

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MINAS GERAIS – UEMG
ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO

DENIS HENRIQUE PACHECO DA COSTA

**ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE VANT (HEXACÓPTERO),
COM ESTABILIZADOR AUTOMÁTICO DE CÂMERA (GIMBAL),
VOLTADO PARA FILMAGENS AÉREAS**

ITUIUTABA – MG

2019

DENIS HENRIQUE PACHECO DA COSTA

**ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE VANT (HEXACÓPTERO),
COM ESTABILIZADOR AUTOMÁTICO DE CÂMERA (GIMBAL),
VOLTADO PARA FILMAGENS AÉREAS**

Monografia de Conclusão de Curso apresentada à
Coordenação do Curso de Engenharia da
Computação, da Universidade do Estado de Minas
Gerais, Unidade Ituiutaba, sob a orientação da Prof.^a
Mestre Adriana de Souza Guimarães, como pré-
requisito para obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia da Computação.

Orientadora: Mestre Adriana de Souza Guimarães.

ITUIUTABA – MG

2019

Denis Henrique Pacheco da Costa

**ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE VANT (HEXACÓPTERO),
COM ESTABILIZADOR AUTOMÁTICO DE CÂMERA (GIMBAL),
VOLTADO PARA FILMAGENS AÉREAS**

Monografia de Conclusão de Curso apresentada à
Coordenação do Curso de Engenharia da
Computação, da Universidade do Estado de Minas
Gerais, Unidade Ituiutaba, sob a orientação da Prof.^a
Mestre Adriana de Souza Guimarães, como pré-
requisito para obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia da Computação.

ITUIUTABA, 28 DE NOVEMBRO DE 2019

Banca Examinadora

Prof. Doutora Monica Rocha Ferreira de Oliveira

Prof. Mestre Saulo de Moraes Garcia Junior

Prof.^a Mestre Adriana de Souza Guimarães

Agradeço primeiro a Deus por ter me dado esta oportunidade e de coração a minha família por ter me apoiado desde o início, por estar ao meu lado nos momentos difíceis e alegres e aos amigos que somaram para que este projeto se realize com plenitude e sensatez.

Obrigado a todos!

RESUMO

Este projeto tem como objetivo geral o desenvolvimento de um VANT Hexacóptero com estabilizador automático de câmera (Gimbal), onde poderá ser utilizado para realizar filmagens aéreas em nível profissional, com objetivos de no mínimo 30% mais barato em seu custo final, utilizando equipamentos *open source*, com componentes facilmente disponíveis no mercado *e-commerce*, podendo utilizar câmera GoPro 4 ou GoPro 7. Este VANT Hexacóptero foi dividido em 6 partes: Estrutura, Propulsão, Controle, Fonte de energia, GPS (*Global Positioning System*), Estabilizador automático de câmera (Gimbal). Depois de instalado os equipamentos sobre o Frame F550 é necessário a configuração da controladora Pixhawk pelo programa Mission Planner e a configuração do estabilizador automático de câmera (Gimbal) pelo programa BaseCam ambos *open source*, resultando em uma tabela informando a relação peso do VANT Hexacóptero versus sua autonomia de voo, definindo a viabilidade deste VANT Hexacóptero voltado para filmagens aéreas.

Palavras-chave: VANT Hexacóptero com Gimbal, Estabilizador automático de câmera, Gimbal, Drone, Drone com Gimbal, Drone filmagens aéreas, *open source*.

ABSTRACT

This project has as its general objective the development of an automatic camera stabilizer hexacopter UAV (Gimbal), where it can be used for professional level aerial filming, with objectives of at least 30% cheaper in its final cost, using open equipment. source, with components easily available in the e-commerce market, using a GoPro 4 or GoPro 7 camera. This Hexacopter UAV was divided into 6 parts: Structure, Propulsion, Control, Power Supply, GPS (Global Positioning System), Automatic Stabilizer camera (Gimbal). After installing the equipment on the Frame F550, the Pixhawk controller configuration by the Mission Planner program and the automatic camera stabilizer (Gimbal) configuration by the open source BaseCam program are required, resulting in a table stating the weight ratio of the Hexacopter versus its autonomy of flight, defining the viability of this UAV Hexacopter directed for aerial filming.

Keywords: UAV Hexacopter with Gimbal, Automatic Camera Stabilizer, Gimbal, Drone, Drone with Gimbal, Drone aerial footage, open source.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo VANT de asas fixas.....	15
Figura 2 – Exemplo VANTs de asas rotativas.....	15
Figura 3 – Frame F550.....	17
Figura 4 – Esquema montagem Trem de Pouso no Frame F550.....	17
Figura 5 – Esquema disposição dos motores no Frame F550.....	18
Figura 6 – Partes do motor <i>Brushless</i> sem escovas <i>DC</i>	19
Figura 7 – Circuito equivalente de um BDCM em Y.....	19
Figura 8 – Ímãs permanentes em volta da espira.....	20
Figura 9 – Motor LHI 2220 / 920 KV e seus conectores Bullets 3,5 mm.....	20
Figura 10 – ESC modelo 30A Simonk.....	21
Figura 11 – Diagrama de blocos simplificados de um ESC.....	21
Figura 12 – Hélice 10 x 47.....	22
Figura 13 – Controle proporcional derivativo.....	22
Figura 14 – Esquema de controle.....	23
Figura 15 – Pixhawk 1.0, 32 <i>bits</i>	23
Figura 16 – Controle Fly Sky TH 9X 9 canais de comunicação.....	25
Figura 17 – Exemplo sinal modulado pela frequência GFSK.....	25
Figura 18 – Módulo FrSky ACCST 2,4 Ghz DJT.....	26
Figura 19 – Onda senoidal gerada por PWM.....	27
Figura 20 – Receptor FrSky V8FR-II HV 2,5 Ghz.....	27
Figura 21 – Exemplo sinal PPM e PWM	28
Figura 22 – Funcionamento Encoder: até 8 sinais PWM de entrada, transformando para saída 1 sinal PPM	28
Figura 23 – Receptor e o transmissor de telemetria 3DR 915 Mhz.....	29
Figura 24 – Esquema bateria eletroquímica básica.....	29
Figura 25 – Esquema elétrico baterias em série.....	30
Figura 26 – Módulo de Força (<i>Power Module</i>).....	31
Figura 27 – GPS (<i>Global Positioning System</i>) com bússola.....	31
Figuras 28a e 28b – Estabilizador automático de câmera (Gimbal) de dois eixos.....	32
Figuras 29 – Esquema de conexão do Estabilizador automático de câmera.....	32

Figura 30 – Esquema elétrico Bateria-ESC-Motor utilizando Frame F550.....	33
Figura 31 – Resultado montagem VANT Hexacóptero sobre o Frame F550.....	34
Figura 32 – Esquema elétrico do VANT Hexacóptero.....	34
Figura 33 – Tela inicial Mission Planner.....	35
Figura 34 – Tela inicial SimpleBGC_GUI_2_2b2.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Preços de VANTs comparados com o VANT desenvolvido.....	36
Tabela 2 – Relação peso do VANT Hexacóptero versus autonomia de voo.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC – *Alternating Current.*

ACCST - *Advanced Continuous Channel Shifting Technology.*

BACM - *Brushless Alternating Current Motor.*

BDCM - *Brushless Direct Current Motor.*

CC - *Direct current.*

CCW - *Counterclockwise.*

CI - *Circuitos Integrados.*

DJI - *Fabricante peças VANT.*

ESCs - *Electric Speed Controller.*

FMUv2 - *Functional Mock-up Unit.*

FPU - *Float Point Unit.*

FSK - *Frequency Shift Keying.*

GPS - *Global Positioning System.*

GUI - *Graphical User Interface.*

I2C - *Inter-Integrated Circuit.*

JR - *Tipo de conector com três fios (Sinal, positivo e negativo).*

KV - *RPM máxima e voltagem de alimentação no motor.*

LHI - *Fabricante motores VANT.*

LiPo - *Tipo de bateria composta por Lítio retido em um polímero.*

PMSC - *Permanent-Magnet Synchronous Motor.*

PPM - *Pulse Position Modulation.*

PWM - *Pulse Width Modulation.*

RAM - *Random Access Memory.*

RPM – *Rotações por minuto.*

RTOS - *Real Time Operating Systems.*

SPI - *Serial Peripheral Interface.*

UART - *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter.*

UAV - *Unmanned Aerial Vehicle.*

VANT - *Veículo Aéreo Não Tripulado.*

VTOL - *Vertical Take-Off and Landing.*

XT60 - Tipo de conector para bateria.

3DR - Fabricante peças VANT.

LISTA DE SÍMBOLOS

A – Amperagem.

f.e.m – Força eletromotriz.

Ghz – Gigahertz.

KB – Kilobytes.

Kg – Quilograma.

mAh – Miliampére-hora.

MB – Megabytes.

MHz – Megahertz.

min – Minutos.

mm – Milímetro.

mw – Megawatt de potência.

V – Voltagem.

2S – Duas células de bateria.

25C – Capacidade de descarga bateria.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Definições de VANT	15
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.1 Objetivos gerais	16
1.2.2 Objetivos específicos	16
1.3 LEGISLAÇÃO VIGENTE	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 ESTRUTURA	17
2.1.1 Frame F550	17
2.1.2 Trem de Pouso	17
2.1.3 Posição dos motores no Frame F550	18
2.2 PROPULSÃO	18
2.2.1 <i>Motor Brushless DC</i>	18
2.2.2 ESC – <i>Electric Speed Controller</i>	21
2.2.3 Hélice	22
2.3 CONTROLE	22
2.3.1 Técnica de controle	22
2.3.2 Controladora Pixhawk	23
2.3.3 Controle Remoto	24
2.3.4 Módulo Transmissor Externo	25
2.3.5 Módulo Receptor	26
2.3.6 Encoder	27
2.3.7 Telemetria	28
2.4 FONTE DE ENERGIA	29
2.4.1 Bateria LiPo	29
2.4.2 Módulo de Força – <i>Power Module</i>	30
2.5 GPS – (GLOBAL POSITIONING SYSTEM)	31
2.6 ESTABILIZADOR DE CÂMERA	31
3 DESENVOLVIMENTO	33
3.1 Metodologia	33

3.2 Montagem equipamentos.....	33
3.3 Configuração VANT Hexacóptero com Mission Planner.....	35
3.4 Configuração Estabilizador automático de câmera na Pixhawk.....	35
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	36
4.1 Conclusão.....	36
4.2 Contribuições deste trabalho.....	37
4.3 Desafios encontrados neste trabalho.....	37
5 REFERÊNCIAS.....	38

1 INTRODUÇÃO

1.1 Definições de VANT

Os VANTs (Veículo Aéreos Não Tripulados) do inglês UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), são aeronaves controlados remotamente ou de forma autônoma, que não necessitam que o piloto esteja a bordo (PAULA, 2012), possuindo algoritmos sofisticados de voo, que não requerem a intervenção humana para voar (MILHIM, 2010; COSTA, 2008).

Os VANTs podem ser bio miméticos (imitando a batida das asas), flutuantes (dirigível), de asas fixas (avião) ou de asas rotativas (helicóptero). Inicialmente, utilizavam-se os VANTs principalmente de asas fixas (KEANE E CARR, 2013), cuja sustentação, segundo (JOHNSON, 1980), depende de superfícies aerodinâmicas separadas, onde utilizam a diferença de pressão sobre as asas para obter sustentação (ROSKAN, 2003), não podendo pairar no ar, exemplo VANT de asas fixas na figura 1.

Figura 1 – Exemplo VANT de asas fixas.



Fonte (DELAIR, 2018).

Já os VANTs de asas rotativas, exemplo na figura 2, utilizam-se da sustentação gerada pelas rotações das hélices acopladas aos motores para voar (JOHNSON, 1980).

Figura 2 – Exemplo VANTs de asas rotativas.



Fonte própria.

O primeiro projeto de aeronave de asas rotativas é atribuído a Leonardo Da Vinci (LEISHMAN, 2000), apesar do projeto visionário de Da Vinci, apenas em 1906 a primeira máquina de voo vertical, foi capaz de levantar o seu próprio peso e um piloto, em um voo curto e instável (LEISHMAN, 2000).

Os VANTs de asas rotativas usando como exemplo prático o helicóptero, o movimento dianteiro é gerado pela variação cíclica da profundidade das lâminas da hélice em conjunto com uma sutil rotação do eixo do rotor principal, onde o mesmo princípio é usado em todas as direções horizontais (JOHNSON, 1980).

VANTs de asas rotativas com multirotores, utiliza-se o mesmo princípio de sustentação do helicóptero, diferenciando basicamente, que não existe um rotor principal para controlar sua posição, mas utilizando-se do resultado das variações das rotações de cada rotor para efetuar movimentos horizontais e variações “cruzadas” dos rotores para mudar o momento de inércia e fazer o VANT girar no próprio eixo.

Estas características particulares, como, voar verticalmente VTOL (*Vertical Take-Off and Landing*) e voos com baixas velocidades, permitem executar tarefas que seriam difíceis de realizar por outros dispositivos, como por exemplo o dirigível ou helicóptero.

Considerando motores da mesma categoria, VANTs com 3 ou 4 motores têm forças de sustentação menores que os de 6 ou 8 motores, neste sentido, um hexacóptero consegue sustentar cargas maiores de que um quadcóptero.

A decisão de desenvolver este VANT Hexacóptero, tomou como base fundamental, a sustentação maior deste tipo de VANT, podendo levar uma câmera maior, se necessário, a um custo relativo menor que comparado a um VANT Octacóptero de 8 motores.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivos gerais

Este projeto tem como objetivo geral o desenvolvimento de um VANT Hexacóptero com estabilizador automático de câmera, onde poderá ser utilizado para filmagens aéreas em nível profissional.

1.2.2 Objetivos específicos

- No mínimo 30% mais barato em seu custo final.
- Buscar desenvolvimento que facilite a modificação e adição de novas peças, permitindo a experimentação de novos tipos de componentes.
- Explorar e selecionar equipamentos que sejam acessíveis para a utilização com *open source*, com componentes facilmente disponíveis no mercado (*e-commerce*).
- Filmagem com câmera GoPro 4 ou GoPro 7.

1.3 LEGISLAÇÃO VIGENTE

Como este VANT Hexacóptero se enquadra na classe 3, pois seu peso final é de 2,6 Kg, abaixo do limite que é de 25 Kg para esta classe. Conforme legislação vigente, fica obrigatório o cadastramento do mesmo junto aos órgãos do governo como: ANATEL (Agência nacional de telecomunicações) e ANAC (Agência nacional de aviação civil), conforme referência (DRONEVISUAL, 2019).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O projeto de um VANT Hexacóptero com estabilizador de câmera, foi dividido em 6 partes: Estrutura, Propulsão, Controle, Fonte de energia, Estabilizador de câmera e GPS (*Global Positioning System*).

2.1 ESTRUTURA

2.1.1 Frame F550

Como estrutura principal do VANT Hexacóptero é utilizado o Frame F550, demonstrado na figura 3, onde tem a função de acomodar os equipamentos do VANT Hexacóptero.

Figura 3 – Frame F550.



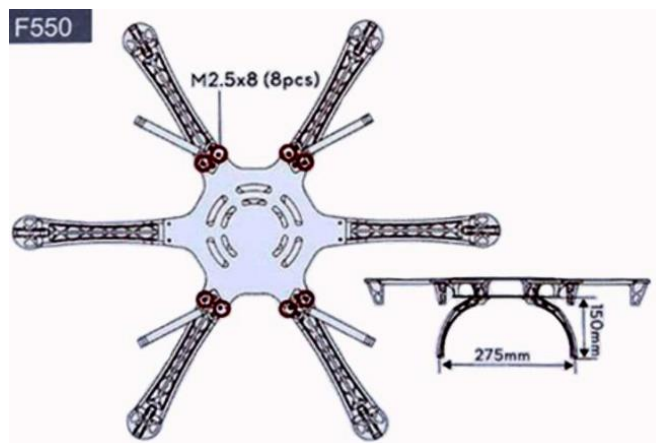
Fonte própria.

A estrutura principal é de fibra de vidro, enquanto os braços, são utilizados em sua fabricação plástico *nylon*, composto de poliamida, derivado do petróleo, chamado de PA66+30 GF, sendo leve e resistente, conforme dados do fabricante.

2.1.2 Trem de Pouso

Trem de Pouso fixo tem como função apoiar o VANT Hexacóptero no chão, é constituído de 4 partes, fabricados com material plástico rígido durável, sua instalação se dá com o parafuso de 2.5 mm; exemplo Trem de Pouso pode ser visualizado na figura 4.

Figura 4 – Esquema montagem Trem de Pouso no Frame F550.



Fonte própria.

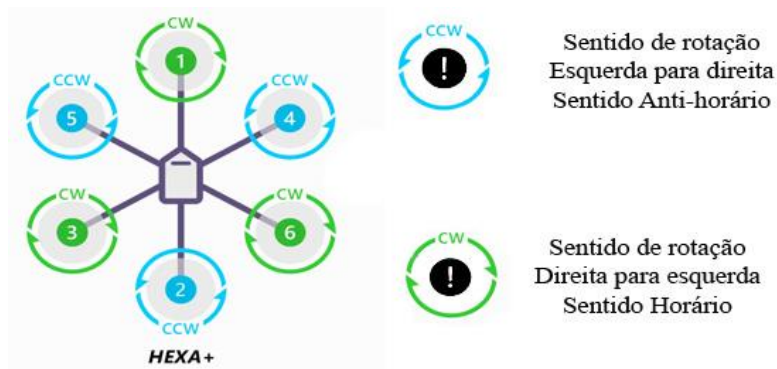
2.1.3 Posição dos motores no Frame F550

Para que um VANT Hexacóptero possa voar, além do funcionamento de seus motores corretamente, a posição dos mesmos sobre o Frame F550 é de suma importância.

“Ao se construir uma aeronave que tenha um número par de rotores, o cancelamento dos efeitos giroscópios é realizado utilizando os torques dos mesmos. Desta forma, metade dos motores tem sua rotação em sentido horário e outra metade em sentido anti-horário (BÜCHI, 2011)”.

Pode-se visualizar na figura 5, a localização de cada motor, e seus respectivos sentidos de rotação, onde, a alternância de rotação dos motores, mantém o VANT no ar, pois, se não alternar os motores, o VANT giraria no próprio eixo e não conseguiria voar.

Figura 5 – Esquema disposição dos motores no Frame F550.



Fonte própria.

Para este VANT Hexacóptero foi escolhida a configuração HEXA +, onde a controladora Pixhawk 1.0 fica localizada no centro do Frame F550, com a frente da controladora apontada para o motor 1; é de suma importância realização desta configuração pois, assim o VANT Hexacóptero consegue voar ou pairar no ar adequadamente.

2.2 PROPULSÃO

2.2.1 Motor *Brushless* DC

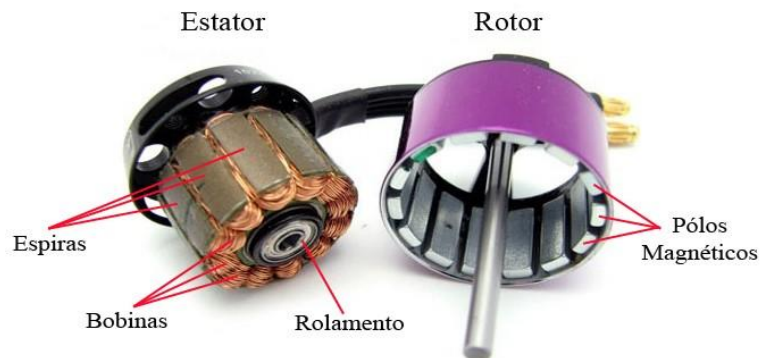
Os motores para VANT mais utilizados, conforme referência (NOARDRONE, 2019), são os motores síncronos de ímã permanente PMSC (*Permantent-Magnet Synchronous Motor*) sem escovas, devido ao baixo custo e um desempenho satisfatório.

Estes motores são classificados em dois tipos, corrente alternada (BACM) e corrente contínua BDCM (*Brushless Direct Current Motor*), os motores AC – Corrente Alternada BACM (*Brushless Alternating Current Motor*) não serão aplicados neste

projeto, é inviável tecnicamente gerar corrente alternada, necessitaria de equipamentos maiores aumentando o custo, inviabilizando o projeto.

O motor BDCM utilizado neste projeto é composto por um estator, que é a parte fixa do motor, com suas entradas, espiras, bobinas e o rolamento central, onde se encaixa o rotor, sendo o rotor, a parte móvel do motor *Brushless* DC, onde estão os polos magnéticos norte e sul dos ímãs e o eixo central, exemplo deste tipo de motor e seus componentes na figura 6.

Figura 6 – Partes do motor *Brushless* sem escovas DC.



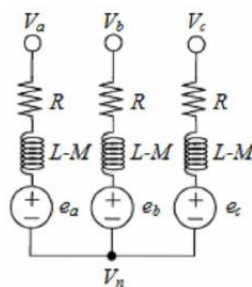
Fonte (TREST, 2018).

Alimentação do motor *Brushless* DC,

“sendo constituído de três fases V_a, V_b e V_c , simétricas e equilibradas, sendo cada uma constituída por uma resistência de enrolamento, uma autoindutância, resultante da interação entre sua indutância própria e as indutâncias mútuas das outras fases, e uma fonte de tensão V_n , que representa a força eletromotriz (f.e.m) produzida pelo deslocamento do fluxo do rotor nos rolamentos do estator (MONTEIRO, 2002)”.

Circuito elétrico do motor *Brushless* DC equivalente, exemplificado na figura 7.

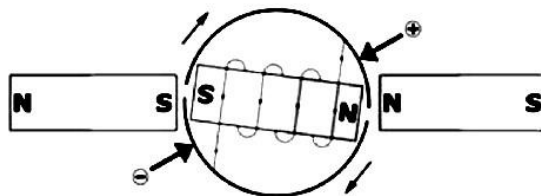
Figura 7 – Circuito equivalente de um BDCM em Y.



Fonte (TRINDADE, 2009).

Depois de energizar as fases A, B e C, gera-se um campo magnético, como há ímãs permanentes em torno da espira, ocorre forças repulsivas e atrativas dos ímãs do rotor, produzindo um torque, que, na sequência correta faz o rotor girar, demonstrado na figura 8.

Figura 8 – Ímãs permanentes em volta da espira.



Fonte (GOMES, 2018).

Os motores *Brushless* DC, usam a sincronização autocontrolada, possuindo um sincronismo exato com os ESCs (*Electric Speed Controller*), através da comutação eletrônica. Os motores *Brushless* DC, utilizados neste projeto, são o LHI 2212, 920K, identificados na cor prata, com os motores com rotação a direita CCW (*Counterclockwise*) e cor preta, com rotação a esquerda CW (*Clockwise*), visualizado exemplo do motor utilizado no projeto na figura 9.

Figura 9 – Motor LHI 2220 / 920 KV e seus conectores Bullets 3,5 mm.



Fonte própria.

O próprio nome do motor já diz algumas informações técnicas do mesmo: 22 representa o diâmetro do motor em milímetros, 20 é a altura do motor em milímetros, apenas do motor, sem considerar o eixo motriz dele, e 920KV é a quantidade de rotações por cada (V) de alimentação ($1\text{ V} = 920\text{ rotações por minuto}$), conforme dados do fabricante LHI.

Para um funcionamento ideal do motor, a tensão de entrada (V) deve variar entre 6(V) a 16.8(V) de entrada no ESC, podendo a bateria ser de até 4S (4 células de bateria),

informações do fabricante, para fixação dos motores no Frame F550 são utilizados 4 parafusos de 19 mm em cada motor.

2.2.2 ESC – *Eletric Speed Controler*

Para que ocorra a variação de velocidade nos motores do VANT Hexacóptero, conforme a necessidade do usuário, é utilizado o ESC (*Eletric Speed Controler*), visualizado exemplo na figura 10.

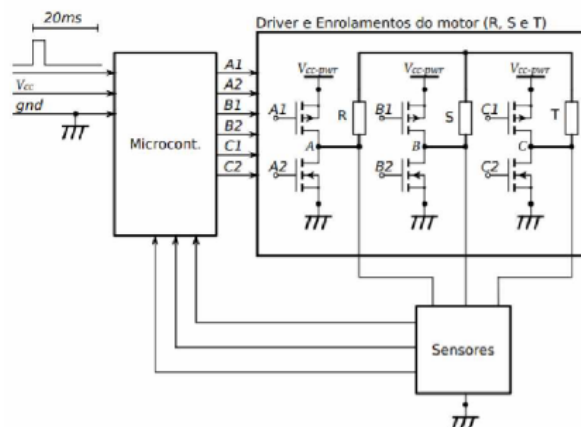
Figura 10 – ESC modelo 30A Simonk.



Fonte própria.

Com as comutações nas três saídas do ESC A,B e C, de forma controlada, tem-se consequentemente, variações de velocidade de rotação nos motores *Brushless DC* do VANT Hexacóptero, que são realizadas pelos CIs (Circuitos Integrados) impressos na placa do ESC, como: microcontroladores, transistores de efeito de campo e capacitores; exemplo simplificado do esquema elétrico do ESC utilizado no VANT Hexacóptero, demonstrado na figura 11.

Figura 11 – Diagrama de blocos simplificados de um ESC.



Fonte (MELO, 2010).

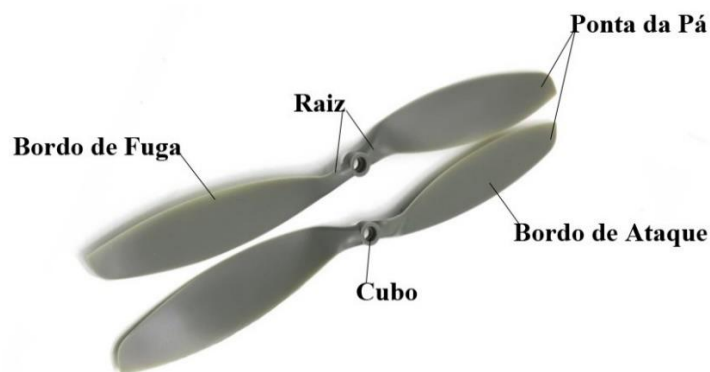
Este ESC Simonk 30A foi escolhido por possuir os mesmos limites de tensão (V) dos motores e com instalação de fábrica do *Firmware* Simonk, responsável por gerenciar o ESC, não necessitando de configurações adicionais, bastando somente a instalação para funcionamento.

2.2.3 Hélice

Cada hélice é definida por duas características, o diâmetro e o passo, normalmente indicados em polegadas. O diâmetro representa a distância entre as pontas das pás ou a circunferência realizada durante o movimento, dependendo, se a hélice é de duas ou mais pás (HANGAR, 2019).

O passo representa o avanço (teórico) que a hélice daria em uma única volta, ou seja, uma hélice “10” x “47” tem um diâmetro de “10” e seu passo é de “47”, indicando que essa pequena hélice se deslocaria “47” para frente a cada volta realizada. Esta hélice possui em sua composição plástico derivado do petróleo, sendo mais resistente a impactos, visualizado exemplo desta hélice na figura 12.

Figura 12 – Hélice 10 x 47.



Fonte própria.

2.3 CONTROLE

2.3.1 Técnica de controle

Para o controle e estabilidade do VANT Hexacóptero, a técnica de controle implementada foi o controle proporcional-derivativo (RODRIGUES, 2014). A ação desse tipo de controlador é dada conforme figura 13.

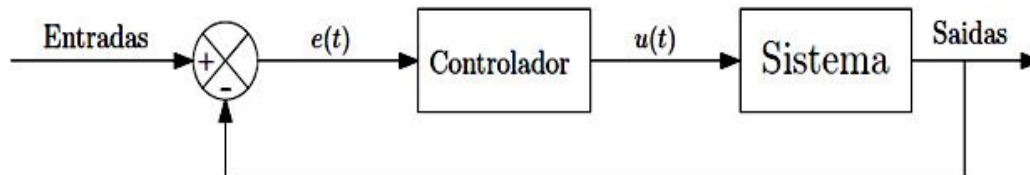
Figura 13 – Controle proporcional derivativo.

$$u(t) = K_p e(t) + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

Fonte (RODRIGUES, 2014).

Onde $u(t)$ é o sinal do controlador, $e(t)$ é o sinal de erro da variável medida, K_p o ganho proporcional e K_d o ganho derivativo. O sinal do controlador age sobre os atuadores, que por sua vez atuam sobre a planta (RODRIGUES, 2014). Um esquema genérico do sistema de controle é apresentado a seguir na figura 14.

Figura 14 – Esquema de controle.



Fonte (RODRIGUES, 2014).

2.3.2 Controladora Pixhawk

O piloto automático Pixhawk 1 é um popular controlador de voo de propósito geral, utilizando *firmware* baseado no projeto de *hardware* aberto FMUv2 (*Functional Mock-up Unit*) do projeto Pixhawk. Pode-se visualizar exemplo desta controladora na figura 15.

Figura 15 – Pixhawk 1.0, 32 bits.



Fonte própria.

Possui sistema operacional NuttX OS, trabalha analisando a memória e seus sensores em tempo real RTOS (*Real Time Operating Systems*), com ênfase em conformidade com padrões e pequena área ocupada.

Esta controladora possui as especificações conforme o fabricante:

- Processador

Núcleo de 32bit STM32F427 Cortex-M4F com FPU 168 MHz.

256 KB de RAM.

2 MB de *Flash*.

Coprocessador à prova de falhas STM32F103 de 32 *bits*.

- Sensores

ST Micro L3GD20H giroscópio de 16 *bits*.

Acelerômetro / magnetômetro de 14 bits ST Micro LSM303D.

Acelerômetro de 3 eixos *Invensense* MPU 6000 / giroscópio.

Barômetro MS5611 MEAS.

- Interfaces

5x UART (portas seriais), uma capacidade de alta potência, 2x com controle de fluxo HW.

2x CAN (um com transceptor interno de 3.3V, um no conector de expansão).

Entrada compatível *Spektrum* DSM / DSM2 / DSM-X® *Satellite*.

Entrada e saída compatíveis com Futaba S.BUS®.

Entrada do sinal de soma PPM.

Entrada RSSI (PWM ou tensão).

I2C.

SPI.

Entradas ADC de 3,3 e 6,6V.

Porta micro USB interna e extensão de porta micro USB externa.

Para a configuração da controladora Pixhawk e seus acessórios, será utilizado o programa Mission Planner *open source*, produzido pela ArduPilot.

Para comunicação com a controladora Pixhawk, foi utilizado um conector JR de três fios (sinal, positivo e negativo).

2.3.3 Controle Remoto

Para controlar o VANT Hexacóptero e movimentar a câmera conforme necessidade do usuário, foi escolhido o controle por ondas de rádio Fly Sky TH 9X, pela sua relação custo benefício.

Possui até 9 canais de comunicação, trabalhando na frequência de 2,4 a 2,475 Ghz utilizando 500 KHz como largura de banda, podendo funcionar até 500 metros de

distância do VANT Hexacóptero, conforme dados do fabricante, visualizado exemplo deste controle na figura 16.

Figura 16 – Controle Fly Sky TH 9X 9 canais de comunicação.

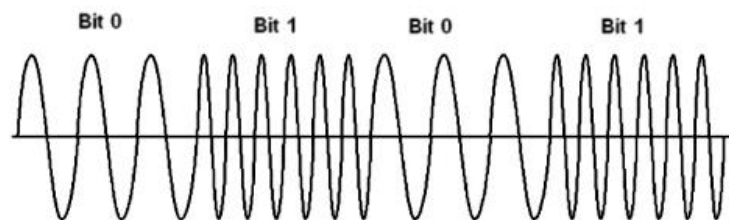


Fonte própria.

O funcionamento deste controle se dá pela modulação do sinal analógico pela frequência, chamado GFSK (*Gaussian Frequency Shift Keying*), utilizando de um filtro Gaussiano, onde é retirado ruídos que possam atrapalhar na transmissão de informações.

A transmissão das informações é serial, onde a representação do bit 0, diferente da representação do bit 1, conforme referência (NEWTONCBRAGA, 2019), visualizado exemplo da modulação GFSK na figura 17.

Figura 17 – Exemplo sinal modulado pela frequência GFSK.



Fonte (BRAGA, 2018).

Para uma melhor utilização deste controle, foi instalado o *Firmware* OpemTX 9.0, este controle utiliza como fonte de energia, uma bateria CC LiPo de 11.1 V de 2200 mAh em capacidade.

2.3.4 Módulo Transmissor Externo

Neste projeto foi utilizado módulo transmissor externo FrSky ACCST 2,4 Ghz, utilizando o protocolo ACCST (*Advanced Continuous Channel Shifting Technology*),

com avançada tecnologia de mudança de canal contínua, que evita interferências, onde são codificados os sinais analógicos para serem enviados para o módulo receptor no VANT Hexacóptero, conforme dados do fabricante.

Demonstrado exemplo módulo transmissor externo figura 18, este módulo transmissor externo se instala na parte traseira do controle remoto.

Figura 18 – Módulo FrSky ACCST 2,4 Ghz DJT.



Fonte própria.

O transmissor pode ser retirado e substituído por outro caso necessário. Este transmissor necessita que tenha um receptor equivalente, que trabalhe na mesma frequência e modulação.

2.3.5 Módulo Receptor

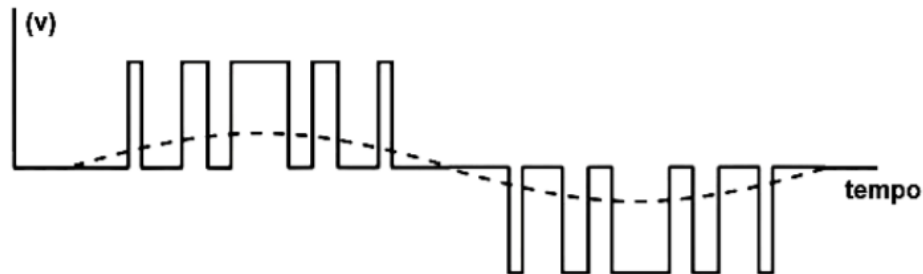
Este módulo receptor tem a função de receber os sinais oriundos do rádio controle, que repassa as informações para o Encoder, para serem transmitidos a controladora Pixhawk.

Este módulo receptor possui até 8 canais de comunicação PWM (*Pulse Width Modulation*), para decodificar digitalmente os vários níveis do sinal analógico emitido pelo módulo transmissor externo.

“Segundo (HUGHES e DRURY, 2013) o PWM é o controle da largura de pulsos que, em frequências altas, pode gerar sinais de maiores ou menores voltagens. Ao enviar sinais de ativação com maiores tempos nas fases ‘ligado’ o PWM impõe uma voltagem maior na saída, e, ao enviar sinais com maiores tempos nas fases ‘desligado’ a voltagem será menor”.

A Figura 19 mostra como um ESC consegue, dado um suprimento de voltagem *DC*, fornece uma onda senoidal conforme referência (DEMOLINARI, 2016).

Figura 19 – Onda senoidal gerada por PWM.



Fonte (HUGHES e DRURY, 2013).

Visualizado na figura 20, o módulo receptor utilizado no VANT Hexacóptero.

Figura 20 – Receptor FrSky V8FR-II HV 2,5 Ghz.



Fonte própria.

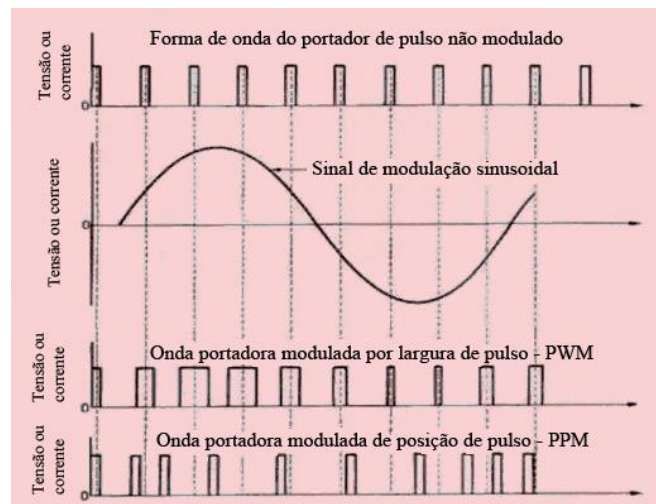
2.3.6 Encoder

A modulação PPM (*Pulse Width Modulation*), consiste na variação da posição de pulso da portadora, na proporção do sinal, mantendo constante a amplitude e a largura dos pulsos, conforme referência (CARLOSCHSANTOS, 2019).

Depois de o módulo receptor receber as informações, as informações são transmitidas para o Encoder, onde são modulados em PPM para serem interpretados pela controladora Pixhawk.

Exemplo do comportamento de um sinal PPM e PWM em um uma onda do portador de pulso não modulado é apresentado na figura 21.

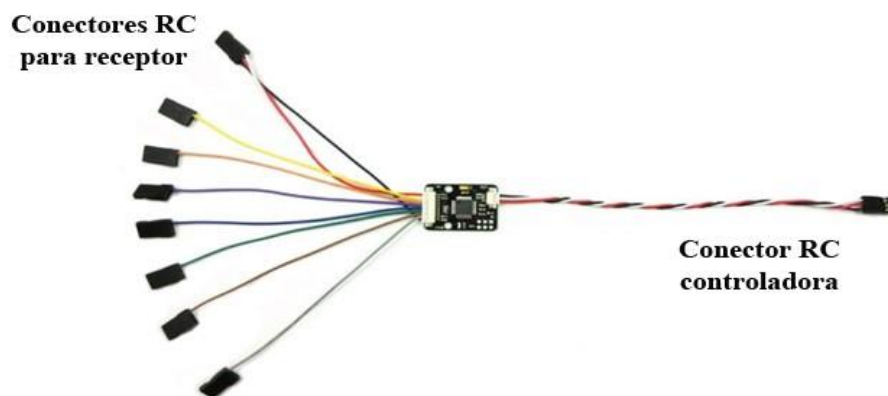
Figura 21 – Exemplo sinal PPM e PWM.



Fonte (ELPROCUS, 2018).

Com a utilização do Encoder, permite utilizar até 8 canais de comunicação do rádio controle com apenas um cabo, onde tem a função de codificador PWM e decodificador PPM, exemplo Encoder figura 22.

Figura 22 – Funcionamento Encoder: até 8 sinais PWM de entrada, transformando para saída 1 sinal PPM.



Fonte própria.

2.3.7 Telemetria

Para visualizar os dados, as informações técnicas sobre o voo do VANT Hexacóptero em tempo real, dentre as inúmeras opções de informações, como por exemplo, nível da bateria, altura do VANT, velocidade do VANT, modos de voo, utiliza-se a tecnologia de telemetria.

Foram utilizados o receptor e o transmissor de telemetria 3DR 915 Mhz com 100mw de potência, exemplo visualizado na figura 23.

Figura 23 – Receptor e o transmissor de telemetria 3DR 915 Mhz.



Fonte própria.

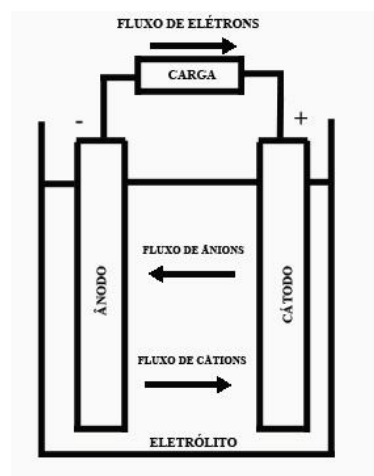
Para a visualização dos dados de voo, tensão bateria, GPS e vários outros dados, em tempo real, utiliza-se a telemetria, onde necessita-se do programa Mission Planner, produzido pela ArduPilot instalado em um *Notebook* ou aplicativo QGroundControl em um celular Android instalado, ambos *open source*.

2.4 FONTE DE ENERGIA

2.4.1 Bateria LiPo

Para este VANT Hexacóptero serão utilizadas baterias do tipo LiPo, cuja densidade de carga é maior, com menor peso em comparação com as baterias de Níquel ou Chumbo. Este tipo de bateria é formado por eletrodos positivos e negativos, pode-se visualizar um exemplo do esquema elétrico da bateria LiPo na figura 24.

Figura 24 – Esquema bateria eletroquímica básica.



Fonte (FREITAS, 2015).

O eletrodo positivo (cátodo) ocorre a redução, ou seja, recebe elétrons, onde a corrente convencional deixa o aparelho elétrico que está polarizado, constituído por polímeros (Lítio, Cobalto, Fosfato ou Manganês). O eletrodo negativo (ânodo) ocorre a oxirredução, ou seja, perde elétrons, onde a carga elétrica positiva flui para o interior do aparelho elétrico polarizado, sendo eletrodo negativo composto por elementos metálicos na bateria (FREITAS, 2015).

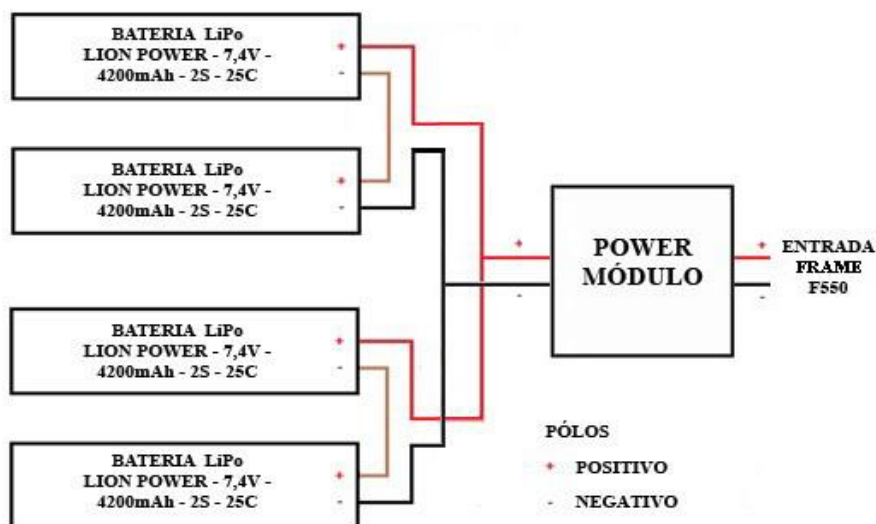
Para escolha desta bateria, foram observados alguns fatores, como por exemplo, atender os limites de tensões suportadas pelos motores e pelos ESCs e ter a força eletromotriz necessária para fazer o VANT voar.

Neste VANT Hexacóptero, foi escolhida a bateria de LiPo Lion Power de 7,4 (V), 2S (duas células de 3,7 V) e 4200 mAh em capacidade de carga e 25C em capacidade de descarga.

Neste projeto é utilizado 4 destas baterias LiPo em série, resultando em 16,4 (V) como tensão de entrada e 16.800 mAh em capacidade de armazenamento, sendo estas baterias a fonte de energia elétrica para o VANT Hexacóptero, não utilizando de outra fonte.

Utilizado conector XT60 para interligar as baterias entre si e ao *Power Module* (Módulo de energia), pode-se visualizar o esquema elétrico das baterias LiPo no VANT Hexacóptero na figura 25.

Figura 25 – Esquema elétrico baterias em série.



Fonte própria.

2.4.2 Módulo de Força – *Power Module*

Este módulo de alimentação analógica fornece 5,37 (V) constantes e 2,25(A) ao controlador de voo Pixhawk, também suporta a medição da tensão da bateria e do consumo de corrente, exemplo *Power Module* utilizado é mostrado na figura 26.

Figura 26 – Módulo de Força (*Power Module*).



Fonte própria.

2.5 GPS (*GLOBAL POSITIONING SYSTEM*)

O GPS utilizado neste VANT usa o sistema americano de posicionamento, utilizando 4 satélites ou mais, em órbita na terra, para identificar seu posicionamento (CARVALHO E ARAÚJO, 2009).

A finalidade do GPS neste projeto é justamente, visualizar a localização do VANT Hexacóptero pela telemetria e em alguns casos utilizar o piloto automático para realizar manobras automáticas, levando em consideração o local onde o VANT está no momento. Exemplo GPS M8N utilizado pode ser visualizado na figura 27.

Figura 27 – GPS (*Global Positioning System*) com bússola.



Fonte própria.

2.6 ESTABILIZADOR DE CÂMERA

Durante o voo do VANT Hexacóptero pode acontecer de haver algumas intempéries, como por exemplo, o vento balançar o VANT Hexacóptero e não ocorrer a filmagem corretamente, para tentar evitar este tipo de problema, é utilizado o Estabilizador automático de câmera BaseCam ou Gimbal.

Este equipamento, tem a função de manter a câmera para filmagens o mais estável possível, utilizando dois motores *Brushless DC* como eixos para manter a estabilidade e dois giroscópios MPU6050 como referência de posicionamento, utilizando o microcontrolador ATMEGA328P como controlador principal, necessitando de 5(V) a

22(V) de tensão de entrada para seu funcionamento, exemplo Gimbal utilizado, visualizado nas figuras 28a e 28b.

Figuras 28a e 28b – Estabilizador automático de câmera (Gimbal) de dois eixos.

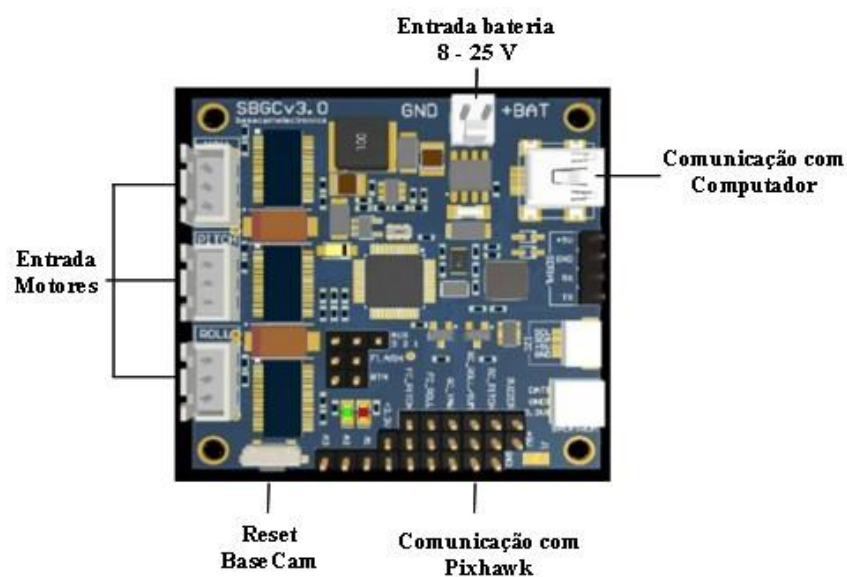


Fonte própria.

Para a configuração do Gimbal é utilizado o SimpleBGC disponibilizado pela fabricante BaseCam Eletronics.

O software da BaseCam utiliza uma *interface* GUI baseada no *Java Runtime Environment* e uma porta de comunicação serial para auxiliar na portabilidade com outros sistemas. O esquema de conexão para a placa controladora do Gimbal básica é mostrado na figura 29.

Figura 29 – Esquema de conexão do Estabilizador automático de câmera.



Fonte própria.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Metodologia

Este trabalho trata-se de uma pesquisa exploratória, caracterizada por ser um processo de pesquisa flexível e não estruturado, que analisa dados primários, considerando uma amostra pequena, em uma abordagem geralmente qualitativa, de forma a procurar entender como as coisas funcionam para o VANT Hexacóptero.

Se trata de uma pesquisa descritiva, na medida em que relacionará o peso versus autonomia do VANT Hexacóptero em forma de tabela.

Considera-se que também se trata de pesquisa qualitativa, pois apresentará os resultados através de percepções e análises, interpretando aspectos imateriais, como opiniões, sensações, pensamentos, comportamentos e sentimentos em relação ao VANT Hexacóptero desenvolvido.

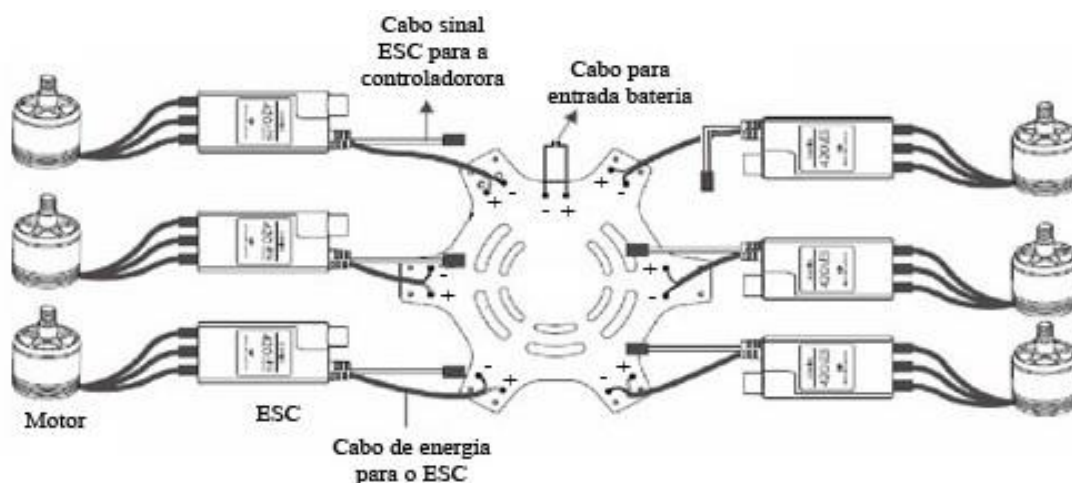
3.2 Montagem equipamentos

Para o desenvolvimento do VANT Hexacóptero, foi realizado a instalação dos equipamentos: motores, ESCs, controladora Pixhawk, *power module*, baterias, módulo receptor, Encoder, GPS, receptor telemetria, estabilizador de imagens e a câmera; sobre o Frame F550.

Para sua instalação são necessários 24 parafusos de 5 mm, onde as roscas para fixação dos parafusos são do tipo mangas de bronze (*pré-threaded*), por isso não há necessidade de trava-roscas (*lock-nozes*).

Possui placa de distribuição integrada, para solda direta de seus ESC (*Electric Speed Controller*), que economiza em fios, ajudando a diminuir no peso final do VANT Hexacóptero, consequentemente gastando menos energia, pode ser visualizado esquema elétrico Bateria-ESC-Motor utilizando no Frame F550 na figura 30.

Figura 30 – Esquema elétrico Bateria-ESC-Motor utilizando Frame F550.



Fonte (DJI, 2015).

Pode-se visualizar o resultado da montagem do VANT Hexacóptero na figura 31.

Figura 31 – Resultado montagem VANT Hexacóptero sobre o Frame F550.

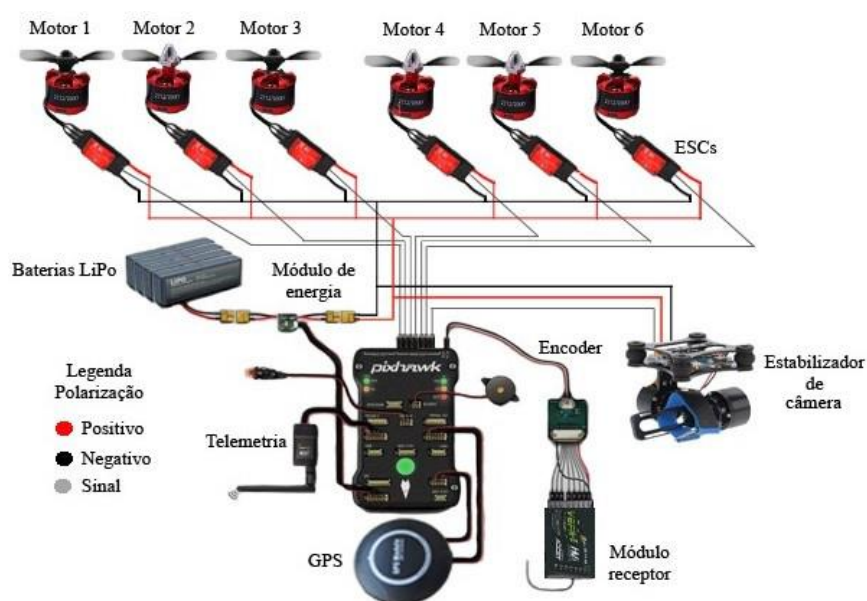


Fonte própria.

Para a montagem dos equipamentos sobre o Frame F550, é necessário que a localização dos equipamentos seja balanceada, a mais centralizada possível sobre o Frame F550, pois durante o voo, o VANT Hexacóptero pode ficar derivando para os lados se não for centralizado corretamente.

Depois de instalado os equipamentos, pode-se visualizar na figura 32, o esquema elétrico completo do VANT Hexacóptero.

Figura 32 – Esquema elétrico do VANT Hexacóptero.



Fonte própria.

3.3 Configuração VANT Hexacóptero com Mission Planner

O Mission Planner é um aplicativo de estação terrestre com recursos completos para o projeto de VANT *open source* do ArduPilot, pode ser usado como um utilitário de configuração ou como um suplemento de controle dinâmico para seu VANT (ARDUPILOT, 2019).

Para que o VANT Hexacóptero possa voar, necessita-se configurar a controladora Pixhawk, para a configuração é utilizado o programa Mission Planner *open source*, visualizado exemplo de sua tela inicial de configuração na figura 33.

Figura 33 – Tela inicial Mission Planner.



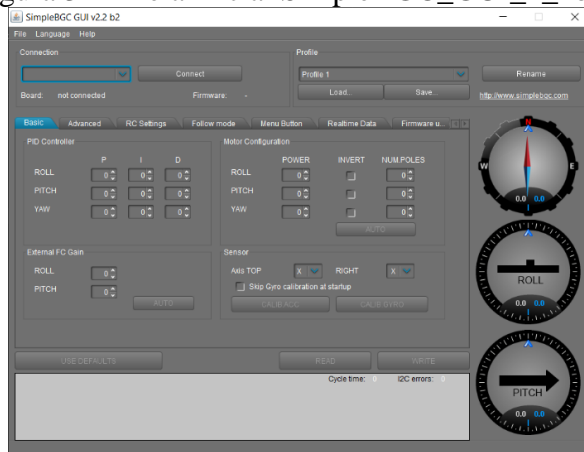
Fonte própria.

Foi realizado a configuração *Fail Safe* para o VANT Hexacóptero retornar ao seu local de origem quando o nível de suas baterias atingirem 80% de uso e também foi configurado a saída 7 da controladora Pixhawk para controlar o Estabilizador automático de câmera (Gimbal).

3.4 Configuração Estabilizador automático de câmera na Pixhawk

Para que o usuário possa realizar filmagens de vários ângulos e alturas diferentes com o VANT Hexacóptero, necessita-se realizar a configuração do Estabilizador automático de câmera (Gimbal), onde é realizado pelo programa SimpleBGC_GUI_2_2b2 *open source*, exemplo tela inicial de configuração do Gimbal na figura 34.

Figura 34 – Tela inicial SimpleBGC_GUI_2_2b2.



Fonte própria.

Com esta configuração o usuário poderá movimentar a câmera para cima ou para baixo em pleno voo do VANT Hexacóptero, realizando movimentos de 90 graus para cima ou para baixo, apenas movimentando o potenciômetro do controle remoto.

A configuração do estabilizador de câmera, ocorre em dois programas, primeiro ocorre no Mission Planner, onde é configurado o canal do controle remoto e depois é realizado a configuração no SimpleBGC onde é realizado a calibragem do Estabilizador automático de câmera (Gimbal), onde tentará manter a câmera na posição definida de forma automaticamente.

Para a realização destas configurações, foi utilizado como orientações os seguintes sites:

Para controladora Pixhawk:

“Como montar um drone para filmagens aéreas” do canal do YouTube Mundo Drone, disponível em: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLWs-2SBkINyzaFjBOUOJT7oA-V5NfDGwd>, visualizado janeiro de 2018.

Para Estabilizador automático de câmera (Gimbal):

“Configurando Gimbal - *Tilt (Pitch)*” do canal do YouTube Mundo Drone, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=KPUi7Gi1JUs&t=431s>, visualizado janeiro de 2018.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

4.1 Conclusão

Deste projeto tem como resultado, um VANT Hexacóptero *open source*, onde pode realizar voos e filmagens em nível profissional, podendo utilizar câmeras GoPro 3 ou GoPro 7, com um custo pelo menos 30% menor que o mercado (*e-commerce*), conforme visualizado dados na tabela 1.

Tabela 1 – Preços de VANTs comparados com o VANT desenvolvido.

VANTs	Quantidade motores	Controladora utilizada	Capacidade de bateria	Possui Gimbal	Valor em Reais
VANT desenvolvido	6	Pixhawk	20 min voo	sim	1.700,00
(VANT 1, 2019)	6	DJI NASA	15 min voo	sim	3.500,00
(VANT 2, 2019)	4	DJI NASA	15 min voo	sim	3.900,00
(VANT 3, 2019)	6	DJI NASA	15 min voo	sim	4.439,76
(VANT 4, 2019)	6	não declarado	não declarado	não	4.983,00

Fonte própria.

Pode-se conferir os limites deste VANT Hexacóptero, através da relação peso do VANT Hexacóptero versus sua autonomia de voo, conferindo tabela 2 a baixo.

Tabela 2 – Relação peso do VANT Hexacóptero versus autonomia de voo.

Qual o tempo total de voo do VANT Hexacóptero?	20,4 min
Qual o peso total suportado pelo VANT Hexacóptero?	7,2 Kg
Qual tempo total de voo do VANT Hexacóptero para peso total suportado?	6,30 min
Esta VANT Hexacóptero desenvolvido é viável?	Sim

Fonte própria.

Para a escolha dos componentes, foi comparado o custo primeiramente e depois suas viabilidades técnicas em relação a outros componentes existentes no mercado (*e-commerce*).

4.2 Contribuições deste trabalho

Sua contribuição se dá na experiência em se desenvolver um VANT Hexacóptero voltado para filmagens aéreas, sabendo a relação peso versus autonomia deste VANT Hexacóptero desenvolvido, apresentando sua viabilidade, podendo ser referência para trabalhos futuros relativos a VANTs.

Outra contribuição se dá nos equipamentos utilizados, como são todos *open source*, já estão no mercado a bastante tempo, podem ser estudados ou melhorados se necessário.

4.3 Desafios encontrados neste trabalho

Para o desenvolvimento deste VANT Hexacóptero, foram encontrados desafios referentes a escolha dos equipamentos a serem utilizados, onde os mesmos atendessem requisitos como: especificações técnicas do equipamento, valor do equipamento e tempo de entrega do mesmo.

Outras dificuldades estão relacionadas com a pouca quantidade de material de apoio de acesso livre na internet, para o desenvolvimento do VANT Hexacóptero.

5 REFERÊNCIAS

ARDUPILOT. **Introdução ao Mission Planner**, disponível em <http://ardupilot.org/planner/docs/mission-planner-overview.html>, contém informações sobre o programa Mission Planner, acesso em 21 de agosto de 2019.

BRAGA, N.C. **Instituto NCB**, disponível em: <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/almanaque-tecnologico/195-f/7879-fsk-alm1019>, contém informações sobre modulador de frequência FSK, acesso em 15 de dezembro de 2018.

BÜCHI, R. *Fascination Quadcopter*. 1. Ed. Estados Unidos: *Books on Demand*, 2011.

CARLOSCHSANTOS. **Modulação PPM e PWM**, disponível em <http://carlos-ch-santos.net/fich2/PPMPWM.pdf>, contém informações sobre modulações PPM e PWM, acesso em 05 de Junho de 2019.

CARVALHO, A.E., ARAÚJO, P.C. **Noções básicas de sistema de posicionamento global GPS**. 1. Ed. Rio Grande do Norte: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2009.

COSTA, S.E.A.P. **Controlo e Simulação de um Quadrirotor Convencional**. 1. Ed. Portugal: Dissertação de mestrado Universidade Técnica de Lisboa, 2008.

DELAIR. **Drone de Mapeamento**, disponível em: <https://delair.aero/professional-drones-2/professional-mapping-drone-delair-ux11/>, contém informações sobre Drones de mapeamento, acesso em 20 de dezembro de 2018.

DEMOLINARI, H.C. **Projeto de construção um drone hexacóptero**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Fluminense, 2016.

DJI. *Frame Wheel Arf Kit*, disponível em: <https://www.dji.com/product/flare-wheelarf?www=v1>, contém informações sobre Frame F550, acesso em 15 de dezembro de 2015.

DRONEVISUAL. **O MAIOR PORTAL DE NOTÍCIAS DE DRONES**, disponível em: <https://www.dronevisual.com/single-post/2018/09/14/CONHECA-LEGISLACAO-DE-DRONES-NO-BRASIL-HOMOLOGACAO>, que contém informações sobre VANTs em geral, acesso em 05 de junho de 2019.

ELPROCUS. **Projetos elétricos**, disponível em: <https://www.elprocus.com/difference-between-pam-pwm-ppm/>, contém informações sobre Diferencias entre PAM, PWM e PPM, acesso em 15 de dezembro de 2018.

FREITAS, D.J.B. **Estudo e Aplicação de Modelos Analíticos na Predição do Tempo de Vida de Baterias Utilizadas em Dispositivos Móveis: Proposição de Extensões aos Modelos Tradicionais Estudo e Aplicação de Modelos Analíticos na Predição**. 1. Ed. Rio Grande do Sul: Dissertação de Mestrado – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2015.

GOMES, M.E. **Sistema Embarcado para Controle de Motores *Brushless* DC *sensored* e *sensorless* para Veículos Portáteis de Transporte Individual**. 1. Ed. Brasília: Universidade de Brasília, 2018.

HANGAR. **Como as hélices Funcionam**, disponível em <http://blog.hangar33.com.br/como-as-helices-funcionam/>, contém informações sobre hélices para voos, acesso em 21 de agosto de 2019.

HUGHES, A., DRURY, B. **Electric Motors and Drives**. 4 Ed. *United States*: Elsevier e Waltham, 2013.

JOHNSON, W. **Helicopter Theory**. 1. Ed. *New York*: Dover Publications, 1980.

KEANE, J.F., CARR, S.S. **A Brief History of Early Unmanned Aircraft**. 1. Ed. *United States*: Johns Hopkins APL Technical Digest, 2013.

LEISHMAN, J.G. **A History of Helicopter Flight**, disponível em <http://terpconnect.umd.edu/~leishman/Aero/history.html>, contém informações sobre histórias sobre helicópteros, acesso em 2000.

MELO, A.S. **Implementação de um Quadrirrotor como Plataforma de Desenvolvimento para Algoritmos de Controle**. 4 Ed. Espírito Santo: Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Espírito Santo, 2010.

MONTEIRO, L.H.A. **Sistemas dinâmicos**. 1. Ed. São Paulo: Livraria da Física, 2002.

NEWTONCBRAGA. **Almanaque tecnológico**, disponível em <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/almanaque-tecnologico/195-f/7879-fsk-alm1019>, que contém informações sobre VANTs em geral, acesso em 05 de junho de 2019.

NOARDRONE. **Quais componentes compõem o drone?**, disponível em https://noardrone.com.br/perguntas_frequentes/quais-componentes-compoe-o-drone/, que contém informações sobre VANTs em geral, acesso em 05 de junho de 2019.

PAULA, J.C. **Desenvolvimento de um VANT do tipo Quadrirrotor para obtenção de imagens aéreas em alta definição**. 1 Ed. Curitiba: Dissertação de Mestrado Universidade Federal do Paraná, 2012.

RODRIGUES, H.K. **Elaboração de Projeto para Construção de Quadricóptero Autônomo Eficiente**. 1 Ed. São Paulo: Relatório Final - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2014.

TREST, D. **Motores sem escova - como eles funcionam e o que os números significam**, disponível em: <https://www.dronetrest.com/t/brushless-motors-how-they-work-and-what-the-numbers-mean/564>, acesso em 15 de dezembro de 2018.

TRINDADE, R.H. **Estudo de máquinas elétricas não-convencionais: Motor Brushless DC**. 1 Ed. São Carlos: Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Escola de Engenharias de São Carlos, 2009.

VANT 1. **Hexacóptero Drone Para Filmagens Aéreas Com Dji Naza E Gimbal**, disponível em https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-728788855-hexacoptero-drone-para-filmagens-aereas-com-dji-naza-e-gimba-_JM#position=4&type=item&tracking_id=d13537de-5633-472d-b30c-8a03d93d41db, site de venda Hexacóptero, acesso em 14 de novembro de 2019.

VANT 2. **Dji Phantom 3 Standard**, disponível em https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1332783809-dji-phantom-3-standard-_JM?matt_tool=79246729&matt_word&gclid=CjwKCAiA8K7uBRBBEiwACOm4d0

XsBrtbKgc0VDNrBfZQJ5wrBqEbHceZPDKeNaz_AhsHANL5D8b2IRoCONMQAvD_BwE&quantity=1&variation=44333672572, site de venda Quadróptero, acesso em 14 de novembro de 2019.

VANT 3. **F550 AliExpress**, disponível em https://pt.aliexpress.com/item/1118929709.html?src=google&src=google&albch=shopping&acnt=494-037-6276&isdl=y&slnk=&plac=&mtctp=&albbt=Google_7_shopping&aff_platform=google&aff_short_key=UneMJZVf&&albagn=888888&albcpr=7475419406&albag=78285569502&trgt=296730740870&crea=pt1118929709&netw=u&device=c&gclid=CjwKCAiA8K7uBRBBEiwACOm4d-IWSxDvvj647LwYafOaMcdcu-Fu2TzNjmJQ5rv52F1tBy6wJr-QdhoCk5wQAvD_BwE&gclsrc=aw.ds, site de venda Hexróptero no AliExpress, acesso em 14 de novembro de 2019.

VANT 4. **Hexróptero Mutcop Gopro - S800 Cinestar Dji Phantom Inspire**, disponível em https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-716747252-hexacoptero-mutcop-gopro-s800-cinestar-dji-phantom-inspire-_JM#position=6&type=item&tracking_id=d13537de-5633-472d-b30c-8a03d93d41db, site de venda Hexróptero, acesso em 14 de novembro de 2019.