6 - Estruturas de VANTs.



Fonte: (Mercado Livre Brasil, 2018; THINGBITS, 2018).

### 2.4.2 MOTORES

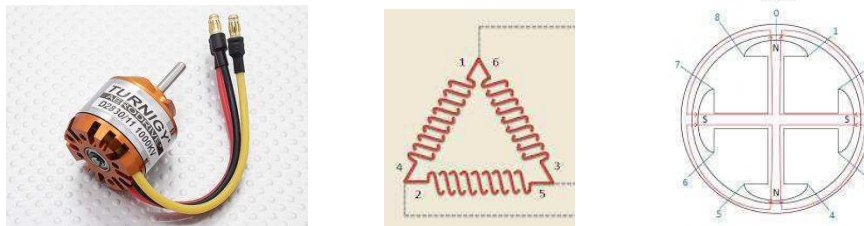
Os principais tipos de máquinas elétricas aplicados aos VANTs são os motores elétricos. No mercado podem ser encontrados os motores com escovas e os sem escovas (chamados de “*Brushless*”). Como os VANTs requerem altas rotações e potências relativamente altas, os motores de indução sem escovas são amplamente utilizados por seu destaque em eficiência e durabilidade.

Tais motores dispõem de três cabos conectores em seu acionamento e no controle da rotação. Diante de uma grande análise entre vantagens e desvantagens dos motores sem escovas assíncronos e síncronos, concluiu-se que para superar o “escorregamento” do rotor, os motores de indução síncronos têm sido cada vez mais usados em diversas aplicações, por sua precisão em velocidades variáveis e principalmente por manter uma faixa constante de torque transmitido em diferentes rotações (HUGUES e DRURY, 2013 apud DEMOLINARI, 2016).



A escolha de qual motor utilizar nos VANTs deve considerar, principalmente, a força de propulsão do mesmo, ao passo que o VANT depende unicamente dos efeitos de rotação dos motores para manutenção do seu voo, bem como, para realização de manobras. No entanto, para que se possa estimar a propulsão necessária alguns outros fatores precisam ser conhecidos como, por exemplo, o peso total da aeronave (SANTOS, 2015).

Figura 7 - Motor *Brushless*; ligação do estator em delta; rotor de quatro pólos.



Fonte: (HOBBYKING, 2018; GOMES, 2017; Blog de Maquinas Electricas II, 2014).

### 2.4.3 HÉLICES

Em uma aeronave não tripulada, as hélices são os equipamentos que trabalham sob as condições mais agressivas, pois sobre elas recai a atuação do torque dos motores e da força de arrasto aerodinâmico da propulsão do ar, além das rápidas acelerações e desacelerações que ocorrem com o objetivo de manterem a estabilidade do voo da aeronave. Assim, é essencial que tais componentes sejam resistentes e duráveis, bem como, econômicos, visto que são os mais atingidos na ocorrência de acidentes (SANTOS, 2016).

As hélices são componentes essenciais quando se quer determinar o torque de um motor, pois o mesmo varia diretamente proporcional ao tamanho das hélices, porém sua rotação varia de maneira inversa.

Segundo Demolinari (2016), hélices comerciais são fabricadas de diversos materiais e são designadas por dois parâmetros principais, o diâmetro e o passo da hélice. O último é uma medida teórica que indica o quanto a hélice seria deslocada realizando um giro completo e está associada ao ângulo de seção da hélice ( $\beta$ ) que é variável ao longo da sua pá.

Figura 8 - Descrição de uma hélice; exemplos de hélices para VANTs.



Fonte: (DEMOLINARI, 2016; Mercado Livre Brasil, 2018).

#### 2.4.4 CONTROLADOR DE VELOCIDADE

Para que se tenha o controle da rotação de um motor trifásico, ou seja, que se tenha a possibilidade de variar sua velocidade e direção de giro é necessário um sistema eletrônico de potência que contenha inversores, sensores e que seja capaz de controlar os acionamentos; esse sistema é o Controlador Eletrônico de Velocidade, popularmente conhecido como ESC (*Electronic Speed Controller*).

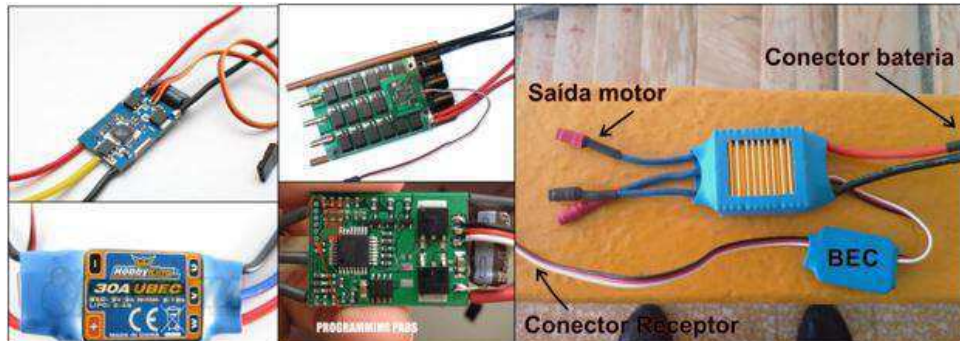
Ao se escolher o ESC mais adequado para os VANTs devem-se levar em consideração alguns critérios como:

- Leveza;
- Baixa resistência de chaveamento, na qual permite que o VANT possa sofrer um aquecimento mínimo quando operando em alta potência, possibilitando ter um peso baixo e uma longa duração;
- Desligamento de segurança caso haja perda do sinal de controle;
- Circuito Eliminator de Bateria (BEC - em inglês) - permite que a bateria de voo alimente o equipamento receptor do VANT, fazendo com que não seja necessária a instalação de outra bateria só para a alimentação do mesmo;

- Desligamento em baixa tensão (tem a função de desabilitar o motor quando ocorrer qualquer queda de tensão na bateria a um valor muito baixo permitindo que o rádio continue em funcionamento);
- Alta modulação por largura de pulso (PWM - em inglês);
- Resposta em aceleração programável, permitindo o ajuste da aceleração e aperfeiçoando a sua resposta com a aeronave.

Sabendo-se que a velocidade ou rotação do motor tem sua variação diretamente proporcional à tensão aplicada em seus terminais, e que o torque do motor varia diretamente proporcional ao fluxo de corrente que passa por ele, se concluiu que a tensão poderia ser facilmente controlada se fosse utilizado um sinal PWM para recortar a corrente do motor de forma proporcional a uma aceleração desejada. Esse processo é realizado através do chaveamento de uma alimentação para um dispositivo ligando e desligando em uma dada frequência, com uma variação do tempo de permanência, tempo esse denominado “*duty cycle*” (ciclo de trabalho) (DEMOLINARI, 2016).

Figura 9 - Exemplos de ESCs.



Fonte: (DronEng, 2016).

#### 2.4.5 PLACA CONTROLADORA DE VOO

Com o advento da eletrônica e das técnicas de controle, cada vez mais estão sendo aplicados dispositivos mecatrônicos de apoio a sistemas de comando. Porém, a evolução dos VANTs só se tornou possível através do avanço das tecnologias de sistemas embarcados, que possibilitou o surgimento das placas controladoras de voo.

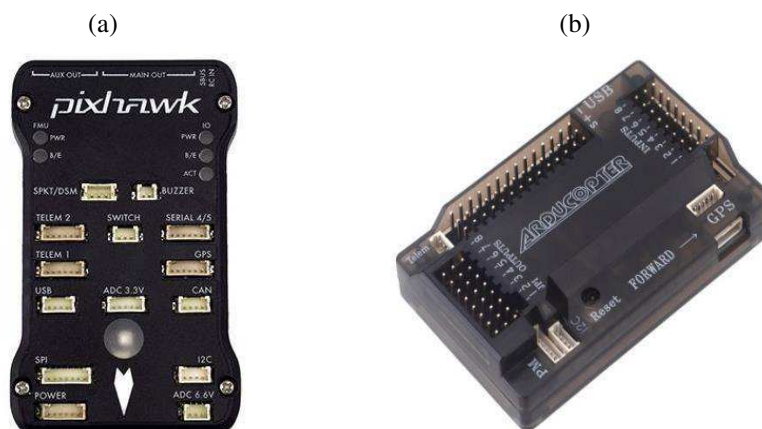
Considerada a “inteligência central” de toda a aeronave não tripulada, a placa de controle de voo com certeza é o principal componente em qualquer VANT, na qual é

responsável por executar e controlar todo o sistema de voo. A mesma pode ser definida como um circuito integrado (CI) composto por um microprocessador aliado a sensores e pinos (SANTOS, 2016).

As placas controladoras de voo são classificadas principalmente em duas categorias, código aberto e código fechado. A categoria de código aberto, como o nome já sugere, é desenvolvida pela comunidade em geral e permitem alterações nos algoritmos que controlam o *hardware*; já a categoria de código fechado não permite tais alterações.

Atualmente, existem diversas controladoras de voo no mercado, as mais conhecidas são a Pixhawk e a APM, na qual a segunda consiste numa versão anterior da primeira. A Pixhawk é considerada a última geração de controladora de voo de código aberto, possuindo uma capacidade de voo autônomo baseada na plataforma Arduino.

Figura 10 - Controladoras de voo: (a) Pixhawk; (b) APM.



Fonte: (PIXHAWK, 2018; ARDUPILOT, 2018).

Ambos são pilotos automáticos completos capazes de prover estabilização autônoma, através da realimentação dos sensores, que por sua vez, fazem o monitoramento do estado físico da aeronave (SANTOS, 2015).

Especificamente, em relação à APM, a Pixhawk possui sensores mais precisos e distribuídos na placa de uma maneira mais otimizada. Além de possuir a grande vantagem de acoplar-se um cartão de memória a mesma, possibilitando um maior salvamento de dados, principalmente poupando sua memória interna, essa vantagem é de extrema importância para a aplicação dos VANTs em mapeamentos agrícolas, visando que há necessidade de armazenar um maior número de dados.

### 2.4.5.1 SENSORES

Um sensor pode ser definido como um dispositivo eletrônico cuja função é realizar a medição de determinados parâmetros. Os principais sensores que integram essas controladoras são alocados em um circuito eletrônico denominado Unidade de Medidas Inerciais (IMU), os mesmos são: giroscópio, acelerômetro, magnetômetro, bússola, barômetro e o GPS. A seguir, esses sensores são descritos.

#### A. Giroscópio:

Responsável por identificar a ação da aeronave, o giroscópio fornece uma referência de direção do VANT.

#### B. Acelerômetro:

O acelerômetro é um dispositivo usado para medir sua própria aceleração bem como medir inclinação, rotação, vibração, colisão e gravidade, sendo um sensor de grande aplicação no ramo da robótica. Os mesmos são classificados em capacitivos, piezos resistivos e piezelétricos.

#### C. Barômetro:

O barômetro é um sensor de pressão, no qual através da mudança de pressão à medida que o VANT se afasta do mar, o mesmo indica a altura da aeronave.

#### D. Magnetômetro:

É um dispositivo capaz de mensurar o campo magnético em um determinado material magnético e detectar a direção do campo no espaço, função essa ideal para navegação aérea e muito aplicada aos VANTs.

#### E. GPS:

É um Sistema de Posicionamento Global que em conexão com os satélites em órbita ao redor da Terra informa a posição geográfica da aeronave.

Para os VANTs, o GPS é essencial no que se refere ao voo autônomo, no qual permite traçar uma rota de voo através do *software* em estação terra, em que se marca o local de partida e chegada do VANT, bem como pode servir de guia para o voo.

#### F. *Compass*:

Definidos como uma bússola eletrônica, o sensor *compass* é o responsável pela orientação dos pólos para o VANT. O mesmo pode ser externo ou interno a controladora de voo. O *compass* externo é integrado junto ao GPS e necessita de uma base com uma haste longa para que esteja afastado dos outros componentes, pois a corrente que passa nesses componentes, gera um campo magnético que pode causar interferência na leitura do *compass*. Porém, o interno é alocado de maneira otimizada na controladora (SANTOS, 2016).

#### 2.4.6 BATERIAS

De acordo com Demolinari (2016), as baterias se destacam dentre os componentes que mais avançaram nas últimas décadas. A partir dessa evolução surgiram as famosas baterias LiPO. As mesmas recebem esse nome por terem se originado a partir de filmes microscópicos de lítio (lítio + polímero). A nanotecnologia é utilizada pelas baterias LiPO na forma de permitir que os elétrons passem mais livremente do ânodo para o cátodo com menos resistência interna, diminuindo assim, suas tensões.

Dessa maneira, tais baterias são as mais aplicadas nas aeronaves não tripuladas, e as principais características de uma bateria que se devem considerar para a aplicação em VANTs são: carga, taxa de descarga, número de células e peso.

- A carga mede a quantidade de energia armazenada nas células eletroquímicas da bateria. Sua unidade de medida é o Ampère-hora (Ah) que equivale a 3600 Coulomb.
- A taxa de descarga mede a quantidade de corrente que a bateria é capaz de fornecer. A mesma é tratada pelos fabricantes com a designação C, por exemplo, uma bateria de 1000 mAh e 2C seria capaz de fornecer uma corrente máxima de 2000 mA (2 x 1000).
- O número de células (S) define quantos grupos de pequenas baterias existem no conjunto comercial vendido, cada grupo ou célula é definido como uma bateria de 3,7V, quando descarregadas (limite de descarga de 80% da capacidade total) e 4,2V quando totalmente carregadas.

A seguir, tem-se algumas vantagens das baterias LiPO em relação as baterias tradicionais:

- Densidade de potência chega a 7,5 kW/kg;
- Menor diminuição de tensão durante a descarga elevada;
- A resistência interna pode alcançar índices tão baixos quanto 1,2 mΩ comparado com 3 MΩ da bateria padrão;
- Maior controle térmico, a embalagem normalmente não excede 60°C;
- Inchaço durante carga pesada não excede 5%, em comparação com 15% de uma bateria normal;
- Maior vida útil por ciclo, quase o dobro de uma bateria padrão (SANTOS, 2015).

Figura 11 - BateriasLiPO.



Fonte: (ECODRONES, 2018; ALIBABA, 2018).

#### 2.4.7 RÁDIO CONTROLE

Um dos dispositivos essenciais no funcionamento de um VANT é o RC, também denominado enlace de rádio. O RC via RF é necessário para fazer o controle do VANT manualmente, bem como, para evitar que a aeronave caia caso venha ocorrer alguma falha no sistema, ou ainda, ocorrer alguma interferência externa durante o voo.

O número mínimo de canais que um RC precisa ter para possibilitar o comando de uma aeronave não tripulada são quatro, nos quais são responsáveis pelos movimentos básicos de rolagem, arfagem, guinada e aceleração dos motores (translação vertical) (DEMOLINARI, 2016).

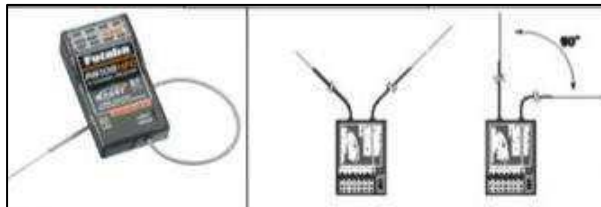
Figura 12 - Exemplos de Rádios controle.



Fonte: (DronEng, 2016).

Junto a todo RC associa-se um receptor que é responsável por receber os comandos do rádio e no VANT, enviá-los as máquinas elétricas para que acelerem ou desacelerem, e também para a placa controladora do VANT, indicando se assume o modo manual ou automático.

Figura 13 - Exemplos de receptores.



Fonte: (DronEng, 2016).

Os receptores com duas antenas são os mais indicados, pois o receptor tem a opção de alternar entre o envio e a recepção do sinal entre as antenas. Portanto se há perda do sinal de uma antena, o Rádio ainda consegue manter o sinal da outra, evitando assim uma queda do equipamento. Ressaltando que, no caso do receptor de duas antenas é essencial que as antenas sejam colocadas com uma diferença de  $90^\circ$  entre elas, como é mostrado na figura 13, para que seja possível garantir uma cobertura de sinal em todas as direções.

#### 2.4.8 ACESSÓRIOS CONECTORES

Além dos componentes principais de um VANT, em sua construção são necessários alguns conectores que interligam esses componentes, são eles: os conectores dos motores para os ESCs e o conector da bateria, bem como a chamada unidade de distribuição de energia (PDU - em inglês).

Assim, apesar da possibilidade de poder conectar através de soldagem todos os componentes diretamente uns nos outros, percebeu-se o quanto melhor seria criar pontos intermediários de conexão que permitiriam, por exemplo, a troca de componentes que venham a sofrer algum dano. Para facilitar tais trocas, os ESCs são soldados a conectores “Deans” que serão conectados a uma PDU fixada na parte central do VANT (DEMOLINARI, 2016).



Figura 14 - Conectores extras utilizados em VANTs.



Fonte: (DEMOLINARI, 2016).

## 3 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

De acordo com a necessidade atual da empresa, foi preciso, com consentimento da estagiária, que as atividades que constam no plano de trabalho fossem adaptadas para o desenvolvimento de outra atividade mais urgente relacionada ao setor da empresa em que seria realizado o estágio. Nesse sentido, as atividades realizadas durante o estágio foram o projeto e a construção de dois VANTs, um tipo Asa (Asa fixa) e um Quadricóptero (Asa rotativa), a fim de serem aplicados para mapeamento agrícola.

### 3.1 PROJETO DE UM VANT QUADRICÓPTERO

A primeira atividade a ser desenvolvida pela estagiária na empresa foi projetar um VANT multirrotor, mais especificamente, um Quadricóptero. Antes de iniciar o projeto, foi necessário realizar todo um estudo sobre as aeronaves não tripuladas de asa rotativa e sobre os seus componentes específicos, além dos componentes básicos dos VANTs em geral.

Logo em seguida, foi possível dar início ao projeto escolhendo os componentes mais adequados e levando em consideração, principalmente, a aplicação do VANT no mapeamento agrícola. Faz-se necessário ressaltar, que o preço de cada componente foi decisivo na escolha final, sendo escolhidos os de menor custo. A seguir são descritos os materiais utilizados no projeto do VANT Quadricóptero, bem como a justificativa de cada escolha especificamente, sempre obedecendo à composição básica de uma aeronave não tripulada.

#### 3.1.1 ESTRUTURA

O Quadricóptero é caracterizado por possuir estabilidade satisfatória e que, comparado a outros multirrotos, consegue se deslocar com mais rapidez no ar.

Levando em consideração que a configuração da estrutura de um multirrotor pode ser feita de duas maneiras principais: uma em formato de cruz, com a placa controladora de voo voltada para um dos motores; e outra em formato de “X”, com a controladora de voo voltada para o espaço entre dois motores, nesse projeto foi decidido utilizar a

orientação em “X”, levando em consideração que a mesma possui vantagens muito pertinentes para a aplicação no mapeamento agrícola, como maior agilidade deslocando-se no plano (x, y), facilidade no acoplamento de câmeras frontais, bem como uma estrutura compacta, que contribui para um menor atrito com as rajadas de vento, e, caso o VANT se encontre com uma corrente de ar, o mesmo vai se deslocar com mais facilidade.

Mais especificamente, foi escolhida a estrutura *Frame F450* para um Quadricóptero, como mostra a figura 15.

Figura 15 - Estrutura central com braços acoplados em formato “X” para Quadricóptero.



Fonte: Própria autora.

### 3.1.2 MOTORES E HÉLICES

Para que o Quadricóptero consiga alçar voo e garantir estabilidade no ar são necessários quatro motores idênticos que com sua respectiva rotação impulsiona os movimentos e manobras do VANT em voo.

Na escolha do melhor motor para o projeto foram levados em consideração os seguintes fatores: a rotação máxima por volt (KV - unidade utilizada para representar rpm/V), o peso, a potência e a força de propulsão (usando configurações da bateria e das hélices).

Dessa maneira, o motor escolhido foi o A2212 de 1000KV, utilizando uma alimentação de 12V. Sendo um motor suficiente para que o VANT possa levantar voo e realizar manobras, tendo um ótimo desempenho em velocidade e torque.

Figura 16 - Motor *Brushless* de 1000KV.

Fonte: Própria autora.

Posteriormente, foi escolhida a hélice a ser acoplada em cada motor. Levando em consideração que um passo maior resulta em maiores propulsões, porém isso exige mais torque do motor, aumentando as correntes envolvidas em seu acionamento, e conseqüentemente diminuindo a vida útil do mesmo, a hélice escolhida foi a 1045 ou 10x4,5 na qual possui 10 polegadas (0.250 metros) de diâmetro e 4,5 polegadas (0.114 metros) de passo teórico.

Figura 17 - Hélices 10x4,5 utilizadas para o projeto do Quadricóptero.



Fonte: (Mercado Livre Brasil, 2018).

### 3.1.3 CONTROLADORES DE VELOCIDADE

Diante de toda a análise acerca dos controladores de velocidade, levando-se em consideração que o preço dos ESCs no mercado varia exponencialmente à medida que a capacidade de corrente a ser suportada pelos mesmos aumenta, e que no VANT Quadricóptero são necessários quatro ESCs, um para o controle de cada motor, foi

escolhido o ESC/BEC de 30A, por ser o mais barato do mercado, ter facilidade na troca e assim mesmo atender todas as especificações do motor sem escovas escolhido.

Figura 18 - ESC de 30A.



Fonte: Própria autora.

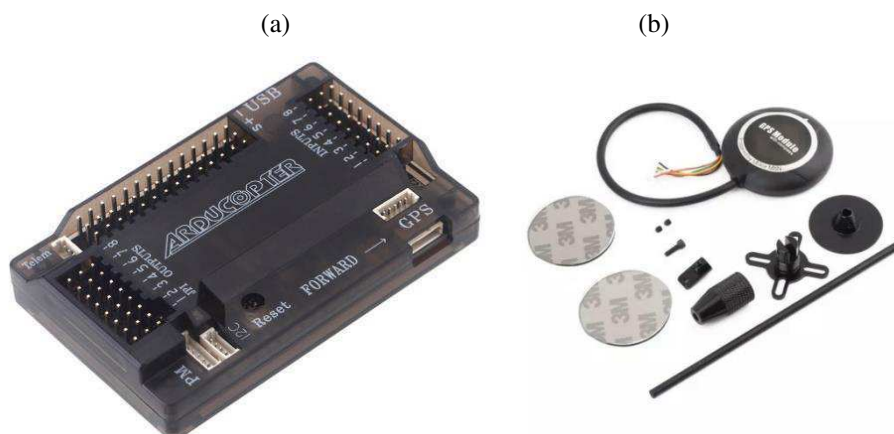
#### 3.1.4 PLACA CONTROLADORA DE VOO

Sabendo que a melhor controladora no mercado de VANTs atualmente é a Pixhawk, porém essencialmente por motivos financeiros, não era possível adquirir duas controladoras Pixhawk, dessa maneira, foi escolhida para o Quadricóptero a placa controladora de voo APM 2.8 que é uma versão anterior da Pixhawk, possuindo quase as mesmas funcionalidades, entretanto mais barata, e apenas sem a vantagem de acoplar-se um cartão de memória a placa.

A controladora APM possui os mesmos sensores integrados na Pixhawk, porém a APM utilizada no Quadricóptero desenvolvido não possui internamente o sensor de GPS e o *compass*, sendo assim, os mesmos foram aplicados utilizando-se de maneira externa à placa um módulo GPS/*Compass*.

Para o correto funcionamento de cada sensor, os mesmos precisaram ser calibrados. Essa calibração foi feita utilizando-se o *software Mission Planner*, que pôde ser encontrado facilmente na *web* sem restrições para download. O mesmo ainda foi essencial para a calibração do RC e para o ajuste dos parâmetros nas técnicas de controle integradas na controladora, além de servir como estação terra para recepção de dados, como será explicado mais adiante.

Figura 19 - (a) Controladora de voo APM 2.8; (b) Módulo GPS/compass + haste.



Fonte: Própria autora.

### 3.1.5 BATERIA

As baterias são componentes comerciais que variam muito de acordo com os fatores peso e dimensões, nos quais são diretamente proporcionais à autonomia que a mesma proporciona a um VANT. Dessa maneira, esses foram os fatores levados em conta na escolha da bateria mais adequada para o projeto.

Como a estrutura do VANT Quadricóptero permite a integração de uma bateria com grandes dimensões e conseqüentemente um peso maior, além do objetivo ser utilizar os mesmos em mapeamentos agrícolas, nos quais a autonomia do VANT é essencial, a bateria escolhida para o projeto foi a LiPO Lion Power de 11.1V, 5200mAh, 30C, 3S; exposta na figura 20.

Figura 20 - Bateria LiPO de 5200mAh utilizada no VANT Quadricóptero.



Fonte: Própria autora.

### 3.1.6 CONJUNTO RÁDIO CONTROLE E RECEPTOR

Por fim, foi escolhido o melhor conjunto RC/Receptor a ser utilizado no projeto. Sabendo que basicamente se faz necessário um conjunto de quatro canais, para o projeto

do Quadricóptero foi escolhido um RC/Receptor de seis canais, permitindo além dos canais para a realização dos movimentos básicos, se terem ainda disponíveis dois canais para comandos adicionais como, por exemplo, trem de pouso ou *flaps*.

Figura 21 - Conjunto RC/Receptor 6ChFlysky.



Fonte: Própria autora.

## 3.2 PROJETO DE UM VANT ASA

Como segunda atividade foi realizado o projeto de um VANT de asa fixa tipo Asa, seguindo os mesmos passos do projeto do Quadricóptero. Através de todo um estudo prévio sobre os componentes específicos do VANT tipo Asa, bem como dos VANTs em geral, foi possível desenvolver o projeto.

A seguir, agora, são descritos os materiais utilizados no projeto e na construção do VANT Asa; bem como a justificativa de cada escolha, obedecendo também à composição básica de uma aeronave não tripulada.

### 3.2.1 ESTRUTURA

As aeronaves não tripuladas construídas com formato em Asa têm características de voo muito interessantes. Diferentemente dos multirotores, as mesmas conseguem realizar o voo, em todas as posições, com apenas dois ailerons em sua estrutura através de um processo chamado mixagem dos comandos.

Assim, os ailerons permitem à aeronave realizar os três movimentos principais designados para um VANT, a rolagem, a arfagem e a guinada, que são,

respectivamente, os movimentos para a esquerda e direita, para cima e para baixo, e o voo de lado, necessário para a correção das rajadas de vento.

Diante de tais aspectos, com o objetivo de permitir ao VANT Asa um desempenho de voo satisfatório e uma maior autonomia, levando em consideração o peso e o preço no mercado, a estrutura escolhida foi a de uma Asa Zagi de isopor com 1 metro de comprimento tendo um perfil de asa mh45, por ser mais barata, econômica e leve.

Figura 22 - Estrutura para o projeto do VANT Asa.



Fonte: Própria autora.

### 3.2.2 SERVOS

Os equipamentos eletrônicos necessários para realizar os movimentos dos ailerons são conhecidos como servos. De maneira simples, os servos podem ser definidos como um conjunto de engrenagens de diferentes tamanhos encaixados de modo que uma pequena força exercida pelo motor na sua “entrada” proporcione uma grande força na sua “saída”. Esta grande força na saída recebe o nome de torque.

No mercado podem ser encontrados diversos modelos de servos, que variam no tamanho, nos tipos de engrenagens, se de plástico ou de metal, bem como na intensidade do torque. O servo ideal para o VANT depende muito da escala e peso do equipamento.

Dessa maneira, foram escolhidos para o VANT Asa dois servos de plástico de 9g cada, por serem os mais baratos, mais leves e ainda possibilitarem um bom controle dos ailerons, ressaltando que seu baixo torque é desprezado, já que não se faz necessário um alto torque nesse projeto.



Figura 23 - Servo de plástico de 9g.



Fonte: Própria autora.

### 3.2.3 MOTOR E HÉLICE

Diferente dos multirotores, no VANT tipo Asa fixa, apenas um motor se faz necessário para a aceleração do VANT, que aliado à estrutura aerodinâmica da aeronave, deixa a mesma mais leve, com maior facilidade de comando, bem como alcançando uma maior autonomia e velocidade.

Porém, como esse motor é o único responsável pela aceleração do VANT, há uma necessidade de se ter um motor com maior rotação do que o utilizado no multirotor. Dessa maneira, para o projeto do VANT Asa foi escolhido um motor de 1800KV.

Assim, utilizando um motor de maior rotação, faz-se necessário acoplar uma hélice de menor dimensão na qual o giro de rotação é feito em menos tempo, resultando em uma maior eficiência da associação motor + hélice, logo, foi escolhida uma hélice 9x6.

Figura 24 - Motor *Brushless* de 1800KV acoplado a hélice 9x6.



Fonte: Própria autora.

### 3.2.4 CONTROLADOR DE VELOCIDADE

Análogo à escolha do ESC para o multirotor, no projeto do VANT Asa foi levado em consideração à eficiência e o preço de cada ESC. Como nesse projeto se faz necessário apenas um motor, então, apenas um ESC é utilizado, permitindo a estagiária escolher um controlador com maior capacidade de corrente, proporcionando maior liberdade ao motor, mas sem desgastar a bateria. Dessa maneira foi escolhido um ESC/BEC de 40A.

Figura 25 - ESC de 40A.



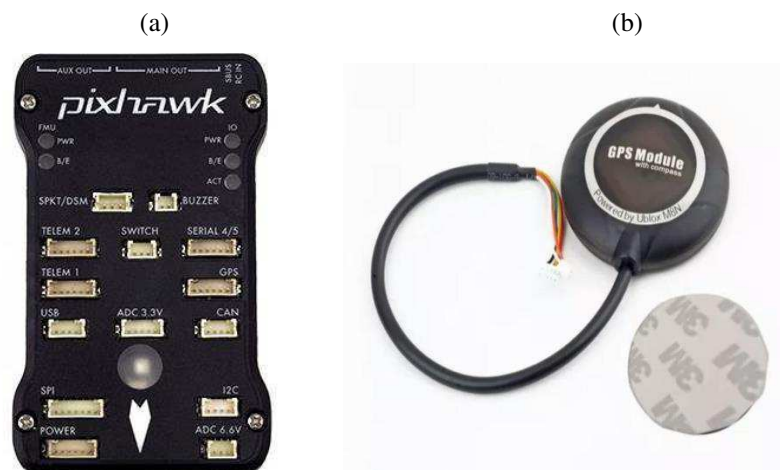
Fonte: Própria autora.

### 3.2.5 PLACA CONTROLADORA DE VOO

Como foi explicado na atividade anterior, avaliando o custo da compra de duas controladoras de voo, foi dito à estagiária que não seria possível a compra de duas controladoras Pixhawk, mas apenas de uma. Dessa maneira a Pixhawk comprada foi designada para compor o VANT Asa. O mesmo foi priorizado levando em consideração que seria o principal VANT a ser utilizado no mapeamento agrícola feito pela empresa, por possuir uma maior autonomia se comparado a um VANT multirotor.

No VANT Asa a controladora é interligada a todos os servos, ESC, motor, GPS, receptor e bateria. Ressaltando que a mesma já possui todos os sensores necessários alocados em seu interior, porém, levando em consideração que o GPS interno à placa escolhida para projeto não é tão sensível para as necessidades da aplicação em mapeamentos agrícolas, nos quais se faz necessário a localização exata da aeronave em meio a inúmeros hectares de terra; será aplicado também um GPS externo no Asa (do mesmo tipo a ser utilizado junto à controladora APM no VANT Quadricóptero) como maneira de garantir o recebimento da posição exata da aeronave.

Figura 26 - (a) Controladora de voo Pixhawk. (b) Módulo GPS/Compass.



Fonte: Própria autora.

### 3.2.6 BATERIA

Análogo ao projeto do Quadricóptero, as dimensões e o peso da bateria foram os fatores decisivos em sua escolha para o VANT Asa. Sabendo que na estrutura do mesmo, o local em que os componentes são alocados deve ser compacto, contribuindo assim para a aerodinâmica da aeronave, a bateria utilizada, nesse caso precisa ser a menor possível, para que seja alocada no VANT e ainda assim, garanta uma autonomia satisfatória para o mesmo. Diante desses fatores, para o projeto do VANT Asa foi escolhida uma bateria de 2200 mAh.

Figura 27 - Bateria LiPO de 2200 mAh utilizada no VANT Asa.



Fonte: Própria autora.

### 3.2.7 CONJUNTO RÁDIO CONTROLE E RECEPTOR

Como o fator economia sempre foi imprescindível no decorrer do estágio, para o projeto do VANT Asa foi decidido aplicar o mesmo conjunto RC/Receptor utilizado no

Quadracíptero. Sendo necessário apenas adaptar o receptor para que, além de ser responsável por receber os comandos do RC e enviá-los a placa controladora do VANT para assumir modo manual ou automático, o mesmo também envie os comandos necessários aos servos a fim de que a aeronave realize os movimentos durante o voo.

### 3.3 CONSTRUÇÃO DOS VANTS

Após a conclusão dos projetos dos VANTS, nos quais foram decididos todos os componentes a serem adquiridos, deu-se início a terceira e última atividade desenvolvida no estágio. Consistiu no processo de construção dos VANTS, na qual o primeiro passo foi a aquisição dos componentes, seguido dos testes de cada componente para saber se estavam em pleno desempenho e funcionamento, bem como a calibração de cada um que fosse necessário, para então, por fim, ser realizada a montagem de cada VANT.

A seguir estão detalhados os passos de aquisição, testes dos componentes, calibração e montagem.

#### 3.3.1 AQUISIÇÃO E TESTE DOS COMPONENTES

Para a aquisição dos componentes foi realizada uma pequena pesquisa de mercado que resultou na escolha do Mercado Livre Brasil como ambiente que melhor se encaixava nos critérios da empresa, no qual continha variadas ofertas em relação aos componentes escolhidos nos projetos com preços bem acessíveis.

Com os componentes adquiridos, deu-se início a fase de verificação do desempenho e funcionamento de cada um, tendo sempre atenção para o fato de que cada componente é diferente um do outro, mesmo tendo sido adquirido no mesmo lote.

Dessa maneira, inicialmente foram verificados se existiam defeitos na estrutura de cada componente, sendo seguida da verificação dos defeitos elétricos. De forma prática, os primeiros a serem verificados foram os ESCs, como na empresa já existia um testador de servo; o mesmo foi utilizado trabalhando em modo manual para verificar se todos os ESCs reagiam igualmente em tempo e desempenho ao mesmo comando do testador, se enviavam a mesma quantidade de corrente aos motores, bem como se a capacidade máxima de corrente era a mesma descrita na compra.

Nesse mesmo instante já pôde ser testado também o funcionamento de cada motor bem como da sua associação com cada hélice; e ainda, o funcionamento das baterias que foram testadas alimentando os componentes durante o próprio teste.

Em seguida também com a utilização do testador de servo, foi possível verificar o funcionamento e o curso dos servos. Já o teste de funcionamento das controladoras e o teste do conjunto RC/Receptor foram realizados apenas pelo coordenador Marcos.

Ao final foi comprovado que todos os componentes estavam em seu perfeito funcionamento, prontos para serem calibrados e utilizados na montagem dos dois VANTs.

### 3.3.2 CALIBRAÇÃO

Para a calibração dos VANTs foi utilizado um *software* aberto denominado *Mission Planner*. O mesmo é disponível para a comunidade e é muito recomendado na calibração dos VANTs no que diz respeito a sensores, aos ajustes nos parâmetros dos sistemas de controle, bem como a aquisição de dados. Utilizando um módulo RF entre o computador na estação base e a aeronave, através do *software*, foi possível executar todas as configurações de voo e pré-determinar as rotas desejadas.

Figura 28 - Tela inicial do *software mission planner*.



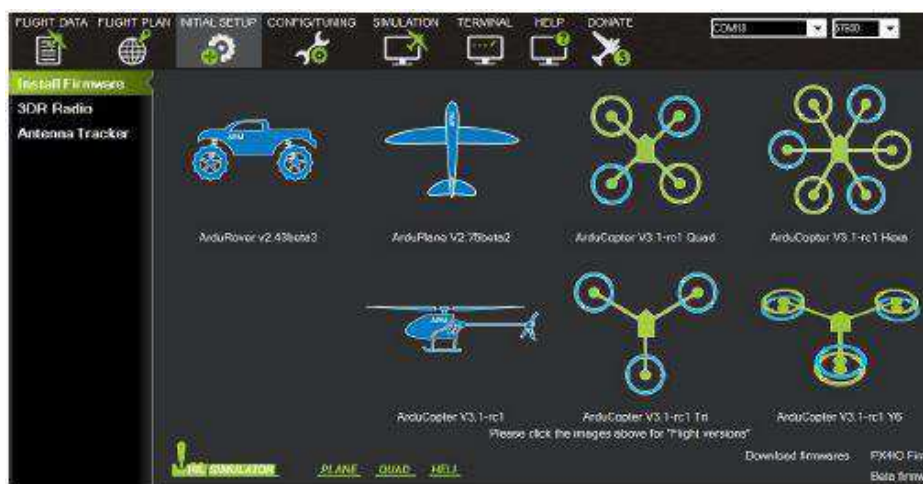
Fonte: Própria autora.

Com a utilização do *software* dados como altitude, velocidade, distância do local de decolagem, velocidade na vertical, distância entre os *waypoints* quando se está no

voo autônomo e angulação de ataque da aeronave puderam ser acompanhados em tempo real.

Inicialmente no *mission planner* foi instalado o *firmware* de cada controladora por transmissão em barramento serial universal (USB - em inglês). Logo em seguida foi possível escolher a velocidade de comunicação, que estabelecida, permitiu a escolha de qual tipo de VANT se queria configurar para cada uma, se multirotor ou asa fixa.

Figura 29 - Instalando o *firmware* e configurando o tipo de VANT.



Fonte: Própria autora.

O mecanismo de controle precisa ser diferente entre os tipos de VANTs, pois cada tipo se movimenta de maneira distinta. Enquanto no VANT Quadricóptero é a direção da rotação da hélice e a velocidade das mesmas que faz com que a aeronave se mova pra alguma direção específica, no VANT Asa, o que puxa a aeronave para frente é apenas o torque gerado pelo motor associado a um dos ailerons, que ao se deslocar pra cima, por exemplo, pega o fluxo de ar que está passando por cima da asa e o desvia impulsionando uma pressão hidrostática a criar uma força pra baixo, seguida de um momento angular, resultando em toda a estrutura realizando uma curva para certa direção.

Dessa forma, é fácil perceber que a rotação da hélice, a velocidade de rotação ou a direção de rotação considerada essencial para o VANT Quadricóptero, no VANT Asa não diz muito quando se trata de deslocamento angular da aeronave.

No *mission planner* assim que se seleciona um VANT Quadricóptero ou Asa, já são atualizadas configurações de cada tipo escolhido, ou seja, o *software* já sabe o que deve fazer nos motores do Quadricóptero ou nos servos do Asa para os mesmos se

voltarem para certa direção; porém, o *software* não sabe o quão forte tem que ser esse controle dos motores ou dos servos. Para isso, utilizamos as constantes de controle do controlador PID.

Para o controle dos VANTs desenvolvidos no estágio foram utilizadas as constantes já determinadas pelo engenheiro Armando, bem como outros parâmetros para cada eixo de grau de liberdade, mais especificamente, cada motor ou servo, que em um trabalho anterior, o mesmo havia calculado e encontrado tais constantes necessárias para esses tipos de VANTs.

Posteriormente, se foi possível configurar a estrutura utilizada nos VANTs projetados, No Quadricóptero, a estrutura foi em formato “X” e no de Asa Fixa, foi configurada a estrutura de um VANT em formato de Asa. Em seguida, foi feita a calibração do *compass* e do acelerômetro, na qual, obedecendo ao critério de que precisa ser na mesma angulação da controladora, está relacionada à gravação de posições de rotação da estrutura do VANT, ou seja, as posições em cada eixo (nível, no lado direito, lado esquerdo, frente para baixo, frente para cima e cabeça para baixo).

Figura 30 - Calibração do *compass*.



Fonte: Própria autora.

Logo após, o RC foi calibrado na perspectiva de que os transmissores RC são utilizados em voo manual para o movimento e orientação da aeronave. Tanto em um multirotor quanto no Asa fixa, sabe-se que os comandos de movimento básicos são: aceleração, inclinação, rotação e guinada. Com o *software* foi possível calibrar o rádio, além de movimentar todos os sticks em suas posições extremas e no modo rotativo.

Logo após, foi possível calibrar os ESCs. Os mesmos são responsáveis por manter a velocidade dos motores solicitada pela controladora, para isso foram calibrados no *software* os valores mínimos e máximos do PWM da controladora.

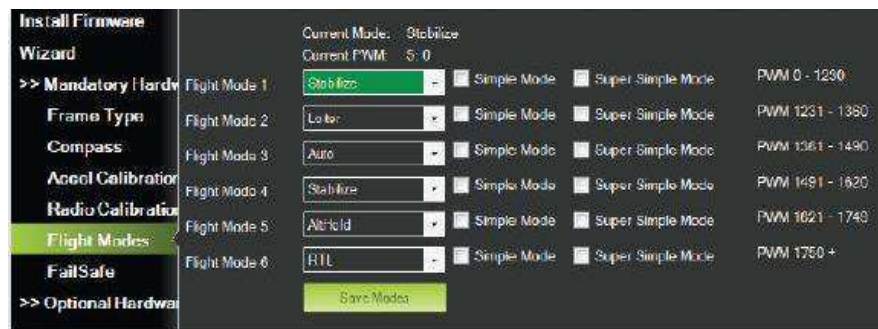
Por fim, foi feita a calibração dos modos de voo escolhendo qual modo deseja-se que a aeronave siga. Uma das características mais interessantes percebidas no *firmware* Ardupilot foi a quantidade de modos de voo disponíveis no mesmo; são 14 modos diferentes que podem ser programados para ativação no RC ou na estação terra, independente de usar-se a controladora Pixhawk ou APM. Os modos de voo disponíveis são:

- Acro - É destinado a acrobacias, muito da tecnologia embarcada é desativada e o piloto fica totalmente no comando;
- Alt hold - Nesse modo o VANT tem aceleração controlada de maneira automática;
- Auto - É utilizado quando se queira que a aeronave fique autônoma cumprindo uma missão já antes programada;
- Circles - Nesse modo o VANT vai voar em círculos.
- Drift - É um modo em que a rolagem fica autônoma e os demais controles são manuais;
- Follow me - Faz com que o VANT siga o piloto, podendo seguir o GPS do seu próprio celular;
- Guided - Com esse modo, o piloto pode comandar o voo direto da estação terra, não precisando de um RC;
- Land - Serve apenas para o pouso;
- Loiter e Of loiter - É o modo de GPS, no qual o VANT vai tentar manter sua posição atual;
- Position - Possui as mesmas funções do modo Loiter, a não ser por possuir um acelerador manual.
- RTL (*Return to Launch*) - Por alguma falha ou motivo específico, retorna o VANT para o local de decolagem.
- *Simple* e *Super simple* - Garante o funcionamento do controle sempre do ponto de vista do piloto.
- Stabilize - Esse modo suaviza os comandos e é feito totalmente pelo piloto (ARDUPILOT, 2018).



Assim, os modos de voo utilizados para os dois VANTs foram o RTL, o Stabilize e o Auto, com o objetivo de deixá-los livres para cumprir as missões pré-programadas de mapeamento, porém prevenir se houver alguma ocorrência de falha, bem como amenizar em caso de comandos mais severos do que o ideal.

Figura 31 - Calibrando os modos de voo.



Fonte: Própria autora.

Em resumo, essas são as configurações que precisam ser feitas no *Mission Planner* e ao final, feito o upload do arquivo na placa de controle, o VANT já saberá qual caminho percorrer. Dessa maneira, basicamente os passos para uso do *software* são: informar ao mesmo qual é o tipo de VANT projetado, informar quais as constantes de controle, configurar as entradas e saídas, e por fim configurar os parâmetros de voo restantes.

### 3.3.3 MONTAGEM

Com todos os componentes testados e calibrados foi então possível iniciar a montagem completa de cada VANT.

Seguindo a ordem de projeto, o primeiro VANT a ser montado foi o Quadricóptero, sendo acoplados em sua estrutura os motores, as hélices, os ESCs, a controladora, a bateria, o GPS e o módulo receptor RF, os mesmos foram encaixados e conectados nos seus devidos lugares, como é mostrado na figura 32.

Figura 32 - Montando o VANT Quadricóptero.



Fonte: Própria autora.

Em seguida, foi iniciada a montagem do VANT Asa, o primeiro passo foi conectar a controladora aos dispositivos necessários como pode ser observado na figura 33.

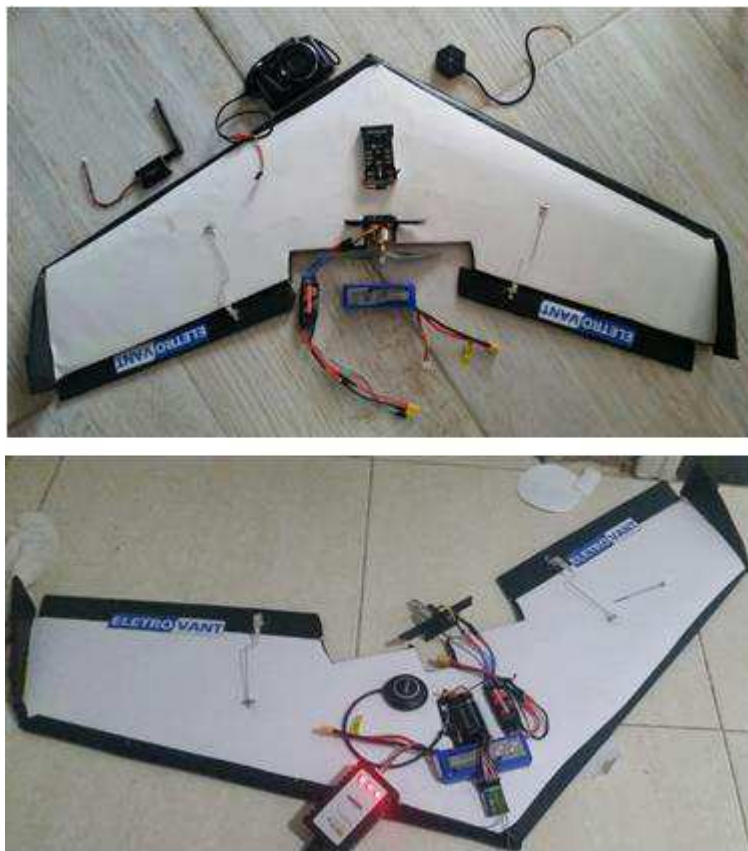
Figura 33 - Controladora de voo, Pixhawk, sendo conectada aos outros componentes.



Fonte: Própria autora.

Logo após, em cada aileron foi acoplado um servo, já na parte oposta ao vértice de encontro dos ailerons, foi acoplado o conjunto motor/hélice, para então serem acoplados à parte central, entre os ailerons, o ESC, a controladora (já interconectada aos dispositivos necessários), a bateria, o GPS e o módulo receptor RF, que também foram encaixados nos seus devidos locais ao longo da parte central do VANT.

Figura 34 - Montando o VANT Asa.



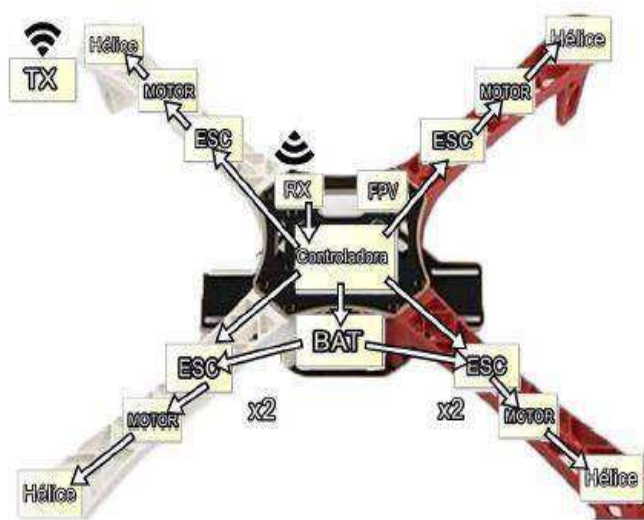
Fonte: Própria autora.

A controladora Pixhawk é o dispositivo responsável por gerenciar e atribuir tarefas além de comandar toda a navegação do voo. Quando se conecta a bateria, a Pixhawk inicia o carregamento dos parâmetros armazenados nos sensores, e na memória confere se os mesmos estão funcionando, além de conferir a comunicação entre eles e o RC. Em seguida, a controladora afere a tensão da bateria, pois se a mesma estiver com tensão baixa a decolagem não ocorre.

Existe uma ordem de comunicação entre os componentes, a mesma foi obedecida na medida em que cada componente foi conectado aos dois VANTs. A seguir

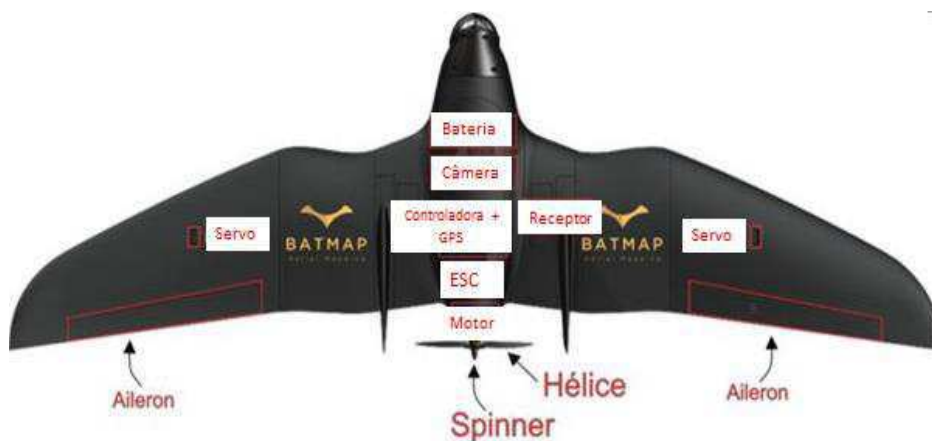
são apresentadas duas figuras que expõem os detalhes dessa ordem de localização e comunicação dos/entre os componentes no decorrer de cada aeronave construída.

Figura 35 - Esquema de comunicação entre os componentes do VANT Quadricóptero.



Fonte: (SANTOS, 2015)

Figura 36 - Esquema de comunicação entre os componentes do VANT Asa.



Fonte: (DronEng, 2018).

### 3.3.4 RESULTADOS

Ao final do estágio, a estagiária teve a oportunidade de demonstrar e apresentar os protótipos junto à empresa em uma exposição de tecnologia denominada *Coffee Tech* e organizada pela Federação das Indústrias do Estado da Paraíba (FIEP) na cidade de Campina Grande, Paraíba.

A seguir são expostos alguns registros da participação da Eletrovant no *Coffee Tech*. Os registros do voo de cada VANT, diante do sigilo industrial, até a conclusão desse estágio, não foram disponibilizados pela empresa.

Figura 37 - Apresentação dos VANTs no stand da Eletrovant no evento *Coffee Tech*.



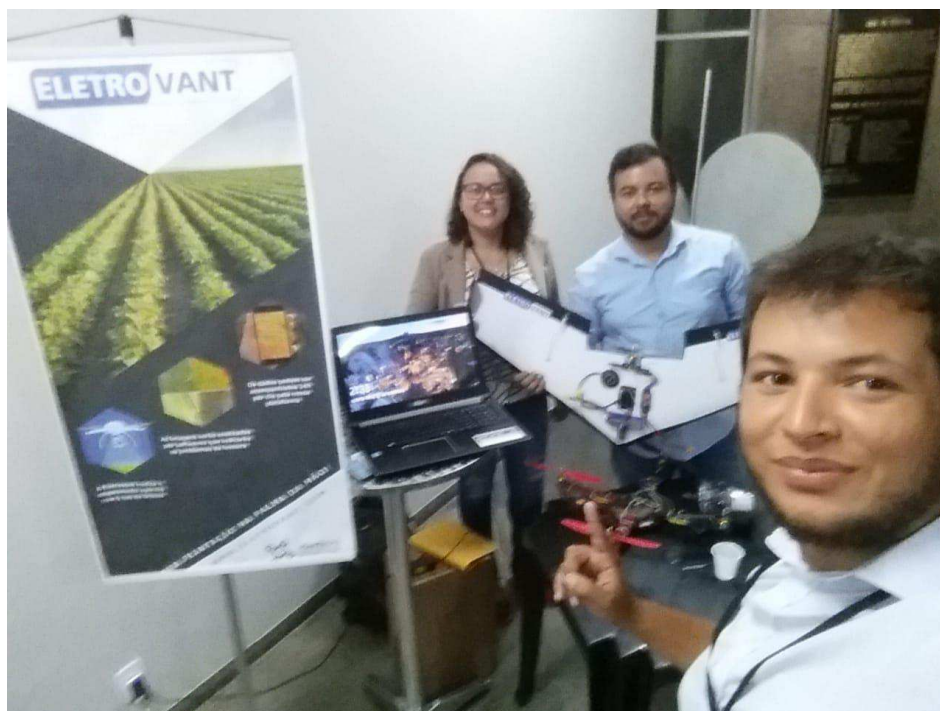
Fonte: Própria autora.

Figura 38 - Estagiária e o seu supervisor.



Fonte: Própria autora.

Figura 39 - Time da Eletrovant presente no evento *Coffee Tech*.



Fonte: Própria autora.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste relatório foi descrito e detalhado todo o estágio da aluna Emanuela Karla de Freitas Apolinário no setor de projetos, manutenção e operação técnica da empresa Eletrovant. Foi apresentado todo o embasamento teórico bem como as três atividades desenvolvidas pela aluna, sendo elas o projeto de um VANT Quadricóptero, o projeto de um VANT Asa e a aquisição, teste e calibração dos seus respectivos componentes, seguida da montagem de cada um dos VANTs.

Ao longo de todo o estágio as disciplinas de Máquinas Elétricas, Ondas e Linhas, Eletrônica, Controle Analógico e Controle Digital, bem como seus respectivos laboratórios foram de fundamental importância para que o mesmo ocorresse com muito êxito, já que conceitos como transmissão através de ondas eletromagnéticas, microprocessadores, controladores PID, motores de indução sem escovas, rendimento de baterias, dentre outros; adquiridos nessas disciplinas puderam ser bastante explorados nas atividades de projeto e construção das aeronaves.

Durante o estágio também foi possível constatar o quanto o setor de desenvolvimento e aplicação das aeronaves não tripuladas vêm se desenvolvendo no Brasil com um aprimoramento cotidiano da tecnologia e um mercado muito crescente. O maior desafio durante a realização das atividades designadas foi o de conseguir equilibrar o fator custo *versus* benefício na escolha de cada componente, já que a empresa ainda não possui muitos recursos financeiros.

O presente trabalho foi de essencial importância para a estagiária que teve a oportunidade de adquirir experiência em gestão, planejamento e execução de projetos; maior familiaridade com ambientes de tecnologia relacionando hardware e software; grande conhecimento sobre as aeronaves não tripuladas, temática pouco abordada na graduação; bem como vivência com o âmbito inovador e profissional de uma empresa, podendo desenvolver diversas competências como trabalho em time, inteligência emocional, comunicação eficiente, senso de urgência e gestão de tempo.

Com a conclusão do trabalho foram alcançados todos os objetivos emergentes propostos pela empresa na solicitação do estágio, ao passo que os dois VANTs foram projetados e construídos de maneira satisfatória no prazo estabelecido, com um

considerável êxito de cada um no fator qualidade, levando em consideração os limites de custo; e estando prontos para serem aplicados no mapeamento agrícola.

Ao final, além dos dois VANTs em si, ficaram à disposição da empresa todos os detalhes da composição técnica dos mesmos, da sua montagem, bem como dos passos de teste e calibração dos seus componentes, servindo de base para o projeto e construção de novas aeronaves não tripuladas.



## REFERÊNCIAS

- ARDUPILOT. (2018) *Site oficial do Ardupilot Mega*. Acesso em 01 de outubro de 2018, disponível em: <http://www.ardupilot.co.uk/>
- ARDUPILOT. (2018) *Mission Planner home*. Acesso em 04 de outubro de 2018, disponível em: <http://www.ardupilot.org/planner/>
- BEZERRA, B. C. (2015). *Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado para mapeamento da saúde de vegetações*. Projeto (Graduação em Engenharia Mecânica), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica, Rio de Janeiro.
- CHIACCHIO, S. S. R.; TEIXEIRA, B. E.; TECH, A. R. B. (2017). *VANT:Um estudo sobre a utilização de veículo aéreo não tripulado na agricultura de precisão*. Vol. 38 (Nº 24) Revista Espacios. Caracas, Venezuela.
- DECEA. (2016). *Tráfego Aéreo. ICA 100-40 - Sistemas de aeronaves remotamente pilotadas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro*. Acesso em 04 de outubro de 2018, disponível em: <https://www.decea.gov.br/>
- DEMOLINARI, H. C. (2016). *Projeto de construção: um drone hexacóptero*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica), Universidade FederalFluminense, Departamento de Engenharia Mecânica, Niterói.
- DJI. (2018). *Phantom 4*. Acesso em 08 de outubro de 2018, disponível em: <http://www.dji.com/mobile/phantom-4/>
- LONGHITANO, G. A. (2010). *VANTs para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes), Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo.
- PIXHAWK. (2018). *Site oficial do Hardware Pixhawk*. Acesso em 08 de outubro de 2018, disponível em: <http://www.pixhawk.org/>
- SANTOS, L. F. B. (2016). *Avaliação de modelo digital de terreno gerado através de VANT em planícies pantaneiras*. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal), Universidade Federaldo Mato Grosso, Departamento de Engenharia Florestal, Cuiabá.
- SANTOS, T. R. S. (2015). *Integração de um VANT*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica/Eletrônica), Universidade do Vale do Paraíba, Departamento de Engenharia Elétrica/Eletrônica, São José dos Campos.