



Introdução ao DIY Multirotor Como Sistema de Apoio à Inspecção a Infra-estruturas de Produção e Distribuição de Energia

CARLOS DANIEL SOUSA INÁCIO

Outubro de 2018

INTRODUÇÃO AO DIY MULTIROTOR

Como Sistema de Apoio à Inspeção a
Infra-estruturas de Produção e Distribuição de
Energia

CARLOS DANIEL SOUSA INÁCIO

Dissertação submetida para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Electrotécnica
– Sistemas Eléctricos de Energia



Departamento de Engenharia Electrotécnica
Mestrado em Engenharia Electrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia

2018

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de DSEE
- Dissertação do Mestrado em Engenharia Electrotécnica – Sistemas Eléctricos de
Energia

Candidato: Carlos Daniel Sousa Inácio, N° 1160424, 1160424@isep.ipp.pt

Orientação Científica: José Ricardo Teixeira Puga, jtp@isep.ipp.pt

Supervisão: Maria Judite Madureira da Silva Ferreira, mju@isep.ipp.pt

INTRODUCTION TO DIY MULTIROTOR

As a System to Support the Inspection of Energy Production
and Distribution Infrastructures



Departamento de Engenharia Electrotécnica

Mestrado em Engenharia Electrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia

2018

Resumo

A crescente utilização de ferramentas cada vez mais evoluídas e inteligentes no auxílio de tarefas nos nossos dias, são a prova consistente da sociedade moderna em que vivemos hoje.

A rapidez com que a integração dessas novas tecnologias modifica o nosso quotidiano permite esquecer como era a vida antes da existência dessa tecnologia. O mesmo acontece com a adaptação dos multirotores à nossa sociedade actual.

Devido às vantagens que este equipamento proporciona, é possível prever a sua aplicação às mais diversas áreas da nossa sociedade actual, tornando este equipamento cada vez mais comum no nosso quotidiano.

A produção energética também beneficia destes avanços tecnológicos. Por esse motivo surge a constante necessidade aproveitar tecnologias emergentes de modo a encontrar formas mais económicas, rápidas e eficientes de a melhorar a qualidade do serviço prestado aos consumidores.

Nesse sentido, a evolução da tecnologia dos veículos aéreos não tripulados veio oferecer novas possibilidades e melhorias na manutenção de infra-estruturas de energia.

Os veículos aéreos não tripulados são naturalmente vocacionados para trabalhos perigosos ou altamente complexos do ponto de vista técnico. Por esse motivo, são previsíveis vantagens na eficiência, no aumento da segurança e na redução de custos nessas tarefas. Em função disso, actualmente faz sentido o uso destes sistemas em substituição ou complementação da vertente humana.

Neste documento, pretende-se apresentar ao leitor as vantagens da aplicação do multirotor em tarefas de inspecção e manutenção de infra-estruturas de energia, como também desmistificar o equipamento.

Nesse sentido, é realizada a sua apresentação e abordada a legislação em vigor, seguindo-se da descrição dos diferentes componentes que constituem o multirotor.

De forma a demonstrar que a construção do nosso próprio drone é uma realidade, neste documento é ainda apresentada a criação de um DIY drone com a possibilidade de ser adaptado para missões de inspecção e manutenção de infra-estruturas de produção energética.

Por fim, e de forma a dar um contributo para a aplicação deste tipo de veículo na inspecção e apoio de infra-estruturas de produção e distribuição de energia. É apresentado

o desenvolvimento de uma solução que permite concentrar a atenção do piloto no controlo do VANT, como também obter ganhos na qualidade de captação de imagens.

Palavras-chave:

Veículo Aéreo Não Tripulado; Drone, DIY, VANT, Produção, Distribuição; Open Source; Pixhawk; Inspeção; Energia; RPA; Legislação; Planeamento de Missões; Multirotor; Manutenção; Brushless; Arduíno; ESC; PDB; FPV; VTX; Protocolos; Inav; Mission Planner; ArduCopter.

Abstract

The growing use of increasingly evolved and intelligent tools to aid our day-to-day tasks are the consistent proof of the modern society in which we live today.

The speed with which the integration of these new technologies modifies our daily life allows us to forget what life was like before the existence of this technology. The same is true by adapting multirotor into our present society.

Due to the advantages that this equipment provides, it is possible to predict its application to the most diverse areas of our current society, making this equipment increasingly common in our daily lives.

Energy production also benefits from these technological advances. This is why there is a constant need to harness emerging technologies to discover cheaper, faster and more efficient ways of improving the quality of service provided to consumers.

In this sense, the evolution of unmanned aerial vehicle technology came to offer new possibilities and improvements in the maintenance of energy infrastructures.

Unmanned aerial vehicles are naturally geared to hazardous or highly complex jobs from a technical point of view. For this reason, advantages in efficiency, safety enhancement and cost reduction in these tasks are foreseeable. As a result, it now makes sense to use these systems to replace or complement the human dimension.

In this document, it is intended to present to the reader the advantages of multirotor application in tasks of inspection and maintenance of energy infrastructures, as well as to demystify the equipment.

In this regard, its presentation is made and the legislation in force is discussed, followed by a description of the different components that constitute the multirotor.

In order to demonstrate that the construction of our own drone is possible, this document also presents the creation of a DIY drone with the possibility of being adapted for missions of inspection and maintenance of energy production infrastructures.

Finally, to contribute to the application of this type of vehicle in the inspection and support of infrastructures of production and distribution of energy, it is presented the development of a solution which allows to concentrate the attention of the pilot in the control of the UAV, as well as to obtain gains in the quality of image capturing.

Keywords:

Unmanned aerial vehicle; Drone, DIY, UAV, Production, Distribution; Open Source; Pixhawk; Inspection; Energy; RPA; Legislation; Mission Planning; Multirotor; Maintenance; Brushless; Arduino; ESC; PDB; FPV; VTX; Protocols; Inav; Mission Planner; ArduCopter.

Índice:

Resumo	ii
Abstract.....	v
Keywords:.....	vi
Índice:	vii
Lista de figuras:	xii
Lista de Tabelas:	xiv
Lista de Siglas.....	xv
Motivação	xvii
Objectivos do Trabalho.....	xviii
Organização da Dissertação.....	xviii
1 Introdução	2
1.1 Tarefas Onde os VANTs Podem Ajudar.....	2
1.1.1 Diferenças Entre Drone, VANT e UAV	3
1.1.2 A Utilidade do VANT	4
1.2 A Sua Utilidade na Manutenção de Infra-Estruturas de Energia	4
1.2.1 Funções.....	5
1.3 Vantagens no Seu Uso	6
1.3.1 Segurança	6
1.3.2 Ambiente	6
1.3.3 Economia.....	7
1.3.4 Conclusão das Vantagens.....	7
2 Aplicabilidade do VANT.....	9
2.1 Na Fase de Construção das Instalações de Produção Energética.....	9
2.2 Na Manutenção de Linhas Eléctricas	10
2.2.1 Manutenção e Inspeção	10
2.2.2 Inspeção Tradicional	12
2.2.3 Manutenção de Linhas com Veículos Aéreos Tripulados.....	12
2.2.4 Inspeção com Recurso ao VANT	15
2.2.5 Ultimação	19
2.3 Inspeção de Aerogeradores	19
2.3.1 Inspeção Tradicional	20

2.3.2	Inspecção com Recurso ao VANT	21
2.4	Inspecção com Termografia a Parques Solares.....	22
2.4.1	Inspecção com Termografia Aérea.....	23
2.5	Inspecção em Centrais Hidroeléctricas	26
2.5.1	Inspecção em Centrais Hidroeléctricas com Recurso ao VANT	26
2.6	Conclusão.....	27
3	Legislação em Vigor.....	29
3.1	Objectivos e Âmbito do Regulamento	29
3.2	Condições para a Utilização do Espaço Aéreo Nacional	30
3.3	Aeronave Brinquedo	30
3.4	Altura Máxima	30
3.5	Restrições Aéreas	31
3.5.1	Proibições	31
3.6	Mapa de Restrições	33
3.7	Pedidos de Autorização para Voar.....	33
3.8	Operação à Linha de Vista e Além da Linha de Vista	34
3.9	Recolha de Imagens	35
3.10	Seguro e Licença e Registo	35
3.11	Conclusão do Regulamento.....	35
4	Introdução ao Veículo Aéreo não Tripulado	38
4.1	A História do Drone	38
4.2	O que é um Multirotor.....	39
4.2.1	Dinâmica de Voo.....	39
4.2.2	Número de Motores.....	40
4.2.3	Disposição dos Motores	41
4.2.4	Configurações das Estruturas	42
4.3	DIY Drone.....	47
4.3.1	Vantagens	48
4.3.2	Desvantagens.....	48
5	Partes Constituintes de um Multirotor	51
5.1	Componentes de um Multirotor	51
5.2	Estrutura	52
5.3	Motores	53

5.3.1	Motores Brushless	53
5.3.2	Motores Brushed	56
5.3.3	Tamanho do Motor	57
5.3.4	Factores que Influenciam a Escolha de Motores	58
5.3.5	Torque	58
5.3.6	A Relação dos Motores Brushless e o Kv	59
5.3.7	Tempo de Resposta	60
5.3.8	Vibrações	61
5.3.9	Abertura de Ar	62
5.3.10	Sentido dos Motores	62
5.3.11	A Escolha Acertada	63
5.4	Electronic Speed Control	63
5.4.1	ESC 4 em 1	64
5.4.2	Corrente	64
	Consumo de Corrente	65
	Tensão de Entrada	66
	Firmware BHLHELI	66
	Protocolo	66
	Opto ESC	67
5.5	Power Distribution Board	67
5.6	Controladora de Voo	68
5.6.1	Controladoras de Voo Open Source	69
5.6.2	Processadores	70
	Processadores F2, F5 e F6	72
	Número de UART's	72
5.7	Sistema FPV	73
5.7.1	Câmara	73
5.7.2	Sensores de Imagem	74
5.7.3	Resolução	75
5.7.4	Uso de Câmeras HD	75
5.7.5	VTX	76
5.7.6	Antena	76
5.8	Sistema Rádio	78

5.8.1	Características	79
5.8.2	Protocolos de Comunicação	80
	Protocolos RX.....	82
	Protocolos TX	83
5.9	Baterias.....	84
5.9.1	Escolha da Bateria Certa	84
5.9.2	Células	85
5.9.3	Taxas de Descarga.....	86
5.9.4	Carregamento	86
	Tipos de Carregamento	87
5.9.5	Cabo de Balanceamento	87
5.9.6	Cuidados e Precauções	88
5.10	Global Navigation Satellite System.....	91
5.11	Buzzer.....	92
5.12	Hélices	93
	Escolha.....	94
	Passos	94
	Balanceamento	95
	Peso	95
	Materiais	95
	Número de Laminas	96
5.13	Gimbal	97
	Gimbal de Segunda Geração.....	98
5.14	Desvantagens do Gimbal.....	98
5.15	Trem de Aterragem.....	98
6	Software Configurador de Voo.....	100
6.1	ArduPilot e a sua Relação com o Pixhawk	102
6.1.1	Evolução do Pixhawk.....	102
6.1.2	Camadas de Software	103
6.2	ArduPilot.....	104
6.3	Outros Softwares Configuradores.....	104
7	Simuladores de Voo.....	105
8	Montagem de um Hexacóptero.....	108

8.1	Montagem da Estrutura	108
8.2	Criação de Uma Caixa de Testes	110
8.3	Criação de Peças e Seus Benefícios	111
8.4	Montagem da Electrónica	114
8.5	Esquemas de Ligação de Todos os Componentes.....	119
	ESC (com 40A <i>BLheli_32</i> , <i>DShot1200</i> e LED sinalizador).....	120
9	Configurações	123
9.1	Instalação do Firmware	123
9.2	Configurações Mission Planner	124
9.3	Outras Configurações	126
9.4	Planeamento de Missões	127
9.5	Sistema de Apoio à Inspeção.....	128
9.6	Criação do Sistema de Apoio.....	129
9.6.1	Modulo nRF24L01+PA+LNA	129
	PA+LNA	129
	Modo de funcionamento	130
	Rede Multiceiver.....	130
9.7	Programação e Interligação entre o Modulo e o Arduino	130
9.7.1	Ligação do Módulo Emissor	131
9.7.2	Programação do Módulo Emissor	131
9.7.3	Ligação do Módulo Receptor	134
9.7.4	Programação do Modulo Receptor.....	135
10	Apresentação do Protótipo.....	138
11	Demonstração de Resultados	142
12	Conclusões e Trabalhos Futuros	145

Lista de figuras:

Figura 1: Distâncias Regulamentares.....	11
Figura 2: Inspeção a aerogeradores	20
Figura 3: Inspeção a linhas de transmissão	22
Figura 4: Yaw Pitch Roll.....	40
Figura 5: Bicóptero	42
Figura 6: Y3	43
Figura 7: Xquad	44
Figura 8: +Quad	44
Figura 9: Y4	44
Figura 10: Hquad	44
Figura 11: +Hex	45
Figura 12: Xhex	45
Figura 13: Y6	45
Figura 14: +Octo	46
Figura 15: Xocto	46
Figura 16: Xocto Coaxial.....	47
Figura 17: Modo de funcionamento de um motor brushless	54
Figura 18: Exemplo do passo e comprimento.....	94
Figura 19: Peças da estrutura em fibra de Carbono	108
Figura 20: Fixação dos parafusos.....	109
Figura 21: Trem de aterragem.....	109
Figura 22: Código para a caixa de testes do trem de aterragem	110
Figura 23: Colocação dos motores.....	111
Figura 24: Peça de suporte dos ESC	113
Figura 25: Algumas das peças criadas	113
Figura 26: Protótipo do suporte do BEC para os LED	114
Figura 27: Identificação de motores.....	114
Figura 28: PDB ao centro e identificação de fios	115
Figura 29: colocação do conector XT60.....	115
Figura 30: Estrutura de suporte do ESC secundário e UBEC.....	116

Figura 31:Montagem dos GPS e controladora de voo ao centro	116
Figura 32: Câmera FPV	117
Figura 33: Gimbal estabilizado com câmara para captação de imagens HD....	117
Figura 34: Controladora de voo no topo do aparelho	118
Figura 35: Alimentação Primária.....	119
Figura 36: Alimentação secundária.....	121
Figura 37: Instalação de firmware adequado	123
Figura 38: Menu inicial.....	124
Figura 39: Exemplo de configuração- gimbal.....	126
Figura 40: Pormenor da página de parametrização.....	126
Figura 41: Planeamento de missões	127
Figura 42: Co-piloto com a função de captar imagens	128
Figura 43: Rede Multiceiver	130
Figura 44: Ligações emissor	131
Figura 45: Esquema de ligação receptor	134
Figura 46: Drone com os braços retraídos para transporte	138
Figura 47: Pormenor da hélice de 330mm em fibra de carbono e do motor.....	139
Figura 48: Vista de cima com o aparelho ligado	139
Figura 49: finalização da montagem do drone com 690mm ponta-a-ponta	140
Figura 50: Drone com Gimbal	140
Figura 51: Inspeção de infra-estruturas.....	142
Figura 52: Inspeção a linhas eléctricas.....	143
Figura 53: Inspeção a torres	143
Figura 54: Vista aérea	143

Lista de Tabelas:

Tabela 1: Lista componentes primários	120
Tabela 2: Lista c componentes secundários	122

Lista de Siglas

ANAC – Autoridade Nacional de Aviação Civil
APN – ArduPilotMega
AAN – Autoridade Aeronáutica Nacional
AOA – Angle of Attack
ATF – Almost Ready to Fly
ATZ – Aerodrome Traffic Zone
CTR – Control Zone
CCD – Charge-Coupled Device
CMOS – Complementary metal-oxide semiconductor
DSMX – Digital System Multiplexer X
DSM2 – Digital System Multiplexer 2
DYI – Doing Yourself In
EASA – European Aviation Safety Agency
ESC – Electronic Speed Control
FPV – First-Person View
GNSS – Global Navigation Satellite System
GCS – Ground Control Station
IBUS – Intelligent Binary Unit System
IMU – Inertial Measurement Unit
LIDAR – Laser Imaging Detection and Ranging
LHCP – Left Hand Circular Polarized
NiMh – Nickel- Metal Hydride
OSD – On Screen Display
PDB – Power Distribution Board
PPM – Pulse Position Modulation
PWM – Pulse Width Modulation
PCM – Pulse Code Modulation
PID – Proportional Integral Derivative
PROPS – Propeller

RTF – Ready to Fly
RPA – Remotely Piloted Aircraft
SBUS – Serial Binary Unit System
TVL – TV Lines
TRMZ – Transponder Rádio Mandatory Zone
UAV – Unmanned Aerial Vehicle
UART – Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
UAS – Unmanned Aircraft System
VTX – Video Transmitter
VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado
VLOS – Visual Line-of-Sight
WDR – Wide Dinamic Range
RHCP – Right Hand Circular Polarized

Motivação

Um dos grandes desafios que as empresas de distribuição de energia eléctrica enfrentam nos dias de hoje é a continuidade da prestação de serviço. Um dos pontos fulcrais para o sucesso desse objectivo é uma manutenção eficiente das redes. Essa manutenção pode tornar-se extraordinariamente dispendiosa, pelo que devem ser encontradas novas formas para reduzir custos sem tirar à qualidade.

A evolução e acesso a determinadas tecnologias, vem proporcionar essa redução de tempo e custos desejada, como também permite aumentar a qualidade do serviço. Nesse sentido, a evolução da tecnologia dos veículos aéreos não tripulados veio proporcionar essas melhorias na manutenção de infra-estruturas de energia.

Se há poucos anos não era previsível o avanço tecnológico tão assinalável que as aeronaves não tripuladas registaram, menos previsível seria o crescimento desta indústria e o leque de oportunidades que este equipamento permite.

A energia também beneficia deste avanço tecnológico. Por esse motivo, actualmente faz sentido o uso destes sistemas em substituição ou complementação da vertente humana.

Os veículos aéreos não tripulados são naturalmente vocacionados para trabalhos perigosos ou altamente complexos do ponto de vista técnico. Por esse motivo, são previsíveis vantagens na eficiência, no aumento da segurança e na redução de custos nessas tarefas.

Objectivos do Trabalho

Com este trabalho, pretende-se que o leitor conheça a utilidade dos VANT nas sociedades modernas, como também os benefícios obtidos com a sua utilização na manutenção de infra-estruturas de energia.

Embora cada vez mais presente na sociedade, este equipamento ainda é visto com um equipamento mítico, que na prática apenas se encontra nos bastidores, dentro do escopo da ficção científica, que é inacessível, complexo e caro.

Por esse motivo, pretende-se dar a conhecer ao leitor a tecnologia por detrás deste equipamento, apresentando os diversos componentes e terminando com a demonstração da montagem de um multirotor.

Organização da Dissertação

Para além deste capítulo introdutório, nesta dissertação de dissertação de mestrado, é demonstrada a utilidade dos veículos aéreos não tripulados em tarefas de inspecção visual na área da produção e transporte de energia.

Este trabalho encontra-se organizado em 11 (onze) capítulos.

No primeiro capítulo é realizada uma introdução à problemática. Aqui são mostradas tarefas no âmbito de sistemas de energia onde os VANT poderiam dar o seu contributo e vantagens associadas.

Depois da introdução, foram descritas mais detalhadamente cada uma das tarefas onde o seu uso faria a diferença, trazendo benefícios na segurança, ambiente e economia. O capítulo termina com a conclusão sobre a sua aplicação nesse âmbito.

De seguida, foi abordada a legislação em vigor. Este tópico não poderia ficar esquecido porque existem demasiados mitos sobre a utilização destes equipamentos. Isto muito devido aos acontecimentos mediáticos recentes envolvendo drones.

Segue-se a apresentação ao equipamento que tanto se falou. Aqui é mencionada um pouco da sua história e no modo como os diferentes tipos de RPA se elevam no ar.

Passada a apresentação geral do equipamento, seguiu-se a descrição dos vários componentes integrantes de um DIY drone. Esta descrição vai a detalhes que ajudam o leitor a entender melhor não só o funcionamento do aparelho, como também o ajudam a evitar erros na sua construção e utilização.

Após uma exaustiva descrição dos componentes, segue-se a descrição dos softwares que ajudam na parametrização do hardware, de forma a que o equipamento consiga realizar o voo sem problemas.

Segue-se a apresentação de algumas fases da construção de um drone que, devido às suas características, poderia eventualmente ser usado como um VANT em missões de inspeção no âmbito da produção de energia.

Ulteriormente, é apresentado o drone criado, como também são demonstradas e provadas as suas capacidades para inspeção de infra-estruturas de energia.

A criação deste Drone não passou apenas pela montagem dos diferentes componentes. Para este equipamento foram criadas peças específicas de forma a obter ganhos na performance do aparelho. Não obstante, ainda existem melhorias possíveis de ser realizadas. Por essa razão, a dissertação não poderia terminar, sem as conclusões do trabalho realizado, como também as propostas para alguns melhoramentos e trabalhos futuros.

Introdução

Capítulo 1

1 Introdução

O sistema eléctrico nacional está organizado numa cadeia de valor que passa pela produção, transporte, distribuição e comercialização de energia eléctrica. Contudo, para que a energia chegue às nossas casas com a elevada qualidade dos padrões actuais, esta tem obrigatoriamente de ter como base um bom planeamento, construção e manutenção de infra-estruturas de energia.

A manutenção é parte inerente na gestão das infra-estruturas e deve ser garantida de forma a proporcionar a qualidade de serviço prestado. Esta é a responsável por manter e repor as condições técnicas necessárias para o sistema ser operado em segurança. A maior parte desse trabalho é realizado manualmente numa base que assenta em inspecções que podem por exemplo, passar pela monitorização ou substituição dos vários elementos de uma linha de transmissão. Embora comum, este é um processo lento, caro e arriscado. Por vezes o acesso tem de ser feito por andaimes ou plataformas, como também poderá haver a necessidade de desligar a instalação durante o tempo de manutenção. A manutenção tradicional poderá ainda traduzir-se em resultados de baixa qualidade ou incompletos, o que a tornam numa abordagem pouco eficaz.

Actualmente, são executadas inspecções preventivas de rotina, em que algumas delas são realizadas com recurso a helicópteros. Estas inspecções aéreas permitem realizar não só inspecções visuais como também permitem uma inspecção termográfica e inspecção ao crescimento da vegetação junto às linhas de transmissão. Embora o uso de helicópteros traga vantagens em relação aos métodos tradicionais, existem alternativas que podem dar um contributo ainda maior.

1.1 Tarefas Onde os VANTs Podem Ajudar

Cada vez mais o VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) é utilizado e adaptado para realizar as mais diversas tarefas. Devido à sua versatilidade, à evolução da tecnologia, às vantagens do seu uso em relação a tecnologias convencionais e conseqüente redução do preço, este equipamento vem cada vez mais, ganhando espaço nas sociedades modernas, sendo adaptado para as mais diversas tarefas.

1.1.1 Diferenças Entre Drone, VANT e UAV

Embora seja mais comum utilizar o termo “Drone” para identificar as aeronaves não tripuladas, existem outros termos que dizem exactamente a mesma coisa. Podem ser chamados de:

- Multirotor;
- Drone;
- VANT;
- Quad;
- UAV;
- RPA.

De todos os termos mais utilizados, os Drones, também conhecido por **AUV** (Unmanned Aerial Vehicle) ou **VANTs** (Veículo Aéreo Não Tripulado), são termos utilizados para identificar qualquer tipo de aeronave que não é tripulada. Contudo, na legislação, este tipo de equipamento está identificado como RPA (Remotly Piloted Aircraft).

Embora VANT seja uma adaptação para português de UAV, tal como acontece entre OVNI e UFO, existe apenas uma diferença entre o VANT e o Drone. Tecnicamente podemos dizer que ambos são a mesma coisa e que as suas características principais são:

- Aeronaves não tripuladas;
- Usam hélices ou propulsores a jactos para se deslocarem;
- O voo é controlado por um computador controlador de voo ou remotamente por um piloto.

Contudo, embora ambos partilhem as mesmas características técnicas, a única coisa que distingue um VANT de um Drone é apenas a sua função. Desta forma dizemos que, os drones são para uso recreativo enquanto os VANTs são ferramentas de trabalho. Estes auxiliam em actividades que podem ter carácter militar, policial, de pesquisa ou comercial.

1.1.2 A Utilidade do VANT

Podemos encontrar VANTs de inúmeras formas, configurações, tamanhos e características. Estes foram inicialmente criados para fins militares, de forma a realizar missões sem que fosse necessário arriscar a vida dos pilotos. Actualmente, este tipo de equipamento está cada vez mais presente nas sociedades modernas, e amplamente usado no auxílio de tarefas como:

- Detecção remota;
A variedade de sensores que este equipamento pode carregar aumenta com a evolução da tecnologia. Hoje em dia já é possível utilizar no VANT sensores de espectro magnético, raios gama, químicos, biológicos, entre outros.
- Investigação científica;
É evidente que este equipamento será uma grande ferramenta no auxílio da investigação científica.
- Vigilância aérea;
Com este equipamento é possível monitorizar grandes áreas a baixo custo, auxiliar na vigilância de animais ou na cartografia de incêndios, entre outros.
- Exploração mineral;
Permite de uma forma mais económica, a detecção de recursos naturais no subsolo ou auxiliar na cartografia geológica.
- Transportes;
Hoje em dia, algumas empresas tais como a Amazon ou a UPS estão a desenvolver o serviço de entregas de encomendas através deste tipo de equipamentos. Também existe uma empresa chinesa que pretende transportar pessoas tendo para isso desenvolvido um táxi aéreo.

1.2 A Sua Utilidade na Manutenção de Infra-Estruturas de Energia

O uso deste tipo de equipamentos na manutenção de infra-estruturas de energia pode ser de grande utilidade, proporcionando qualidade acrescida e possibilitando a realização de tarefas com maior rapidez.

A sua excepcional capacidade de manobra, tamanho, e a possibilidade de transportarem equipamentos de precisão tecnologicamente avançados para locais de difícil acesso, provam que este tipo de equipamento tem potencial para reduzir custos e riscos das inspecções, ao mesmo tempo que fornecem informação de grande precisão e qualidade.

Estes podem ser utilizados, entre outros, no monitoramento de:

- Infra-estruturas de gás natural;
- Torres e linhas de transmissão;
- Centrais térmicas;
- Parques eólicos Onshor e Offshor;
- Parques de aproveitamentos solares fotovoltaicos e térmico;
- Centrais mini-hídricas e hidroeléctricas;
- Subestações.

1.2.1 Funções

Esta tecnologia vem ganhando espaço na gestão de infra-estruturas, devido às suas vantagens evidentes de aprimorar processos de inspecção e manutenção, como também devido a ser uma alternativa a um custo mais baixo, proporcionando um acréscimo à segurança.

Algumas das funções que podemos atribuir a estes equipamentos podem ser:

- Apoio à preservação estrutural de instalações;
Localização de fissuras e desgaste ou erosão das estruturas.
- Localizar defeitos e avarias eléctricas;
Detecção de avarias não visíveis chegando a locais de difícil acesso.
- Detectar erros de montagem;
A possibilidade de transportar variados equipamentos de precisão, permite detectar possíveis erros de montagem ou construção.
- Controlar o crescimento excessivo de vegetação;
Controlo da vegetação invasiva junto a equipamentos com potencial de interferir com a transmissão da energia eléctrica.

1.3 Vantagens no Seu Uso

Numa grande parte de circunstâncias este equipamento consegue obter vantagens em relação a helicópteros, camiões, ou até mesmo sobre asas fixas. Proporcionam melhorias na segurança dos trabalhadores, maior eficiência e voos que são menos intrusivos para as comunidades e meio ambiente.

As vantagens destes equipamentos centram-se principalmente em 3 pontos base. Maior segurança, maior poupança e mais amigo do ambiente.

1.3.1 Segurança

Quando se fala em transmissão de energia eléctrica, a segurança é um ponto fulcral que não pode ser desprezado. Uma manutenção preventiva é justamente o que garante que a transmissão é realizada de forma segura e continua. Para isso é necessário realizar uma inspecção visual, de forma a perceber a integridade estrutural das torres, dos braços transversais, dos isoladores, interruptores, dos fios e transformares. Contudo, isso implica normalmente a presença de operadores humanos no local. A sua presença está sujeita a diversos riscos, que podem levar até mesmo à morte. Estes podem ser entre outros, os difíceis acessos, a altura onde podem incorrer os trabalhos, ou as elevadas tensões das linhas.

Naturalmente que este é um problema que aumenta com a necessidade energética cada vez maior, tornando o uso do VANT numa solução com futuro.

Este equipamento pode fazer parte de um sistema de prevenção de problemas efectivo, pois permite percorrer grandes áreas ignorando os acidentes geográficos, o que torna a inspecção num processo mais rápido e garantem a segurança dos operadores que deixam de precisar deslocar-se por locais de difícil acesso. [1] [2]

1.3.2 Ambiente

Esta tecnologia também permite obter benefícios a nível ambiental reduzindo a invasão de habitats e reduzindo às perturbações sonoras de elevada amplitude geradas pelo helicóptero.

1.3.3 Economia

Em vez de se contratar helicópteros que voam próximo das instalações levando os inspectores, o mesmo ou melhores resultados podem ser conseguidos com o uso do VANT. A possibilidade deste equipamento poder transportar dispositivos de alta tecnologia e precisão, tais como câmeras de alta resolução ou térmicas, permitem obter um produto final de alta qualidade. Devido aos avanços tecnológicos em processamento de imagem, é possível analisar dados de grande precisão em tempo real. Isto permite obter agilidade em manutenções correctivas ou actuar após uma posterior análise de dados, a fim de perscrutar detalhes mais sensíveis. Por esse motivo, este equipamento traz rapidez e eficiência evidente com menos recursos, o que se traduz em poupanças consideráveis na manutenção de estruturas.

1.3.4 Conclusão das Vantagens

O uso dos VANTs permite não só detectar irregularidades mais rapidamente, e de uma forma mais económica e segura, como também mais amiga do ambiente. Também permite um aumento na precisão dos resultados obtidos pois, o registo manual de informação está sujeito a erros e o gerenciamento de grandes extensões pode tornar-se complexo. Por todas estas vantagens apresentadas percebe-se a necessidade de introduzir estes equipamentos nos sistemas de gestão de infra-estruturas na área da transmissão e produção de energia.

Contextualização

Capítulo 2

2 Aplicabilidade do VANT

Por permitir incorporar equipamentos de precisão tecnologicamente avançados, o VANT pode ser adaptado para os mais variados processos de inspecção e manutenção, oferecendo sempre um elevado grau de qualidade, segurança e rapidez.

Oferece a aquisição de diversos conjuntos de dados que torna as operações mais precisas e rentáveis, com a possibilidade de actuar em tempo real e sem colocar em risco a vida humana. Para cada tarefa, é requerido a este equipamento te tenha determinadas características e que ofereça dados específicos. Dessa forma, nas páginas seguintes serão especificadas as funções na inspecção de equipamentos e infra-estruturas de energia, que o VANT poderá dar o seu contributo.

2.1 Na Fase de Construção das Instalações de Produção Energética

Cada vez mais, o VANT é uma ferramenta que se espera permitir facilitar em tarefas que até agora, ou não eram possíveis ou teriam um custo elevado. Dessa forma, é normal pensar que estes equipamentos também possam ajudar em actividades relacionadas com a produção de energia. Estes fornecem uma plataforma inovadora e flexível para a aquisição de imagens aéreas de alta qualidade, como também a possibilidade de criar modelos digitais 3D de grande precisão. Devido a estas características, este poderá ajudar na fase inicial de construção das instalações de produção de energia, melhorando significativamente a qualidade do desenho do projecto.

Já na fase de construção, as equipas de engenharia podem facilmente monitorizar o progresso da obra, como também podem detectar discrepâncias nas diferentes fases. Os dados permitem ainda identificar se os limites do terreno foram ultrapassados, ou auxiliar visualmente na execução de trabalhos que necessitem de extremo rigor.

A monitorização constante das actividades permite aumentar a segurança na área da construção civil, como também acrescenta rigor e rapidez na colecta de dados. Toda a informação pode ser processada automaticamente, o que permite o acesso rápido a dados complexos. Desta forma é possível responder rapidamente a eventos inesperados.

Já na fase final do projecto, é possível usar este equipamento para avaliar o trabalho final e verificar o seu impacto ambiental, como também poderá servir para fins de manutenção e de marketing.

Como conclusão, verifica-se que o acesso a estes recursos que só eram acessíveis a custos elevados e com longos ciclos de planeamento, são agora mais acessíveis. Além de apresentarem uma boa relação custo/benefício face aos custos de informação cartográfica tradicionais, também elevam o rigor e rapidez na execução das tarefas na fase de construção das instalações de produção energética.

2.2 Na Manutenção de Linhas Eléctricas

A transmissão e distribuição de energia eléctrica tem um papel importantíssimo na sociedade actual. Numa sociedade moderna, a continuidade da prestação de serviço de distribuição e transporte de energia é um requisito que resulta no desafio de oferecer diariamente um serviço de qualidade aos consumidores. Por esse motivo, actualmente gasta-se muito dinheiro na manutenção e inspecção preventiva de linhas. Além de dispendiosa, esta tarefa é também demorada e acarreta perigos para os inspectores. O uso do VANT pode facilitar esse processo e tornar as inspecções mais rápidas e seguras.

Já na década de 1990 pensava-se em usar estes equipamentos na inspecção de linhas de transmissão, contudo, devido aos seus custos à época, tornavam a ideia inviável. Nos últimos tempos, a tecnologia foi amplamente desenvolvida. Os avanços tecnológicos, o preço decrescente dos componentes e dos equipamentos de precisão, tornam o seu uso numa realidade com futuro. [4]

2.2.1 Manutenção e Inspeção

A manutenção e inspeção engloba vários tipos de tarefas. Entre outras, as tarefas podem ser, verificar a conformidade dos equipamentos, como também verificar causas externas que possam causar dano às infra-estruturas.

Esta é uma valiosa fonte de informação sobre o estado actual das linhas e equipamentos. Permite não só identificar anomalias nos equipamentos, como também identificar situações irregulares, actualizar a informação do estado das linhas e actualizar respectivos traçados.

A manutenção e inspecção também ajuda a determinar o estado das linhas quando se verifica situações como inundações, terremotos e problemas com a vegetação. Esta fornece informação preciosa de forma a actuar urgentemente na reparação.

Vegetação na Faixa de Serviço

A principal causa de interrupções e diminuição da qualidade do sistema transporte de energia na rede electrica, é a vegetação. Quer seja devido ao contacto das diferentes arvores com os condutores, em que diferentes arvores tem diferentes condutividades¹. Quer seja devido a cortes nas linhas, resultantes de quedas de arvores provocadas por terceiros, ou por causas naturais.

A inspecção permite verificar se as distâncias regulamentares são cumpridas e caso seja necessário, proceder ao corte ou decote da vegetação. O corte também deve ser realizado, quando em casos onde se verifique que uma arvore, mesmo estando em situação regular, possa comprometer a segurança da linha.

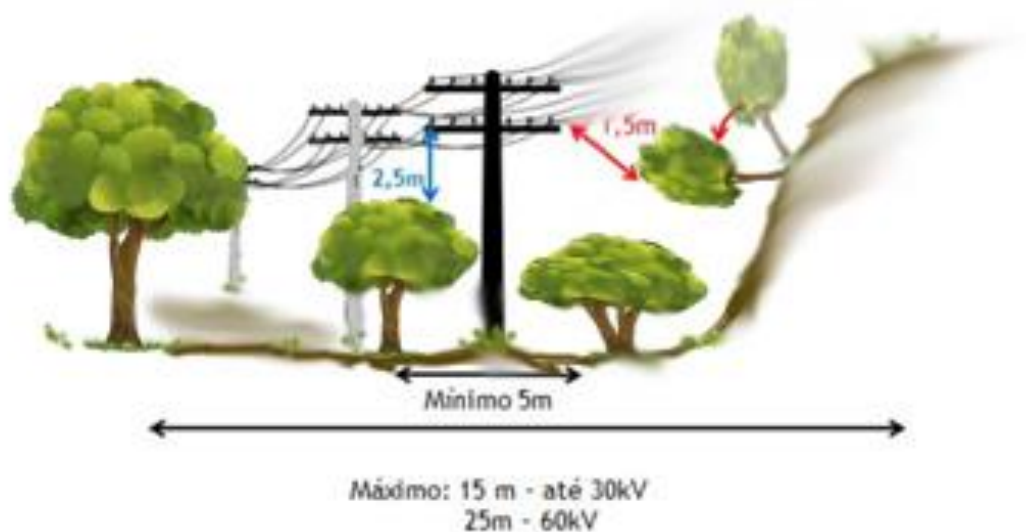


Figura 1: Distâncias Regulamentares

Regulamentarmente existe uma distância mínima entre os condutores e a vegetação circundante a que se dá o nome de faixa de serviço. Esta, deverá ser estabelecida com uma largura mínima de 5m, dividida pelo meio da linha e garantir que no caso de queda de uma arvore, a distância mínima seja sempre superior a 1,5m da linha.

¹ Pode resultar numa baixa corrente, que progressivamente provoca a carbonização do ramo e do condutor. Essa carbonização provoca uma diminuição na resistência do condutor.

2.2.2 Inspeção Tradicional

Regra geral, na maior parte dos países, as inspecções são feitas por grupos de inspectores de linhas que são levados em camiões até aos locais de inspecção e onde são elevados até às altíssimas torres de transmissão. Devido à dificuldade de se movimentar ao redor das estruturas potencialmente letais, são necessárias várias horas para se proceder a uma inspecção detalhada. Outra das formas de inspecção é através do solo. O inspector permanece no solo e faz a observação usando uns binóculos.

Inspeção pelo Solo

A partir do solo o inspector toma nota do estado das infra-estruturas concebidas para proteger as instalações das actividades das aves, como também do estado das infra-estruturas responsáveis pela transmissão de energia. A inspecção é realizada aos:

- Isoladores;
- Condutores;
- Apoios;
- Armação dos apoios.

Seguidamente é realizada a medição de distâncias, com recurso a varas devidamente homologadas para o efeito e isoladas de acordo com a instalação onde irão ser utilizadas.

Nas inspecções pelo solo com subida à torre, é necessário um mínimo de três pessoas. Duas para realizar o trabalho e um como recurso preventivo. Esta é uma actividade que necessita de ausência de tensão, pelo que é necessário realizar o respectivo seccionamento. Uma vez que a partir do solo só se tem uma vista parcial, após todos os procedimentos de segurança, é necessário subir à estrutura e inspeccionar os elementos.

2.2.3 Manutenção de Linhas com Veículos Aéreos Tripulados

Também são realizadas inspecções a linhas eléctricas com veículos aéreos. Os helicópteros são os mais utilizados e a inspecção é realizada por inspectores que são transportados ao local via helicóptero e operando os binóculos, o veículo deve manobrar ao redor dos pontos sob análise.

Embora condicionado por factores meteorológicos ou por restrições operacionais de voo, o seu uso tem também a vantagem de realizar diferentes acções de inspecção em

simultâneo. Devido aos diferentes equipamentos e sensores que o veículo pode transportar, tais como o sistema LIDAR ou a câmara ultravioleta, esta opção traz mais valias, pois permite tirar imagens de pontos de vista diferente daquela a partir do solo. Por outro lado, também permite movimentar-se rapidamente e continuamente ao longo da linha, o que se reflecte em ganhos no tempo das inspecções.

As tarefas onde normalmente os helicópteros são usados, são:

- Inspeção aérea intensiva com captação de imagem visual;

Embora existam variados sensores a bordo, também se dá valor á experiência dos inspectores, que devem estar atentos a quaisquer anomalias existentes. As imagens captadas, servem para detectar defeitos ou anomalias nos elementos das linhas numa posterior análise.

- Inspeção aérea com captação e termográfica;

A termografia é uma técnica extremamente importante quando se fala em manutenção preventiva das redes. Esta consiste na medição quantitativamente da radiação térmica emitida pelos corpos. É normalmente usada de forma a encontrar os pontos em que a temperatura é maior nos diferentes equipamentos. É normal que a passagem da electricidade aumente a temperatura dos elementos, contudo, os “pontos quentes”² podem revelar anomalias nos equipamentos ou defeitos que de outra forma não seriam visíveis.

- Limpeza de isoladores;

Ao longo do tempo, as propriedades eléctricas das *cadeias de isoladores*³ vão diminuindo devido ao acumular de poeiras, sujidade e contaminantes que se instalam. Por esse motivo é necessária uma limpeza periódica, normalmente realizada com

² A causa mais comum dos pontos quentes são, conexões corroídas, ligações soltas, equipamentos de corte sobredimensionados e ruptura de condutores.

³ A sua funcionalidade consiste no isolamento dos condutores quando da fixação destes aos apoios. Esta é constituída fundamentalmente por isoladores e acessórios metálicos cuja as suas extremidades são ligadas aos apoio e condutores.

recurso a água pressurizada. Contudo, devido à sua altura em relação ao solo, é comum que esta limpeza seja realizada por meios de jactos de água lançados de um helicóptero.

- Topografia do terreno;
É um instrumento habitual para o conhecimento preciso e gerenciamento das instalações e terreno. Com ajuda da tecnologia LIDAR é possível mapear grandes áreas de terreno. Esse mapeamento deve ser actualizado periodicamente a fim de detectar possíveis alterações irregulares.
- Transporte de cargas em locais de difícil acesso;
Os veículos aéreos podem também ser utilizados para transportar de uma forma mais rápida, materiais, equipamentos e ferramentas para locais de difícil acesso.
- Mudança de elementos com a linha em tensão;
O trabalho em tensão⁴ é uma das operações de manutenção de linhas eléctricas. Este tipo de trabalho tem como maior vantagem não haver a necessidade de interromper o serviço de fornecimento de energia eléctrica, contudo, exigem requisitos de segurança específicos para a execução do trabalho. Um desses requisitos é que os operadores não devem estar em contacto com os suportes ou com o solo. Por esse motivo, o helicóptero é uma grande ajuda pois está suspenso no ar e sem contacto eléctrico com o terreno. Dessa forma, a pessoa é aproximada até a zona de trabalho numa plataforma especial de forma a poder montar e desmontar os equipamentos.

Embora o uso de veículos aéreos tripulados seja um avanço significativo em relação à inspecção no solo, tanto a inspecção pelo solo, como com recurso a helicóptero, possuem elevados custos associados. Por esse motivo, existe a necessidade de encontrar tecnologias alternativas que permitam melhorar as acções de inspecção.

⁴ É um trabalho onde o operador labora com toda a segurança, mas em contacto com os condutores e outros elementos em tensão.

2.2.4 Inspeção com Recurso ao VANT

A manutenção preventiva e preditiva é fundamental para um bom funcionamento do sistema de distribuição e transporte de energia eléctrica. Estas, permitem actuar preventivamente, prevenindo custos mais elevados, resultantes de estados de degradação mais avançados.

Uma das actividades envolvidas, consiste na inspecção no espectro visível. Contudo, também é necessário adquirir dados informativos, tanto no espectro infravermelho, como no ultravioleta. Para além disso, também são necessários outros dados tais como, as coordenadas GPS, ou distâncias entre diferentes elementos das instalações. Embora muita da inspecção realizada nos dias de hoje seja efectuada com recurso ao helicóptero, o mesmo é consideravelmente dispendioso. Além disso, também requer complementação de pessoal treinado para escalar os apoios de forma a detectar defeitos em locais onde a vista a partir do helicóptero não permite.

Parece lógico que, de forma a conseguir melhorias em relação ao sistema actual e existindo tecnologia disponível, se utilizem alternativas que ofereçam melhores resultados. Uma dessas alternativas, é a aplicação de veículos aéreos não tripulados às funções semelhantes aos veículos aéreos tripulados, onde essa substituição seja viável e se comprovem esses benefícios.

Vantagens

Embora existam algumas funções onde, para já, os VANT não poderão substituir os veículos tripulados, existem muitas outras onde o poderá fazer. O seu uso traz inúmeras vantagens, além de ser uma ferramenta que vem de encontro com políticas de melhoria contínua de processos.

Em geral, as linhas eléctricas e respectivos elementos estão localizados em pontos altos e longe do alcance das pessoas, de forma a proporcionar segurança. Outra das suas características é serem infra-estruturas lineares que podem percorrer inúmeros ambientes de difícil acesso.

Uma das vantagens evidentes do VANT, é permitir o acesso directo e rápido aos elementos das instalações, estejam eles em locais altos ou em ambientes de difícil acesso.

Outra das suas principais vantagens é a possibilidade de voar em segurança muito mais próximo dos equipamentos em inspecção. Dessa forma, consegue imagens mais

claras do possível dano, permitindo observações de outros ângulos que nem o helicóptero nem a inspecção pelo solo conseguiriam oferecer [3].

As principais vantagens do VANT são as seguintes:

- Inspeções mais rápidas;
- Caso estejam completamente automatizados, permitem realizar tarefas sem risco de falha humana no momento da inspecção.
- Diminuição dos riscos humanos e de equipamentos associados á inspecção;
- Permitem a realização de inspeções com maior regularidade, devido ao custo de operação reduzido quando em comparação com outros métodos;
- Possibilidade de voar mais próximo das linhas aéreas;
- Fornecimento de muita informação de forma pouco dispendiosa;
- Possibilidade de obter informação em tempo real;
- Flexibilidade.

Benefícios

- Redução de custos;

Devido ao desenvolvimento da tecnologia, nos últimos anos temos vindo a assistir a uma redução significativa no preço dos componentes constituintes destes equipamentos. Po e esse motivo, cada vez mais este equipamento se torna numa alternativa mais económica.

É fácil de perceber que, dispositivos menores, mais leves e mais baratos do que o helicóptero tripulado por uma equipa de inspectores e piloto, resultam numa redução de custos no processo. Porem, essa redução previsível só poderá ser verificada após o exercício regular das suas funções.

- Redução de riscos;

Quanto mais o VANT for autónomo, menor será o risco para os trabalhadores, porque não haverá ninguém fisicamente presente na aeronave. Em caso de uma eventual queda, a probabilidade de ter pessoas ou propriedades no lugar do acidente é reduzida. Este é um risco também existente nos veículos

tripulados, contudo, por ser um equipamento leve e de menor dimensão, os danos causados serão sempre menores do que os causados por um helicóptero.

- Versatilidade;

O VANT é um equipamento versátil que pode ser usado em diferentes tarefas, sendo apenas necessário aplicar o sensor apropriado para a tarefa em questão. Permite não só transportar equipamentos de precisão, como também alcançar rapidamente locais de difícil acesso. A sua agilidade e leveza, precisão e capacidade de transporte, permitem que seja aplicado na execução de inúmeras tarefas, com a certeza de que retornará resultados de grande qualidade.

Tarefas de Inspeção onde o VANT Pode ser Usado

O uso do VANT dá-nos a possibilidade de melhorar os actuais métodos de inspecção das linhas eléctricas. A sua velocidade de operação e a precisão dos dados obtidos, são algumas das características que tornam este equipamento no próximo passo na inspecção e manutenção de linhas eléctricas. A sua flexibilidade e baixo custo, não só permite obter a mesma informação que a inspecção por solo e aérea tripulada permitem, como também possibilita executar actividades que eram impossíveis até agora.

Todo o trabalho é simplificado. Ou o VANT é controlado pelo piloto, que se concentrará em realizar gravações aéreas nos diferentes espectros. Ou, aproveitando as potencialidades do GPS, o técnico apenas terá de definir uma rota e definir a periodicidade das inspecções. Assim, o equipamento realizará missões periódicas de forma mais autónoma e independentes da disponibilidade dos inspectores.

Por todas as suas características, o VANT poderá ser usado para:

- Inspeção aérea intensiva com captação de imagem visual;

A inspecção visual é uma das funções onde o VANT poderá ser de grande utilidade. Permite captar imagens de alta qualidade e definição, que poderão ser gravadas ou observadas em tempo real. As imagens e vídeo captados, podem ser ampliados e catalogados com a sua referência GPS, de forma a saber-se exactamente qual o equipamento é que está a ser alvo de análise. Também permite que esta tarefa seja realizada com maior segurança, pois evita riscos de queda associada ao trabalho em altura.

- Inspeção aérea com captação e termográfica;
Como já foi referido, a termografia é uma técnica extremamente importante quando se fala em manutenção preventiva de redes. Com o evoluir da tecnologia, os equipamentos termográficos ficaram cada vez mais pequenos e leves o que permitiu serem incorporados até em aeronaves de pequeno porte.
Com este equipamento é possível detectar a deterioração dos condutores, sujidade ou contaminação nos isoladores, rupturas nos separadores, e anomalias nos vários elementos.
- Apoio em acções de emergência;
Após efeitos climáticos severos, a velocidade de reacção é um componente importante em inspecções de emergência. A sua capacidade de se movimentar em situações onde o terreno é acidentado, torna o VANT perfeito para tarefas de inspecção onde a rapidez e rigor é fundamental. Dessa forma, mais rapidamente os profissionais podem ter acesso aos dados e tomar decisões correctas na hora de alocar recursos.
- Topografia do terreno.
Tal como já foi dito, é um instrumento habitual para o conhecimento preciso e gerenciamento das instalações e terreno. Devido aos avanços tecnológicos, hoje em dia existem dispositivos LIDAR capazes de ser transportados por uma pequena aeronave como o VANT, a um preço muito mais acessível. Dessa forma, é possível mapear grandes áreas de terreno de uma forma mais económica.
- Transporte de cargas em locais de difícil acesso;
Uma das desvantagens dos VANT é peso que são capazes de transportar. Por esse motivo o transporte de cargas para locais de difícil acesso não poderá ter um peso excessivamente elevado. Porem, estes equipamentos podem ser uteis para o transporte de pequenas ferramentas ou para fornecer pontos de luz. De forma a permitir o transporte de equipamentos mais pesados, actualmente já existem algumas empresas dedicadas à criação de enxames de

drones corporativos. Assim, juntos realizam determinadas tarefas tais como o transporte de objectos mais pesados.

- Colocação de cabos;

Embora o VANT não consiga transportar um cabo de uma linha eléctrica, o mesmo pode ser usado para carregar um cabo piloto mais leve. Um cabo de nylon pode ser transportado de uma torre para outra, permitindo que posteriormente um cabo eléctrico seja puxado pelos operadores. Dessa forma, este equipamento vence facilmente obstáculos como rios, estradas ou buracos profundos, melhorando o processo de colocação de cabos sem que seja necessário o auxílio de helicópteros.

2.2.5 Ultimação

A aplicação dos VANT à manutenção e inspecção de linhas de energia eléctrica, oferece a oportunidade para realizar trabalhos com maior segurança e eficiência. A sua introdução permite não só complementar os meios actualmente utilizados, como por vezes é capaz de os substituir totalmente. Com esta tecnologia, a qualidade dos dados obtidos e a fiabilidade das inspecções aumentam, enquanto permite reduzir aos custos. Por tudo o que foi referido anteriormente e caso exista um ambiente regulatório favorável, a sua aplicação à manutenção e inspecção de linhas de energia poderá ser, já num futuro próximo, uma ferramenta comum e de grande utilidade.

2.3 Inspeção de Aerogeradores

Também nos aerogeradores a manutenção preventiva é essencial. Como em todas as construções metálicas, é necessária uma inspecção periódica.

As turbinas eólicas são estruturas extremamente complexas onde as suas lâminas podem chegar até aos 75m de comprimento. Estas estão sujeitas a variados efeitos adversos, tais como:

- Precipitação;
- Granizo;
- Descargas eléctricas;
- Alterações climatéricas de temperatura ao longo do dia;
- Vibrações do gerador e do vento;

- Radiação UV;
- Condensação.

Para além disso, as condições podem agravar-se caso se encontrem em situação de tempestade. Não só a torção e tensão será mais elevada, como também estarão sujeitas a erosão causada por partículas arrastadas pelas tempestades.

Todos estes factores degradam a performance do aerogerador e põe em causa o tempo de vida útil e a sua capacidade produtiva. O aparecimento de rupturas, rachadelas, furos ou peças soltas é uma situação comum. A reparação pode ser de tal forma dispendiosa que pode arruinar a lucratividade de todo o projecto de parques eólicos. A cada instante que o gerador não produz energia representa prejuízo [4].

Por esse motivo, uma inspecção rigorosa e com regularidade é essencial de forma a identificar problemas ainda numa fase preliminar. Inspeções mais frequentes reduzem a necessidade de substituição, o que se traduz numa redução de custos e tempo de imobilização da turbina.

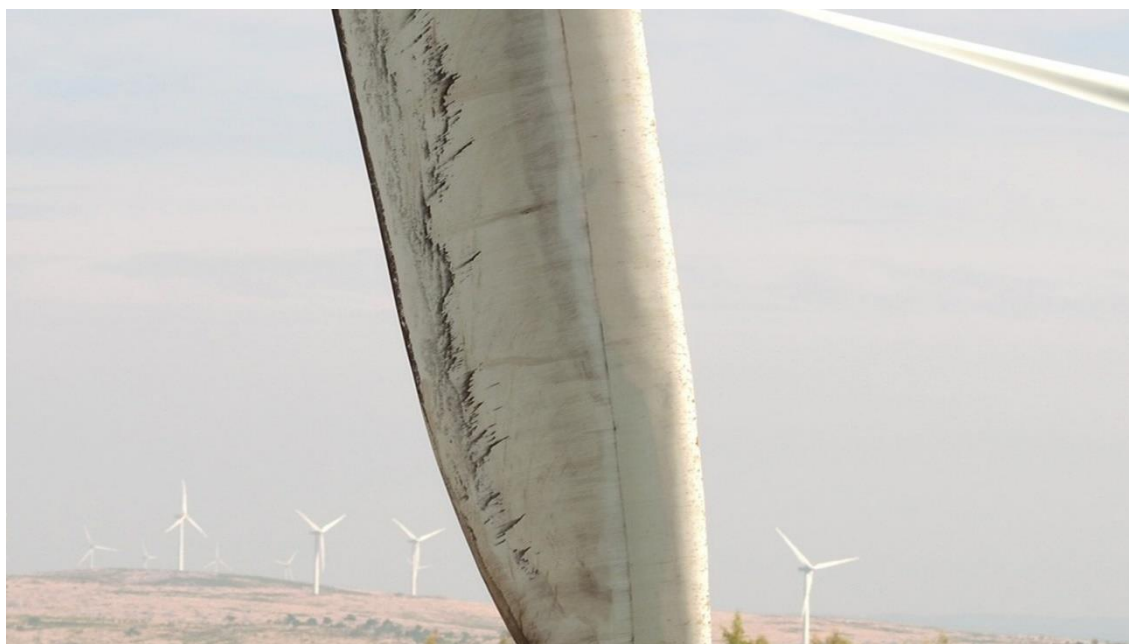


Figura 2: Inspeção a aerogeradores

2.3.1 Inspeção Tradicional

É comum a inspeção com recurso a inspectores que com binóculos inspeccionam o equipamento ou, caso seja necessária uma inspeção mais intensiva, é realizada por meio de alpinistas especializados na inspeção de aerogeradores. Estes executam os seguintes tipos de procedimentos nos aerogeradores:

- Auxiliam na instalação dos geradores eólicos;
- Auxiliam na montagem e desmontagem dos aerogeradores;
- Inspeccionam o estado das turbinas;
- Realizam a limpeza dos geradores eléctricos;
- Auxiliam na reparação ou modernização das pás.

Esta tarefa é dificultada pela diversidade de aerogeradores e respectivas alturas, configurações e dimensões de pás. Outra dificuldade que os alpinistas têm de contar é com a localização geográfica dos equipamentos, que poderá ser:

- Uma inclinação de um vale;
- Encosta;
- Linhas de cumeada⁵.

É facilmente perceptível que este trabalho pode tornar-se bastante dispendioso e que coloca em risco os trabalhadores. Por esse motivo, devem ser adaptadas alternativas que minimizem ou eliminem esses riscos e se possível, permitam obter benefícios económicos.

2.3.2 Inspeção com Recurso ao VANT

A detecção de problemas numa fase inicial e posterior resolução a um baixo custo, é sem dúvida uma opção que deve ser sempre priorizada. Nessa tarefa, o uso do VANT é uma ferramenta preciosa.

Embora neste momento o VANT não consiga substituir completamente a componente humana em algumas das funções dos técnicos alpinistas, este equipamento pode dispensá-los da tarefa de inspeção visual. O VANT permite obter resultados com muito mais detalhe e rigor do que os obtidos com telescópios ou pelo levantamento de técnicos até as pás. As suas maiores vantagens são:

- A sua agilidade e capacidade de se deslocar para pontos que de outra forma seriam inacessíveis;
- A maior proximidade com a superfície das pás;
- As câmaras de alta definição incorporadas que captam os mais pequenos detalhes e são capazes de distinguir manchas provocadas pelo impacto de insectos de pequenas erosões na superfície da lâmina;

⁵ Na topografia, é considerada a linha formada pelos pontos mais altos da montanha ou cordilheira, no sentido longitudinal.

- O crescente número de sensores que podem ser aplicados a este equipamento, com capacidades muito para além da visão humana.

Por outro lado, este equipamento deverá ter a capacidade de enfrentar o vento dos locais da inspecção mantendo a sua posição. Contudo, graças à tecnologia GPS, a sua precisão no deslocamento está garantida. Os sensores de alta tecnologia incorporados garantem também a segurança não só das pessoas como também a integridade das turbinas eólicas.

Todas estas características e qualidades seriam inúteis caso este equipamento fosse economicamente inviável, porem isto não acontece. Além do valor desta tecnologia estar cada vez mais acessível, prevê-se que a sua aplicação traga uma redução de custos em relação às inspecções tradicionais, resultando em lucro e maior competitividade.

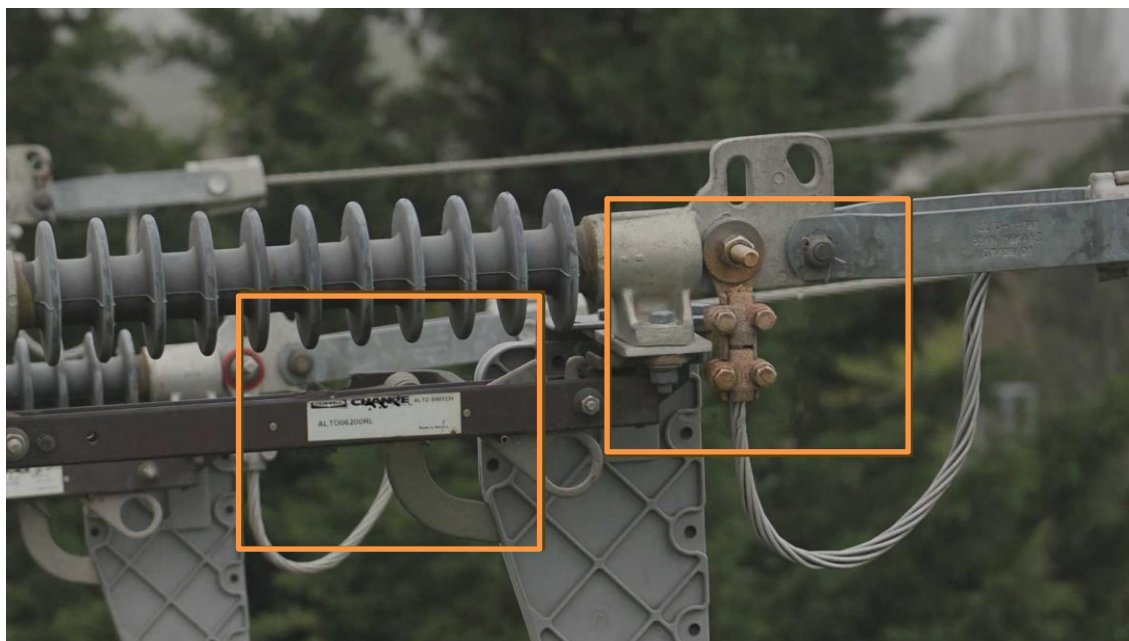


Figura 3: Inspeção a linhas de transmissão

2.4 Inspeção com Termografia a Parques Solares

Todos os corpos emitem calor, por esse motivo, a termografia é uma técnica que pode ser aplicada a muitas funções, inclusive a infra-estruturas da área da energia. Esta é fundamental para uma boa análise do estado de qualquer tipo de edifício e infra-estruturas de produção ou distribuição energética.

A termografia em parques solares permite localizar possíveis defeitos de isolamento, humidade, pontes térmicas entre outros problemas. Ao detectar pontos

quentes, também permite evitar falhas nos componentes e consequente paragem na produção ou, num caso mais extremo, evitar o início de um incêndio. É por esse motivo que muitas companhias de seguros, exigem inspecções periódicas termográficas aos seus clientes.

Embora nos dias de hoje os painéis solares sejam considerados mais fiáveis e eficientes, o seu desempenho depende de condições ambientais e operacionais. Existem vários problemas que podem afectar seriamente a sua integridade:

- Micro vibrações dentro das estruturas;
- Danos causados por raios;
- Humidade;
- Erosão causada por partículas carregadas pelo vento, entre outras.

2.4.1 Inspeção com Termografia Aérea

Este tipo de inspecção é mais uma ferramenta que auxilia na tarefa de inspecção de infra-estruturas. Esta permite obter detalhes de grande qualidade, de uma forma mais económica e veloz.

Normalmente, as inspecções termográficas são realizadas a pé pelos inspectores, que carregam uma câmara pelas instalações, de forma a registar os níveis de temperatura de pontos chave. O recurso ao VANT permite libertar os inspectores da obrigação de percorrerem por vezes grandes distâncias, dentro dos parques fotovoltaicos. Além de adicionarem mais rapidez ao processo de inspecção, fornecem dados de grande qualidade e detalhe, permitindo a captação de imagem em ângulos novos e mais relevantes, que de outra forma não seria possível.

A posição do observador e câmara termográfica em relação ao objecto em análise, é fundamental para um diagnóstico correcto. A possibilidade de colocar a câmara perpendicular ao equipamento em inspecção, permite obter imagens termográficas que de outra forma seriam mais difíceis de conseguir. Ao poder mudar o ângulo, o VANT consegue evitar que os reflexos do sol apareçam na imagem, evitando induzir os inspectores em erro.

Embora um termógrafo experiente consiga reconhecer essas fontes de reflexão que podem levar a erros de diagnóstico, encontrar o ângulo certo permite eliminar completamente os reflexos nas imagens termográficas, resultando em dados de melhor qualidade [5].

Possíveis Aplicações do VANT nos Parques Solares

A inspeção aérea periódica aos módulos fotovoltaicos por meio de termografia, permite obter imagens de alta definição e dessa forma detectar células defeituosas de uma forma mais rápida eficiente e mais económica.

O uso dos VANT pode ser aplicado para:

- Auxiliar nos estudos da potencialidade das instalações.
- Mapear e gerar produtos cartográficos;
- Criar mapas térmicos;
- Inspeccionar visualmente nos vários espectros;
- Ajudar no planeamento e na análise de possíveis problemas com os painéis.

Possíveis Aplicações além dos Parques Solares

Na altura de planear uma auditoria energética, será a altura ideal para perceber se é necessário o uso do VANT com câmara termográfica, ou não. Além da inspeção a parques solares, o VANT também poderá ser usado para outras missões de auditoria energética que necessitem de imagens termográficas. Estas podem ser:

- Telhados;

Do ponto de vista energético, o ponto fraco de qualquer edifício, seja ele dedicado à produção de energia ou não, é o seu telhado. A inspeção pelo ar permite capturar a máxima intensidade de radiação, como também evita possíveis fontes de reflexos. Permite ainda ter uma perspectiva global de toda a estrutura. O VANT é especialmente valioso quando a estrutura em análise tem uma geometria complexa.

- Comparação com a vizinhança;

Poderá interessar realizar uma comparação entre a infra-estrutura em análise e os edifícios nos arredores. Uma única passagem do VANT poderá ser o suficiente para ter um termo de comparação entre a infra-estrutura e a sua vizinhança.

- Efeito da ilha de calor⁶;

⁶ É um efeito observado em áreas urbanas e suburbanas. A temperatura do ar e superfície é mais elevada do que nas áreas rurais nas redondezas. O seu surgimento está relacionado com a actividade

O uso do VANT permite estudar este fenómeno pois, uma imagem geral de uma área pode destacar o efeito da ilha de calor [4].

- Aquecimento distrital;

O VANT também tem utilidade em países onde existem redes de distribuição de frio ou calor por condutas. Dessa forma, através da termografia, é possível observar locais mal isolados que resultam em perdas energéticas significativas.

Requisitos da Câmara Termográfica para o VANT

Devido as características estruturais do VANT, nem todas as câmaras termográficas podem ser transportadas. Estas devem atender a alguns requisitos:

- Robustez;

De forma a resistir a aterragens e descolagens sem problemas.

- Leveza;

As câmaras usadas na inspecção a pé, devido ao seu peso, podem não ser adequadas para usar no VANT. Para usar neste equipamento pretende-se que, quanto mais leve melhor. Felizmente, devido aos avanços tecnológicos, hoje em dia já existem alternativas que preenchem esse requisito.

- Lentes intercambiáveis;

Consoante a distância a que será observado o objecto, deverá ser possível trocar de lentes pois, uma única lente limita o tipo de imagens possíveis de obter.

- Captação de imagem e vídeo;

Deve permitir captar não só imagens fotográficas como também vídeo.

- Radiometria total;

O ideal é que seja possível média a temperatura em toda a imagem e não em um ou dois pontos centrais.

humana. Construções, materiais escuros, resistência dos materiais, poluição atmosférica ou falta de vegetação.

2.5 Inspeção em Centrais Hidroeléctricas

Ninguém questiona a importância que as hidroeléctricas têm nos dias de hoje para a geração de energia eléctrica. Contudo, esta pode representar riscos que poderão ser de carácter ambiental, económico, social, no caso de ocorrer uma ruptura na estrutura. Por esse motivo, uma inspecção regular torna-se num instrumento de elevada importância, de forma a observar e avaliar o seu estado de conservação.

Devido à sua dimensão, na maioria dos casos, uma operação de inspecção requer uma grande logística. É de elevada importância não só inspeccionar as turbinas, como também verificar as rachadelas na estrutura, a corrosão, erosão, como também locais que possam representar algum tipo de perigo [6] [3].

2.5.1 Inspeção em Centrais Hidroeléctricas com Recurso ao VANT

Tradicionalmente, as inspecções são realizadas com recurso a andaimes, gruas, plataformas suspensas e pessoal especializado em trabalhos em altura. Também aqui o VANT pode dar uma ajuda. Quer seja em tarefas de apoio, ou exclusivamente realizadas pelo aparelho.

Este permite cobrir grandes áreas, colectando dados e imagens de alta resolução, de uma forma rápida e eficaz, garantindo também uma economia nos gastos e uma maior segurança para os trabalhadores.

Dentro de outras possibilidades, o VANT pode auxiliar no mapeamento e criação de produtos cartográficos, ou no estudo do potencial das instalações.

Como é obvio, é na inspecção visual da infra-estrutura que este equipamento mais vai dar o seu contributo. Este permite, de uma forma rápida e precisa, detectar a vazão de infiltrações, o nível e pressão de água, a dilatação de fissuras, ou o deslocamento e deformação de juntas [6] [3].

2.6 Conclusão

Por todas as vantagens que este equipamento promete oferecer, percebe-se que o VANT é uma ferramenta extremamente útil, e que adiciona valor a tarefas essenciais para o bom funcionamento do sistema de produção e transporte de energia.

Muito mais havia para falar pois, embora já existam a bastantes anos, só nestes últimos é que se tornaram mais acessíveis e viáveis para usos civis. Por esse motivo, só recentemente se começou a explorar as possíveis aplicações desta tecnologia, havendo ainda muito mais para descobrir.

A possibilidade de voar, a sua agilidade, estabilidade, e a possibilidade de efectuar missões autónomas, remonta o nosso pensamento para os anos onde esta realidade apenas pertencia a filmes de ficção científica. Contudo, hoje em dia já é uma realidade nas sociedades modernas.

É importante desmistificar este equipamento.

Manifesta-se então a necessidade de apresentar as tecnologias por detrás deste aparelho, de mostrar o seu modo de funcionamento e respectivos componentes integrantes.

Para uma melhor explicação, surge o desafio de montar um DIY drone (doing yourself in drone), procedendo a uma breve explicação das tecnologias envolvidas. Dessa forma, o leitor terá a oportunidade de mais facilmente compreender o seu modo de funcionamento, como também adquirirá as ferramentas para construir o seu próprio drone.

Legislação

Capítulo 3

3 Legislação em Vigor

Todos as aeronaves, sejam elas tripuladas ou não tripuladas, estão sujeitas a normas legais e regras de segurança. Em Portugal, a ANAC (Autoridade Nacional da Aviação Civil) é a responsável por estabelecer as regras de segurança operacionais do espaço aéreo nacional. Estas regras pretendem tornar a utilização dos veículos aéreos não tripulados mais segura, de forma a proteger não só as outras aeronaves no ar, como também pessoas e bens no solo.

Seja o seu uso por motivo profissional ou recreativo, todos os utilizadores deste tipo de equipamento, deve ler atentamente o regulamento da utilização de drones no espaço aéreo português, e seguir as regras de segurança do “Código Drone”.

Embora neste documento não seja efectuada uma análise exaustiva ao regulamento em vigor, serão abordados alguns pontos de maior relevo. Não obstante, devo chamar à atenção que, se pretende utilizar um multirotor, este documento não dispensa a leitura do regulamento [7].

3.1 Objectivos e Âmbito do Regulamento

O regulamento tem o objectivo de tornar a utilização do espaço aéreo mais segura. Respeitar o regulamento significa evitar conflitos com aviação tripulada como também criar protecção para pessoas e bens à superfície. Este define as respectivas condições de operação e autorização da utilização do espaço aéreo nacional para aeronaves civis pilotadas remotamente.

Ao utilizar uma aeronave civil não tripulada, o piloto passa a ser responsável por tudo o que possa acontecer durante o voo. Por esse motivo, é fundamental perceber que voar envolve riscos, podendo pôr em causa a segurança de pessoas, bens ou outras aeronaves. Também é necessário destacar que ninguém está livre de obedecer ao regulamento. Qualquer que seja o tipo de utilizador, quer seja para actividades de lazer ou profissional, devem obedecer às regras do regulamento. A violação de determinações, instruções ou ordens da ANAC constantes no regulamento, bem como todas as que sejam inerentes ao cumprimento do mesmo, constitui uma contra-ordenação aeronáutica civil grave ou muito grave.

3.2 Condições para a Utilização do Espaço Aéreo Nacional

Devido à inexistência, a nível internacional ou europeu, de legislação harmonizada e específica para a utilização deste tipo de equipamento. Surgiu a necessidade de determinar as condições à operação e utilização destas aeronaves no espaço aéreo nacional independentemente da actividade ou da finalidade de utilização destes equipamentos. Contudo, os espaços fechados estão excluídos do âmbito de aplicação do regulamento da ANAC.

Embora não sejam permitidos voos nocturnos sem autorização da ANAC, para equipamentos que não “Aeronaves brinquedo”, o regulamento permite a realização de voos diurnos até à altura máxima de 120 metros acima da superfície. Contudo, existem espaços aéreos onde existem limitações, e que devem ser conhecidas antes de iniciar o voo.

3.3 Aeronave Brinquedo

O regulamento faz uma distinção entre “aeronave brinquedo⁷” e “aeromodelo⁸”. Isto porque existem grandes diferenças entre estes dois tipos de RPA (Remotly Piloted Aircraft), sendo a primeira destinada à utilização por crianças.

O regulamento é mais restritivo para este tipo de equipamento do que para as demais RPA, uma vez que se trata de um mero brinquedo. Este define:

- Em caso algum pode exceder a altura máxima a que pode voar, que é de 30 metros acima da superfície.
- Deve reservar uma distância mínima em relação a pessoas e bens de 30 metros, que deve ser medida na horizontal.

3.4 Altura Máxima

À excepção das aeronaves brinquedo onde o limite de altura é sempre até os 30 metros de altura em relação à superfície, a altura máxima que o RPA pode voar depende da área onde se pretende realizar o voo. Isto porque existem áreas que são proibidas,

⁷ Aeronave pilotada remotamente, não equipada com motor de combustão e com um peso inferior a 0,250 kg. Este equipamento é concebido para ser utilizado para fins lúdicos por crianças de idade inferior a 14 anos.

⁸ Aeronave pilotada remotamente que não é uma aeronave brinquedo, tem uma massa operacional até 25 kg e é capaz de voo sustentado na atmosfera. Destina-se à utilização para actividades recreativas, competição ou exibição.

restritas ou reservadas. Regra geral, caso o voo não seja realizado numa dessas áreas, pode voar até ao máximo de 120 metros de altura. Não obstante, sempre que o piloto avistar uma aeronave tripulada na área de voo, deverá aterrar o seu RPA imediatamente. Para voos a maior altitude do que a permitida pelo regulamento, deverá sempre ser pedida autorização à ANAC.

3.5 Restrições Aéreas

Existem espaços aéreos com variados tipos de limitações para os utilizadores de RPA, consoante o local onde se pretende voar. Por esse motivo, é importante consultar as limitações aéreas do local, que é classificado de diferentes formas:

- Área reservada;
É um espaço aéreo que normalmente se encontra sob jurisdição de uma entidade aeronáutica.
- Área Restrita;
É um espaço aéreo que está sujeito a restrições de voo de acordo com condições especificadas pela ANAC.
- Área proibida;
É um espaço aéreo onde o voo é proibido.
- Área perigosa;
É um espaço aéreo onde, em momentos específicos, possam existir actividades perigosas para o voo de aeronaves.

3.5.1 Proibições

Existem zonas onde a utilização de aeronaves pilotadas remotamente é proibida, salvo se devidamente autorizada e sem prejuízo do cumprimento do regulamento. Estas zonas são:

- Em áreas de protecção operacional específica dos aeroportos e aeródromos;
- Em zonas sinistradas e onde se encontrem a decorrer operações de protecção e socorro;
- Sobre representações consulares;
- Sobre instalações de órgãos de soberania;
- Sobre embaixadas;

- Instalações das forças e serviços de segurança;
- Locais onde decorram missões policiais;
- Estabelecimentos prisionais;
- Instalações militares;
- Zonas onde exista concentração⁹ de pessoas ao ar livre;
- Centros educativos da Direcção Geral de Reinserção;
- Em áreas reservadas¹⁰ ou temporariamente reservadas devidamente publicadas no IAIP (Pacote de informação aeronáutica integrada);
- Numa área com um círculo de 1 km de raio, centrado no ponto de referência dos heliportos.

Voos na Proximidade a Aeroportos e Aeródromos

No interior de uma CTR (zona de controlo), são permitidos voos desde que cumprindo os seguintes requisitos e regras:

- Devem ter capacidade para fornecer informação, em tempo real, ao piloto remoto sobre a altura a que está a voar;
- Na ausência desse equipamento, não é permitido voar acima do mais alto obstáculo natural ou artificial num raio de 75 metros em relação ao mesmo.

Zonas ATZ e TRMZ

As zonas TRMZ (Transponder Rádio Mandatory Zone) são zonas onde é obrigatório ter e usar equipamentos transponder de forma conseguir saber a altitude de pressão do equipamento e rádio.

Os voos realizados no interior de uma ATZ¹¹ e TRMZ¹² carecem de permissão prévia da entidade responsável pela prestação dos serviços de informação de voo do aeródromo.

⁹ O regulamento entende que uma concentração de pessoas é um conjunto de mais de 12 indivíduos.

¹⁰ Para saber se existe algum espaço aéreo reservado deve ser consultada a pagina <http://www.nav.pt/ais/contingency-briefs/lisboa-fir-ifr-vfr-bulletin>

¹¹ As zonas ATZ (Aerodrome Traffic Zone) são zonas em torno de um aeródromo ou aeroporto criadas para proteger o tráfego aéreo dessa zona.

¹² As zonas TRMZ (Transponder Rádio Mandatory Zone) são zonas onde é obrigatório ter e usar equipamentos transponder de forma conseguir saber a altitude de pressão do equipamento e rádio.

Contudo, se a RPA não abranger o espaço aéreo sobrejacente ao aeródromo que está delimitado pelos limites geográficos da respectiva infra-estrutura aeroportuária, e se não exceder a altura do obstáculo natural ou artificial mais próximo, num raio de 75 metros, esse pedido de autorização é dispensado. Quando na zona TRMZ, existe a possibilidade de voar até ao limite máximo de 120 metros acima da superfície. Contudo, tanto numa zona TRMZ como na zona ATZ, deve ser assegurado que não existem voos de aeronaves tripuladas a decorrer.

3.6 Mapa de Restrições

É de extrema importância respeitar as regras das diferentes zonas de voo. Contudo, pode tornar-se complicado ao utilizador de uma RPA saber de todas restrições de uma determinada zona.

Embora muitos dos equipamentos da actualidade já tenham sistemas de Geofence¹³ e auxiliem o piloto da RPA, impedindo-o de ultrapassar um limite ou voar numa área restrita. Existem muitos outros que ainda não estão equipados com essa tecnologia.

Para auxiliar o piloto na tarefa de conhecer onde pode e não pode voar, como também saber as respectivas limitações de cada local, além dos anexos ao regulamento for criado o Mapa Voa na Boa.

Este mapa permite de uma forma mais simples e intuitiva, mostrar todas as áreas onde não pode voar ou existe algum tipo de limitação.

3.7 Pedidos de Autorização para Voar

Para as situações em que se pretenda ir além das limitações do regulamento, é necessária pedir uma autorização à ANAC. Embora não seja obrigatório, preferencialmente os pedidos de autorização devem ser apresentados com uma antecedência de 12 dias uteis. Este é realizado através de um formulário disponível no site www.voanaboa.pt e enviado para o endereço electrónico drones@anac.pt.

É importante também conhecer as situações em que essa autorização é necessária. Dessa forma, podemos dizer que, de uma forma geral, carecem de autorização:

- Todos os voos acima dos 120 metros acima da superfície;

¹³ Criam uma barreira virtual impedindo a RPA de ultrapassar determinados limites.

- Todos os voos no interior de um círculo de 1 km de raio centrado no ponto de referência dos heliportos;
- Todos os voos acima das alturas permitidas nas áreas de protecção operacional dos aeroportos;
- Todos os voos nocturnos;
- A operação de APR com massa operacional acima dos 25 kg;
- Sobrevoar concentração de pessoas;
- Operação BVLOS (Beyond Visual-of-Sight) com algumas excepções referidas de seguida.

3.8 Operação à Linha de Vista e Além da Linha de Vista

Comumente chamado de VLOS (Visual Line-of-Sight), esta operação consiste em que o piloto ou observador da RPA mantenha contacto visual directo da aeronave, sem ajuda. Embora a tecnologia actual traga a possibilidade de transmitir vídeo em tempo real e que é de uso comum nos sistemas de FPV (First Person View), a legislação actual não permite pilotar um RPA fora da linha de vista sem a devida autorização prévia. Contudo, essa autorização não é necessária quando a aeronave preenche os seguintes requisitos:

- Massa máxima igual ou inferior a 1 kg;
- O voo se situe num círculo de raio até 100 metros centrado no piloto;
- A RPA voe num espaço delimitado de forma a evitar o risco de colisão com pessoas e bens;
- O piloto deve estar munido de equipamento FPV;
- A aeronave não exceda a altura máxima de 5 metros acima da superfície.

É importante ainda referir que a proibição de voos BVLOS (Beyond Visual-of-Sight) é um problema que condiciona a utilização dos VANT na inspecção autónoma de infra-estruturas de produção e transporte de energia.

3.9 Recolha de Imagens

Embora o uso de equipamentos de captação de imagem seja algo extremamente comum nos dias de hoje e largamente utilizado nas aeronaves remotamente controladas, a sua regulação não é realizada pela ANAC.

As regras de captação de imagens e realização de vídeo são reguladas pela Lei de Protecção de Dados Pessoais da CNPD (Comissão Nacional de Protecção de Dados). Por esse motivo, a utilização de RPA para efeitos de levantamentos aéreos, nomeadamente filmagens aéreas, fotografias e a sua respectiva divulgação carece de uma autorização prévia da Autoridade Aeronáutica Nacional/ Força Aérea.

3.10 Seguro e Licença e Registo

Uma das grandes dúvidas de quem pretende pilotar um RPA é se necessita de tirar algum tipo de licença e se é obrigado a fazer um seguro. A ANAC considera que não é necessário pedir qualquer licença individual para operar este tipo de equipamento. Refere ainda que todas as situações em que é necessária uma autorização, estão devidamente identificadas no regulamento.

Quanto à obrigatoriedade de realizar um seguro. Ao tomar controlo de um RPA o utilizador é considerado um piloto. Por esse motivo, tem que responder por todos os danos que eventualmente possa vir a causar enquanto operador ou piloto da aeronave.

Embora a ANAC não obrigue à realização de um seguro, recomenda a sua contratação de forma a acautelar eventuais danos que possam advir da utilização destes equipamentos. Não obstante, a obrigatoriedade de realizar um seguro pode vir a ser uma realidade em próximas revisões do decreto-lei.

Por fim, fica também de fora a necessidade de realizar o registo do piloto ou da aeronave pilotada remotamente.

3.11 Conclusão do Regulamento

Como conclusão, é importante que o piloto leia, perceba e respeite as regras. De uma forma geral, o piloto deve:

- Realizar voos tendo em atenção a minimizar riscos para as pessoas, bens e outras aeronaves;
- Deve de dar sempre prioridade de passagem às aeronaves tripuladas;

- Devem efectuar apenas voos diurnos;
- Deve de consultar e respeitar a altura máxima permitida na zona onde pretende voar;
- Nunca exceder a altura dos 120 metros em operações VLOS;
- Nunca exceder a altura dos 30 metros caso o equipamento seja uma aeronave brinquedo;
- Manter uma distância de segurança de pessoas e bens de forma a evitar danos em caso de acidente;
- Não deve voar sobre concentrações de pessoas;
- Antes de cada voo, deve certificar-se que todos os sistemas estão em perfeitas condições para a realização do voo.
- Mesmo no período diurno, a aeronave deve ter sempre as luzes de identificação ligadas.
- Até à data da criação deste documento não existe a necessidade de criar um seguro de responsabilidade civil nem adicionar matrícula identificativa na aeronave. Contudo, é previsível esta alteração ao decreto-lei.

Introdução ao Drone

Capítulo 4

4 Introdução ao Veículo Aéreo não Tripulado

É comum chamarmos de drones aos RPA (Remotly Piloted Aircraft). Embora estes veículos não sejam tripulados, considera-se que o drone é assim chamado sempre que permitir não só ser controlado remotamente como também tenha a capacidade de realizar voos sem a necessidade de um piloto.

A sua criação teve como propósito fins militares. Contudo, graças aos avanços tecnológicos e ao acesso ao GPS, que outrora estava restrito apenas aos militares dos EUA, hoje em dia já é possível a sua aplicação para fins civis.

Os benefícios que estes aparelhos trazem são imensos. O VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado), sendo um drone usado como ferramenta de trabalho, pode ser aplicado a tarefas na agricultura, na prevenção contra incêndios, na monitorização de sistemas ecológicos e na inspecção de infra-estruturas de produção de energia, entre outras.

Esta ferramenta combina velocidade, precisão e um preço atraente quando comparados com o recurso ao helicóptero para as mesmas tarefas. Devido ao seu tamanho, este equipamento permite ainda o acesso a locais de difícil acesso.

4.1 A História do Drone

Ao contrário do que possa parecer, o uso de drones já tem mais de um século. Em 1917, o inglês Archibald Low (1888-1956) provou que era possível controlar um protótipo de biplano apenas com o uso de rádio. Embora tivesse conseguido obter sucesso na descolagem houve o problema das barreiras tecnológicas. As falhas constantes do motor de explosão e as constantes quedas dos protótipos fizeram com que a Real Força Aérea Britânica perdesse o interesse na tecnologia.

Já na década de 60, os EUA usaram veículos controlados por rádio na guerra do Vietnam. Estes eram usados para realizar rotas previamente definidas e capturar imagens do terreno do inimigo. É neste contexto que a palavra drone se torna tão popular. Nos dias de hoje, os drones são maravilhas da engenharia. Têm imensa autonomia de voo e uma ampla gama de possibilidades de aplicações. Dotado de poderosos processadores electrónicos, sistema de posicionamento global, capacidades de controlo automático

capazes de uma reacção correctiva a quaisquer obstáculos, estes equipamentos estão cada vez mais autónomos, precisos e presentes no nosso quotidiano [7].

4.2 O que é um Multirotor

Este é mais um termo utilizado para caracterizar os chamados drones. De forma a melhor se entender o seu significado podemos observar as características do helicóptero. Este normalmente tem apenas um motor responsável pela levitação do aparelho. Já os chamados multirotores tem como principal característica, mais do que um motor na tarefa de elevar o equipamento. No aeromodelismo, são usados normalmente motores eléctricos, devido ao seu desempenho e peso mais reduzido.

4.2.1 Dinâmica de Voo

Os multirotores geralmente usam propulsores de passo fixo. Por esse motivo, o movimento do veículo é gerado através da variação da velocidade relativa de cada motor. A sua elevação no ar é realizada na vertical devido à impulsão gerada pelas hélices.

Esta aeronave caracteriza-se por manter o seu equilíbrio estabilizando o seu próprio eixo central. Para isso mantém-se na horizontal, realizando ajustes à velocidade dos motores. O controlo desses ajustes é efectuado pela controladora de voo. Esta recebe a informação dos vários sensores (magnetómetro, acelerómetro, barómetro...) realizando os cálculos necessários para compensar os desvios angulares.

A sua orientação é feita, rotacionando e deslocando-se sobre os seus três eixos a partir do seu centro de massa. Esses movimentos de rotação dos eixos são [8] [11]:

- Pitch;

Este movimento é feito quando o modelo inclina para a frente ou para trás, conforme a sua posição no espaço. Para realizar este movimento é necessário acelerar os motores contrários ao lado que vai ser inclinado, de forma ao aparelho ganhar velocidade e efectuar o deslocamento para a frente e para trás.

- Roll;

Este movimento é muito idêntico ao pitch, mas a sua inclinação será feita para a direita e esquerda do aparelho. Para realizar este

movimento é necessário acelerar os motores contrários ao lado que vai ser inclinado, de forma ao aparelho ganhar velocidade e efectuar o deslocamento para a esquerda e direita.

- Yaw.

Este movimento é feito quando o modelo gira em torno do seu eixo. Para realizar este movimento é necessário acelerar dois dos motores que giram no sentido contrário ao do movimento desejado.

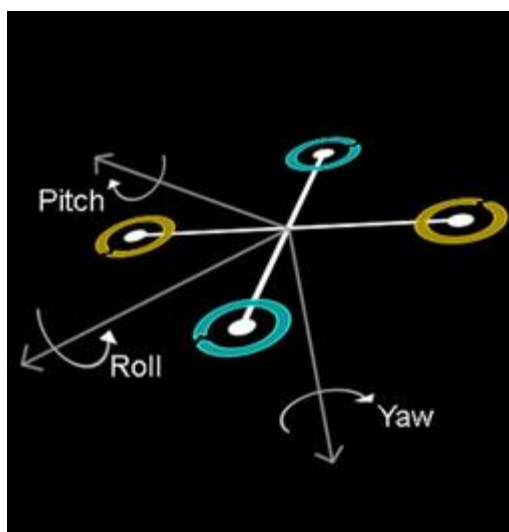


Figura 4: Yaw Pich Roll

4.2.2 Número de Motores

Os multirotores como aeronaves remotamente tripuladas podem ter inúmeras configurações que geralmente estão categorizados pela quantidade de motores usados.

A quantidade de motores tem impacto directo no desempenho de voo tal como cada configuração tem as suas vantagens.

Quanto mais motores a aeronave tiver, mais potência e capacidade de se elevar o aparelho vai ter.

Uma aeronave com mais motores tem como principais vantagens:

- Mais potência e maior capacidade para se elevar no ar;
- Maior capacidade de transportar carga;
- Possibilita obter redundância em caso de falha em algum dos motores, evitando dessa forma uma queda do aparelho.

No entanto, como pontos negativos, uma maior quantidade de motores significa:

- Aumento no custo do equipamento;
- Maior consumo energético;
- Manutenção adicional.

4.2.3 Disposição dos Motores

No RPA não é só a quantidade de motores que tem importância. Aliada a quantidade de motores, está a disposição destes na estrutura. Existe uma grande variedade de soluções na distribuição dos motores. Esta distribuição de motores assume características que fazem lembrar os caracteres **H**, **X**, **+**, **Y** e **T**, podendo ser classificados como sendo do tipo [12] [11]:

- Radial;

Este tipo de disposição é muito comum em quadrópteros, hexacópteros e octacópteros com estruturas em **X** e **+**. Cada motor é posicionado no mesmo plano horizontal em torno de um eixo central.

- Coaxial;

Este tipo de disposição já é mais comum nos octacópteros com estruturas em **H**, **X**, **Y** e **+**. Aqui, dois ou mais motores dispostos verticalmente vão gerar propulsão sobre o mesmo eixo de cada haste. Para dar um exemplo pode ser apresentado uma estrutura de quatro hastes onde são colocados oito motores. Enquanto quatro motores são colocados na parte de cima da estrutura, cada um na sua haste, outros quatro motores são colocados nas mesmas hastes na parte inferior da estrutura.

- Linear.

Este tipo de disposição é utilizado em bicópteros ou em hexacópteros e octacópteros com a estruturas em **H** e consiste em posicionar os motores em linha recta.

4.2.4 Configurações das Estruturas

As configurações mais comuns são as seguintes:

- Bicóptero;

Tal como o nome indica, o bicóptero funciona apenas com dois motores. Embora esta configuração seja barata a mesma torna-se extremamente complexa devido à necessidade de utilizar servos de forma a movimentar os motores para o ângulo desejado. Estes equipamentos não são muito populares devido à dificuldade de estabilização em voo característico deste tipo de configurações.

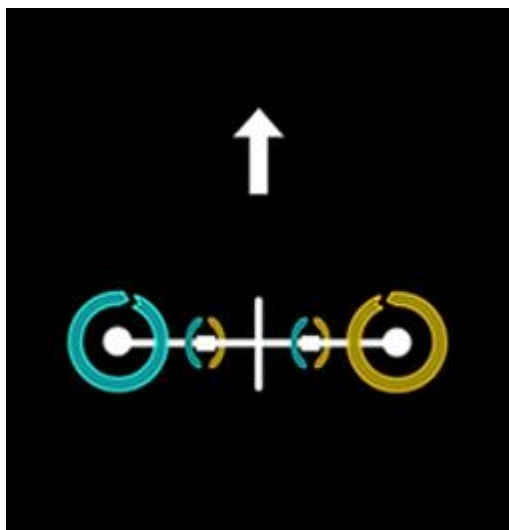


Figura 5: Bicóptero

- Tricóptero;

Esta configuração utiliza três motores normalmente dispostos na formação **Y** ou **T**. Normalmente, dois dos motores são colocados à frente a girar em direcções opostas. O terceiro motor é colocado na parte de trás do aparelho anexado a um servo. Este servo inclina o motor cerca de 15° para cada lado, permitindo o aparelho mudar de direcção (Yaw).

Esta é uma configuração relativamente barata devido só utilizar três motores e um servo. Contudo, é menos estável do que outras configurações com mais motores, mais frágil devido à vulnerabilidade dos mecanismos do servo e tem uma maior dificuldade de se elevar no ar.

Em comparação com um quadcóptero ou hexacóptero que muda de direcção reduzindo a velocidade dos motores, perdendo dessa forma alguma velocidade, o tricóptero não perde velocidade pois a mudança de direcção é realizada com recurso ao servo.

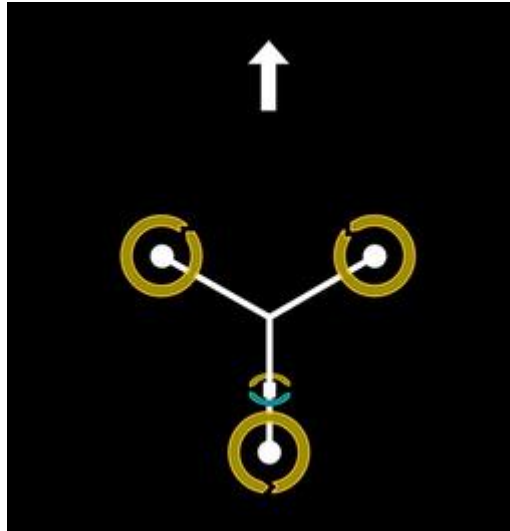


Figura 6: Y3

- Quadcóptero;
Esta é a configuração mais comum. Os seus quatro motores são normalmente colocados a 90° uns dos outros em configuração **X**, **H**, **Y**, **T** e **+**. Embora existam debates na comunidade do rádio controlo sobre qual é a melhor configuração para um quadcóptero, a configuração em **X** é a mais usual, devido a permitir a colocação de uma Câmera FPV ou para filmagens aéreas entre os dois motores da frente, embora a configuração em **H** também o permita.

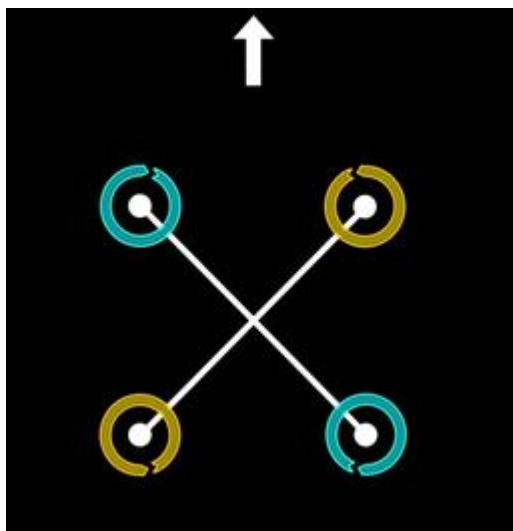


Figura 7: Xquad

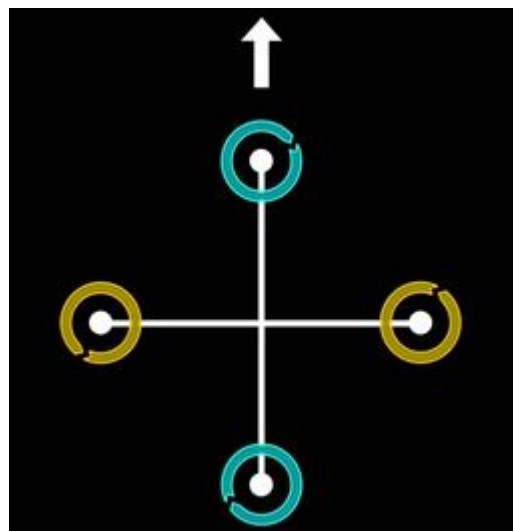


Figura 8: +Quad

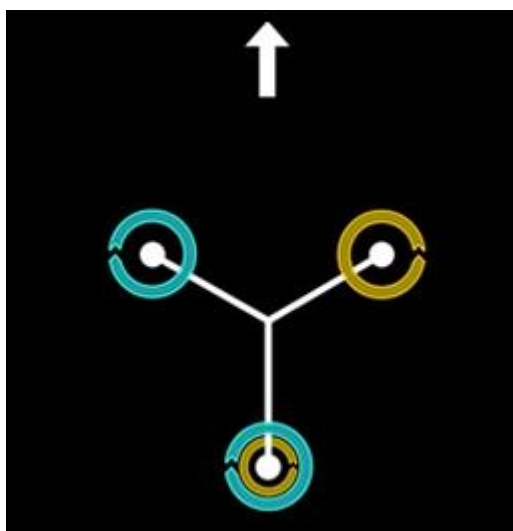


Figura 9: Y4

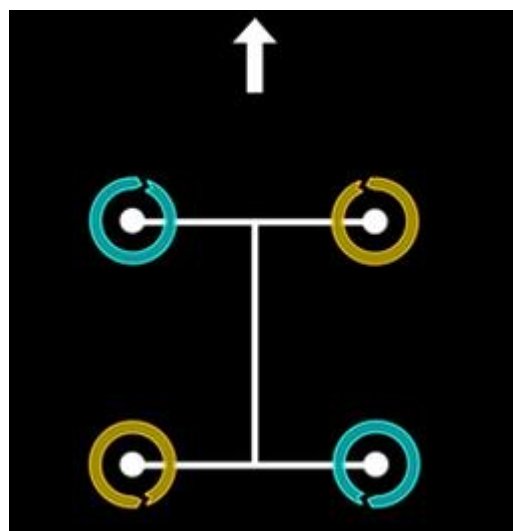


Figura 10: Hquad

- Pentacóptero;
Esta configuração raramente é usada. Uma das suas vantagens é a grande amplitude dos braços dianteiro. Isto permite que as hélices fiquem fora do campo de visão da câmara.
- Hexacóptero;
Os hexacópteros realizam a propulsão através de seis motores. Esta é uma configuração muito similar aos quadrópteros e muito utilizada quando se pretende redundância de motores de forma a

garantir uma maior estabilidade em caso de falha de um dos motores sem que se traduza na queda da aeronave.

Tipicamente são montados a uma distância de 60° entre cada motor. Devido ao maior número de motores, esta configuração tem um maior poder de elevação. Contudo, devido aos motores extra, o preço também é mais elevado.

Embora raro, existem ainda os hexacópteros em armação de tricóptero. Este consiste em seis motores em modo coaxial. Três na parte superior da estrutura e três na parte inferior.

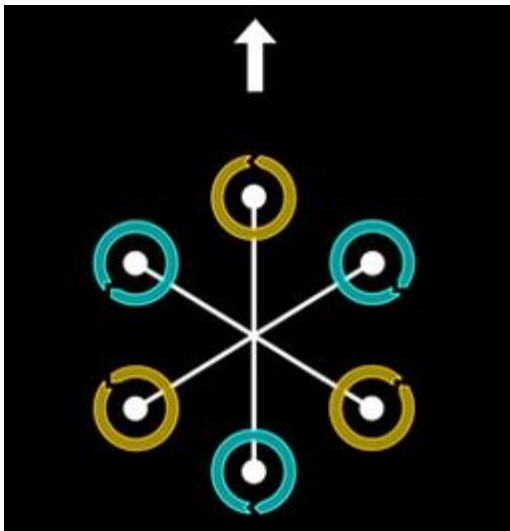


Figura 11: +Hex

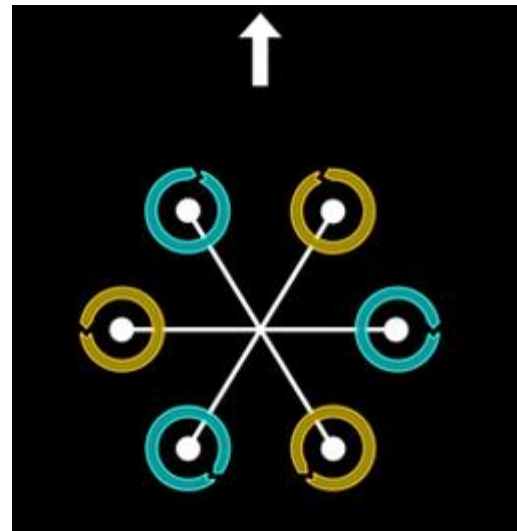


Figura 12: Xhex

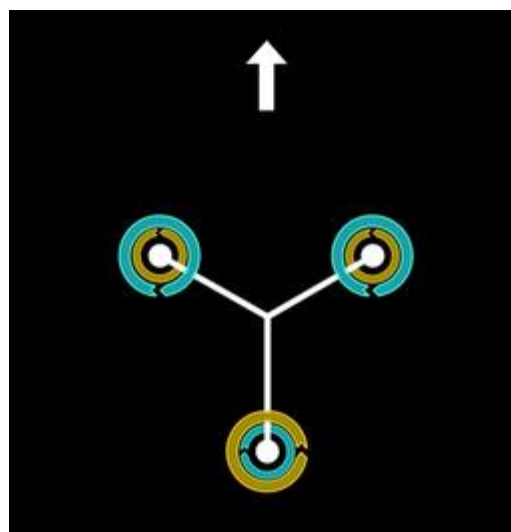


Figura 13: Y6

- Octacópteros.

Os octacópteros são constituídos por oito motores que normalmente se encontram em **X**, **H** e **+**. Estes são considerados uma versão melhorada dos hexacópteros pois tem mais capacidade de redundância e um maior poder de elevação. Embora a estrutura mais comum seja a de oito braços no mesmo plano onde são distribuídos os oito motores, também é comum o modo coaxial utilizando uma estrutura de apenas quatro braços.

Esta configuração é muito popular quando se pretende a captação de imagens aéreas. Contudo, uma maior quantidade de motores significa também uma maior descarga de corrente, o que resultará na necessidade de usar baterias maiores, que são mais caras e mais pesadas.

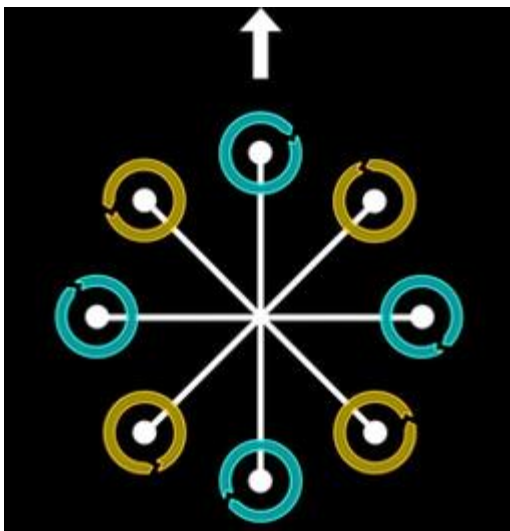


Figura 14: +Octo

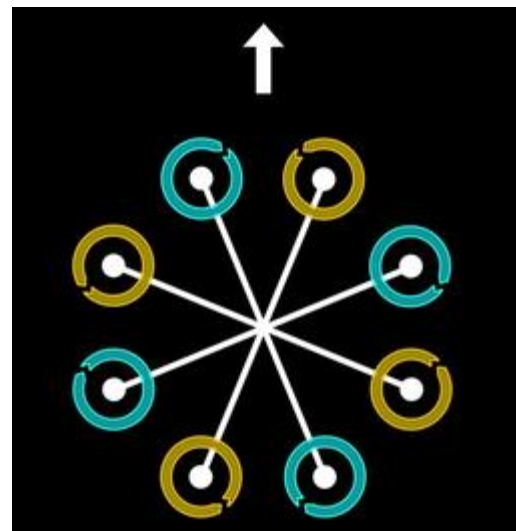


Figura 15: Xocto

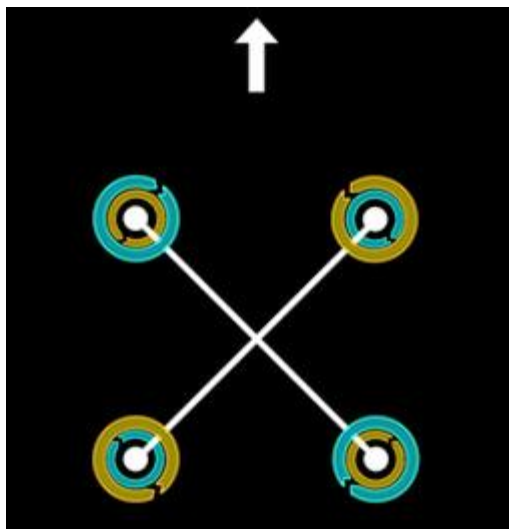


Figura 16: Xocto Coaxial

4.3 DIY Drone

Quer seja para uso profissional ou para lazer, existem actualmente no mercado inúmeras marcas que oferecem modelos para as mais variadas finalidades. Contudo, nos dias de hoje a escolha já não está limitada ao número de motores, tamanho ou função. Agora, além de ser possível comprar modelos RTF (Ready to Fly), também é possível comprar os variados componentes e construir o nosso próprio drone de acordo com o pretendido.

Embora grandes empresas, como a chinesa DJI (que é a líder do mercado no sector dos drones RTF), tenham à disposição variados modelos que satisfazem a maioria das necessidades de um utilizador comum, existem marcas dedicadas aos modelos DIY (Doing yourself in). Estas, oferecem uma vasta lista de alternativas ao consumidor, permitindo-lhe escolher as características do seu aeromodelo e dessa forma fazer o seu preço.

A escolha por criar o seu próprio drone pode ser devido:

- Procurar uma redução de preço;
- Personalização de características;
- Optimização para a função desejada;
- Hobby.

4.3.1 Vantagens

Tal como acontece na montagem de um PC, o utilizador tendo o conhecimento, pode tirar vantagens ao construir o seu próprio drone. As vantagens podem ser:

- Poder escolher os componentes;
Ao ter a possibilidade de escolher os seus componentes o utilizador vai ter a oportunidade de desenhar o drone à sua medida, sabendo exactamente o que cada peça faz e as suas características.
- Redução de custos;
Ao conseguir escolher os componentes, também consegue escolher onde os preços estão mais baixos, ou seguir pelas diversas alternativas mais em conta.
- Autonomia e competência;
Caso exista uma avaria ou outro problema com a aeronave, o utilizador ganha competências para perceber o que poderá estar mal e, visto que foi essa pessoa que montou o drone, também será capaz de substituir a peça danificada.
- Ajustado às tarefas;
Os componentes adquiridos estarão ajustados às tarefas pretendidas sem que haja o risco de algum componente do conjunto ser de qualidade ou gama inferior.
- Ajuda da comunidade;
Embora existam sistemas DIY fechados, existem sistemas Open Source de grande qualidade disponíveis. Estes sistemas trazem a vantagem de existirem comunidades espalhadas por todo o globo que se dedicam diariamente a melhorar o sistema, trazendo ganhos para todos os utilizadores. Esta comunidade também permite obter ajuda para dúvidas e problemas que eventualmente possam surgir.

4.3.2 Desvantagens

- Necessidade de conhecimentos prévios;

Cada vez mais, os equipamentos novos vêm incorporados uns nos outros¹⁴, ou com ligações sem necessidade de soldar. Contudo, em muitos dos casos e devido à variedade dos componentes disponíveis, ainda é necessário algum conhecimento básico¹⁵ de electrónica, como também necessita de saber configurar e calibrar os diferentes componentes.

- Tempo;

A montagem do próprio drone é um processo que demora inevitavelmente muito tempo, e pode não ser opção para quem prefere pagar por um produto acabado e pronto a funcionar.

Isto porque além da própria montagem, existe também o estudo das peças adequadas, a encomenda e espera dos componentes, os atrasos causados por possíveis peças danificadas e as calibrações, configurações e testes.

- Risco de insucesso;

Caso o estudo das peças não tenha sido realizado correctamente existe o risco de os componentes serem incompatíveis ou inadequados.

Visto que a montagem envolve estagnar diversas ligações e componentes, existe o risco de danificar os componentes devido ao calor do ferro ou devido a um curto-circuito.

Por fim, existe o risco de o utilizador não realizar a montagem correctamente. Isto pode acontecer devido a não existir informação suficiente para um determinado componente ou por incumprimentos das orientações de montagem.

- Ausência de características;

Existem tecnologias, design e software que pertencem as marcas que vendem os RTF drones. Por esse motivo, o seu acesso pode estar interdito ou difícil de obter. Quem constrói o seu drone, tem de verificar se estão disponíveis as características que pretende para DIY drones.

¹⁴ PDB +FC ou por exemplo FC mais VTX entre outras variantes.

¹⁵ Soldar; identificar cabos, ligações e componentes; usar um multímetro entre outros.

Construção de um Multirotor

Capítulo 5

5 Partes Constituintes de um Multirotor

O multirotor é constituído por diversos componentes electrónicos que abordam muitas vertentes tecnológicas.

Desde estruturas extremamente leves e resistentes, até tecnologias de processamento de imagem e computacional, passando pela transmissão de dados e imagem via rádio ou os sistemas GPS, estas são algumas das tecnologias de topo que tem aplicação directa neste tipo de equipamentos. Por esse motivo, para melhor conhecer o multirotor, é necessária uma breve apresentação às características de cada um destes componentes.

5.1 Componentes de um Multirotor

Os vários componentes que constituem um DIY Multirotor são os seguintes:

- Estrutura;
- Motores;
- ESC;
- PDB;
- Controladora de Bordo;
- Sistema FPV;
- Sistema de Rádio;
- Baterias;
- Buzzer;
- GNSS;
- Gimbal;
- Trem de aterragem;
- Telemetria;
- LED de presença;
- Sensores de obstáculos;
- BEC;
- GPS Tracker.

5.2 Estrutura

À estrutura de um multirrotor dá-se o nome de *Frame*. A *frame* é o esqueleto onde todos os componentes vão ser acoplados, como também é responsável por criar a rigidez necessária para a aeronave resistir a uma eventual queda.

As *frames* variam consoante:

- O uso que se pretende dar ao drone;
Esse uso pode variar caso o drone seja para corridas, Freestyle ou fotografia aérea.
- O tamanho do equipamento;
O tamanho tem de ser decidido consoante o tipo de uso pretendido. Nas corridas e Freestyle quer-se drones pequenos. Já para fotografia aérea, pretende-se drones capazes de transportar todos os equipamentos necessários como também conseguir atingir altitudes mais elevadas. Por esse motivo e em linha com a tecnologia actual, estruturas maiores são as mais indicadas.
- O tipo de material;
O tipo de material também pode variar consoante a sua funcionalidade. O material mais nobre neste momento para estruturas é a fibra de carbono. Esta oferece ao equipamento leveza e resistência a impactos. É um material muito utilizado em drones de corrida ou em DIY drones em que o investimento foi muito elevado, servindo assim para proteger o investimento. Quando a resistência não é um requisito essencial, opta-se por fibra de vidro ou plástico. Embora menos resistente, este é um material mais barato e capaz de ser moldado. Por esse motivo é o material de eleição para drones RTF (Ready to Fly) que podemos encontrar no mercado actualmente.
- O tamanho dos motores;
Também o tamanho dos motores está dependente do tamanho da estrutura. Estes devem ter a potência requerida para suportar todos os componentes necessários, e a estrutura deve permitir o seu

acoplamento. Contudo, para uma maior eficiência, os motores devem também de ser escolhidos em função das hélices.

- O tamanho das hélices;

Normalmente, o tamanho da estrutura determina o tamanho das hélices. Contudo, não é uma regra, e pode-se projectar a aeronave tendo como base as hélices que se pretende usar.

Ao escolher a estrutura, é importante ter em atenção se existe espaço para todos os componentes que pretendemos integrar. Para isso convém fazer um estudo prévio de todos os componentes e perceber se existe espaço para todos. Convém ainda incluir também espaços para passagem de ar, de forma a ajudar na refrigeração dos componentes.

Outro ponto importante na escolha da estrutura é verificar se as medidas dos orifícios são compatíveis com os componentes que pretendemos usar pois, diferentes sistemas podem ter diferentes medidas de fixação. Para os casos onde os orifícios não são iguais é sempre possível criar os nossos orifícios na estrutura ou usar sistemas de fixação alternativos.

5.3 Motores

Os motores são os responsáveis por gerar a propulsão necessária para a aeronave se elevar no ar. Nos multirotores, é comum o uso de motores eléctricos, pois são motores relativamente leves e com bons rendimentos [10], [11], [12], [13].

Existem dois tipos de motores eléctricos usados neste tipo de equipamento:

- Brushless;
- Brushed.

Tal como o nome indica, a diferença entre os dois tipos de motores são as escovas. Contudo, ambos os tipos de motores eléctricos conseguem o movimento giratório do eixo do motor através do uso de imans.

5.3.1 Motores Brushless

Este tipo de motores e tal como o nome indica, não têm escovas. No aeromodelismo é comum o uso de motores alimentados por corrente contínua (DC) de três fases. As fases são análogas à quantidade de cabos que distribuem a corrente.

Por sua vez, estes motores estão também divididos em dois tipos:

- Motores *inrunner*;
O seu eixo roda dentro da sua blindagem que se mantém imóvel.
- Motores *outrunner*.
Este é o motor mais utilizado nos multirotores. O seu eixo roda juntamente com a parte superior da blindagem oferecendo mais torque (N/m) sem a necessidade de usar caixas de redução. São extremamente uteis em multirotores de grande e médio porte devido a serem mais leves, mais pequenos e ventilados.

A ligação dos motores aos ESC (Electronic Speed Control) é realizada através de três fios. Quando na montagem do primeiro DIY drone, pode surgir a dúvida da ordem de ligação de cada um desses cabos. Contudo, essa ordem não é relevante. A ordem dos fios está relacionada com o sentido dos motores. Caso algum motor não esteja a girar no sentido desejado é possível alterá-lo facilmente. Para isso basta inverter dois dos três fios da ligação entre os motores e os ESC. Dessa forma, não importando quais os fios que se vai trocar. Não obstante, caso essa tarefa seja difícil de realizar, é possível alterar o sentido dos motores através de software. A justificação para ser apenas necessário mudar dois dos fios para alterar o sentido dos motores pode ser observada na imagem seguinte:

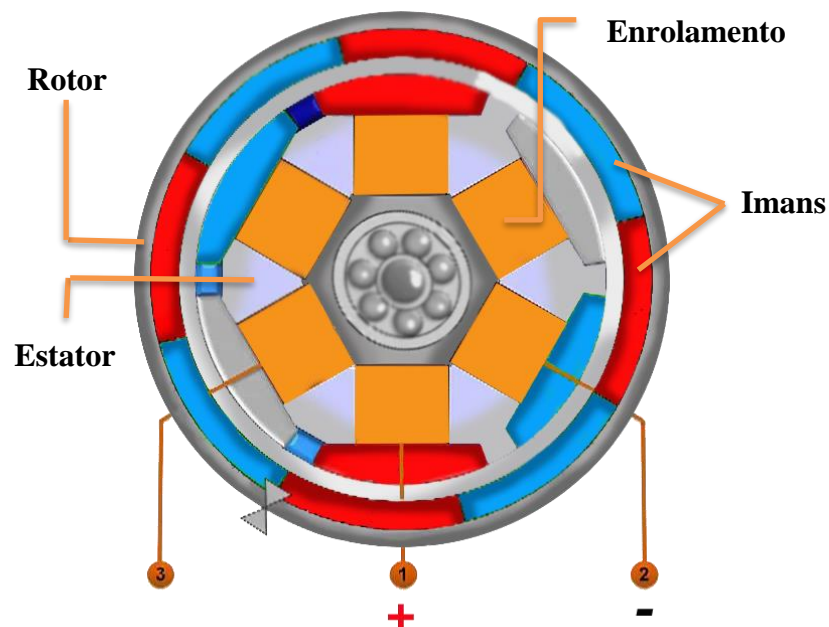


Figura 17: Modo de funcionamento de um motor brushless

Tal como visto na figura acima, é aplicada uma corrente às bobinas do motor, que tirando vantagem das propriedades magnéticas dos imans instalados no rotor¹⁶, cria o movimento necessário para o motor. Quando se pretende mudar o sentido, basta alterar a polaridade da corrente.

De uma forma muito simples pode-se dizer que, os motores brushless utilizam os imans permanentes instalados no rotor para reagir às polaridades criadas nas bobinas e assim gerar o movimento de rotação. O controlo da corrente fornecida às bobines é gerido pelos ESC. Estes serão os responsáveis pelas RPM (rotações por minuto) como também pelo sentido desse movimento.

5.3.1.1 Vantagens

Os motores brushless trazem algumas vantagens em relação aos brushed. Estas vantagens são:

- São mais eficientes em todas as velocidades com uma carga nominal;
- Menos ruidosos;
- Alta eficiência em relação ao tamanho e sem quedas de tensão;
- Alta potência em relação ao tamanho;
- Características térmicas superiores;
- Menos manutenção devido à ausência de escovas;
- Comutação electrónica em vez de comutação mecânica;
- Maior faixa de velocidades porque não existe limitações mecânicas impostas pelas escovas.

5.3.1.2 Desvantagens

Como seria de esperar, nem tudo é bom neste tipo de motores, por esse motivo temos como desvantagens:

- Maior custo na construção;
- O seu controlo é mais complexo;
- É necessário o uso de um ESC de forma a que o motor trabalhe.

¹⁶ Rotor é a parte móvel do motor enquanto o estator é a parte estacionária

5.3.2 Motores Brushed

Este tipo de motores e tal como o nome indica, têm escovas. Neste tipo de motores a corrente passa por dois pequenos blocos constituídos por pequenos filamentos¹⁷ de carbono situados em lados opostos do eixo do motor. A esses blocos chamamos de escovas porque entram fisicamente em contacto com o comutador¹⁸. O comutador está fixo ao eixo do motor e é responsável por transferir a corrente eléctrica recebida das escovas para a armadura. A armadura mais não é do que um conjunto de bobinas do rotor e tal como o comutador, a armadura também está fixa ao eixo do motor.

Quando a corrente passa pelos fios de cobre das bobinas, é gerado um campo magnético. Esse campo vai reagir com o campo magnético de polaridade inversa gerada por imãs N e S que estão fixos ao outro lado do motor. Esta reacção entre as bobinas electromagneticamente carregadas e os imãs fixos gera o movimento de rotação deste tipo de motor. Isto acontece porque a corrente é duas vezes invertida por cada ciclo do comutador. Dessa forma, os fluxos de corrente que passam pela armadura alteram as suas polaridades puxando e empurrando os imãs permanentes.

Ao contrário dos motores brushless, a blindagem mantém-se imóvel e o que roda é a armadura por onde passa uma corrente eléctrica devido ao contacto físico com as escovas [12].

5.3.2.1 Vantagens

Os motores brushed trazem algumas vantagens em relação aos brushless. Estas vantagens são:

- Controlo simples e barato;
- Baixo custo de construção;
- Não é necessário um controlador de velocidade para fixar a velocidade;
- É ideal para ambientes operacionais extremos por não conter electrónica;
- Podem ser feitas pequenas reparações para estender o seu período de vida.

5.3.2.2 Desvantagens

Algumas das desvantagens são as seguintes:

- É necessária uma manutenção periódica;

¹⁷ As escovas são normalmente constituídas por composto; de prata, cobre ou grafite.

¹⁸ Este precisa de ser limpo com alguma regularidade.

- Não é capaz de grandes variações de velocidade;
- Maior ruído;
- Maior interferência magnética;
- O torque fica reduzido em velocidades mais altas devido ao atrito das escovas.

5.3.3 Tamanho do Motor

Como já anteriormente foi dito, o tamanho dos motores está dependente do tamanho da estrutura. Estes devem ter a potência requerida para suportar todos os componentes necessários, e a estrutura deve permitir o seu acoplamento.

O seu tamanho é normalmente referenciado como um número de quatro dígitos onde os dois primeiros são o diâmetro do estator e os dois dígitos seguintes são a altura do estator¹⁹. Esse valor normalmente está em milímetros.

O tamanho do motor é limitado não só pela estrutura, como também pelo que é pretendido que o equipamento faça. Isto porque tamanhos diferentes mudam as características dos motores, permitindo ao aparelho ter mais impulsão ou maior rotação.

Aumentar o diâmetro ou altura do estator tem como consequência directa a necessidade de aumentar tanto o tamanho do íman como as bobinas do estator:

- Se o aumento for na altura do estator;

Um estator maior tem a vantagem de uma maior dissipação de calor, como também são normalmente mais potentes e aguentam mais altas rotações. Contudo, para que essa altura seja maior, é necessário aumentar ao tamanho do íman permanente mais do que ao tamanho da bobina.

- Se o aumento for no diâmetro do estator.

Um estator mais largo é dotado de um maior torque e são mais eficientes. Contudo, para que essa largura seja possível, é necessário aumentar mais o tamanho da bobina do que o dos ímans permanentes.

¹⁹ Estator é a parte estacionária do motor. Um estator mais alto dá mais RPM e menos torque e um estator mais largo dá mais torque e menos RPM.

5.3.4 Factores que Influenciam a Escolha de Motores

Na escolha dos motores devem ser considerados os seguintes factores:

- Impulsão;

A sua capacidade de elevação é a primeira coisa que normalmente se olha ao escolher um motor. Isto porque uma maior impulsão proporciona uma aceleração mais rápida. Contudo, essa rapidez é também sinonimo de maior consumo e ineficiência. Quanto mais alta a impulsão, maior consumo, contudo é necessário ter em atenção se a taxa máxima de descarga de corrente das baterias consegue acompanhar essa demanda.

- Eficiência e descarga de corrente;

É importante efectuar uma observação da eficiência em todas as faixas de aceleração e não apenas nos seus máximos e mínimos. Isto porque alguns motores podem perder eficiência ao desenhar a curva de corrente até ao seu limite de velocidade. Para melhorar o equilíbrio entre a impulsão e a eficiência, é essencial escolher umas hélices adequadas ao motor, visto que cada motor tem uma resposta diferente a cada tipo de hélice.

- Peso;

O peso do motor é muitas vezes negligenciado. Contudo, este é um factor de relevada importância pois tem forte influência na capacidade de resposta da aeronave. A justificação é que, motores mais pesados aumentam o momento angular de inercia do aparelho, obrigando os motores a trabalhar mais para mudar essa atitude. Esse peso elevado gerará uma maior quantidade de tempo gasto até à detecção dessa velocidade angular como também gastará mais tempo para conseguir a desaceleração, dando a sensação de que a aeronave não é responsiva aos comandos.

5.3.5 Torque

Na física e explicando de uma forma simples, o torque (ou momento) é o produto entre uma força aplicada perpendicularmente sobre um eixo numa determinada distância.

Essa é a força que faz girar as hélices e determina a velocidade com que o motor pode aumentar ou diminuir a rotação [15].

$$\tau = F \cdot r \cdot \sin(\theta)$$

Onde:

τ é o vector torque;

F é a força;

r é o raio entre o eixo e o ponto onde é exercida a força;

θ é o angulo em que essa força é exercida.

O desempenho da aeronave esta dependente do torque no sentido em que um motor com um torque elevado proporciona uma resposta mais rápida como também pode ser usado para aplicar componentes mais pesados. Para dar um exemplo, se o motor tiver um baixo torque e quiser mover uma hélice grande e pesada, o motor vai ter muita dificuldade em conseguir realizar essa tarefa ou pode até mesmo não conseguir movê-la. Já se o torque for elevado, a hélice irá ser movida sem qualquer problema podendo ainda mudar rapidamente o sentido do motor.

Posto isto, seria fácil concluir que o ideal será usar motores de elevado torque, o que está errado. Uma das grandes desvantagens é que os motores com alto torque mudam tão rapidamente a rotação que podem amplificar erros no controlador de voo o que resultará em oscilações que podem ser difíceis de eliminar mesmo com ajustes de PID (Proportional Integral Derivative). Já os motores de baixo torque oferecem uma execução muito mais suave não só no controlo da aeronave como também na rotação dos próprios motores.

A escolha depende do estilo de voo pretendido e da estrutura da aeronave visto que um maior torque permite ser usado para aplicar hélices maiores que por sua vez são aplicadas em estruturas de maior porte para transportar material com um maior peso.

5.3.6 A Relação dos Motores Brushless e o Kv

Comummente confundido com kV (quilovolt), o Kv nos motores são as RPM (Rotações por Minuto) por volt que são fornecidas ao motor.

O valor dos Kv é útil no sentido que permite de uma forma simples perceber quantos volt são necessários para atingir um determinado número de RPM. É muito

comum encontrar-se motores de 2300Kv. Isto significa que se fornecer 12V a esse motor ele atingirá 27600 RPM.

$$Kv = \frac{RPM}{v}$$

Onde v designa-se ao volt e RPM às rotações por minuto.

Como os motores são a principal fonte de descarga de energia, é importante obter um equilíbrio eficiente entre a hélice o motor. Curiosamente e embora não seja totalmente verdade, assume-se que, motores com um Kv mais alto são capazes de mais RPM, mas produzem pouco torque, enquanto que motores com um Kv mais baixo produzem muito torque, mas atingem RPM mais baixas.

5.3.7 Tempo de Resposta

Nos multirotores o sincronismo dos motores tem relevada importância. Isto porque permite obter ganhos;

- Na fiabilidade do motor;
- Na eficiência;
- No torque;
- Nas RPM.

O responsável por esse sincronismo são os ESC (Electronic Speed Control). Estes enviam uma corrente eléctrica através da bobina do motor que por sua vez gerará um campo magnético atraindo os imans do rotor. O problema é que todas as vezes em que houver uma carga e descarga de corrente na bobina, ocorre o fenómeno da indução. Isto significa que existe um período de tempo entre o envio da corrente e a criação do nível ideal de campo magnético. Esse período de tempo também é visível quando o fornecimento de corrente termina e o campo magnético diminui ou desaparece.

Por esse motivo surge a necessidade de ajustar o tempo de resposta entre os motores e os ESC. Embora a solução passe por enviar a corrente para a bobina mais cedo, existem efeitos diferentes que dependem do atraso entre o carregamento da bobina e a distância até ao íman.

- Ao carregar a bobine quando ela ainda está distante do íman resultará num aumento da rotação dos motores, mas reduzirá o torque;
- Ao carregar a bobina quando ela está próxima do íman resultará num maior torque, mas reduzirá a rotação do motor.

O tempo de resposta do motor depende dessa forma:

- da indução;
Contudo, essa indução será diferente em diferentes motores pois cada motor tem a sua resistência, um número diferente de voltas da bobina ou até mesmo tamanhos diferentes, entre outros factores.
- Do torque;
Este também pode influenciar o tempo de resposta de um motor. De uma forma geral, motores com um torque mais alto tem um tempo de resposta mais rápido.
- Hélices;
O peso e altura das hélices pode influenciar o tempo de resposta.
- Condições atmosféricas;
As condições atmosféricas podem influenciar os tempos de resposta dos motores na medida que podem criar resistência nas hélices. Em baixas altitudes o ar é mais espesso significando maior número de moléculas de ar que a hélice deve mover. Já em altas altitudes a impulsão será menor devido a menor quantidade de moléculas de ar para interagir com as hélices.

5.3.8 Vibrações

Existem várias causas que podem comprometer o desempenho do multirotor. Uma das mais comuns são as vibrações causadas pelos motores ou pela própria estrutura.

Para evitar vibrações na estrutura é necessário:

- Uma boa fixação de todos os elementos constituintes da estrutura;
- Uma boa fixação dos componentes à estrutura;
- Usar suportes anti vibração no controlador de voo;
- Usar hélices calibradas;
- Boa qualidade de construção dos motores.

Já as vibrações causadas pelos motores não podem ser evitadas pois a causa é baixo equilíbrio ou má qualidade de construção dos motores. A única solução é adquirir motores de qualidade.

As vibrações causadas pelos motores reflectem diversos efeitos colaterais:

- Fraco desempenho da aeronave;
- Podem afectar o controlador de voo;
- Dificuldade de sincronização, devido à variação da frequência das vibrações consoante os diferentes níveis de aceleração;
- Maior quantidade de ruído eléctrico que pode afectar o giroscópio;
- Degrada a qualidade de captação de vídeo porque gera o efeito gelatina na imagem.

5.3.9 Abertura de Ar

Quando se fala em aberturas de ar de um motor não nos estamos a referir às aberturas no rotor para arrefecimento do motor. Esta designação refere-se à distância entre os imãs permanentes colados no rotor e o estator.

A abertura de ar é importante no sentido que a distancia vai debilitando a força magnética. É facilmente conclusível que o ideal será reduzir ao máximo essa distância, de forma a aumentar o tempo de resposta, o torque e a potencia do motor. Contudo, essa redução na abertura de ar tem como lado negativo um aumento no consumo, redução na eficiência do motor e o risco de redução da durabilidade. Isto porque caso ocorra uma queda e o impacto danifique o exterior do rotor, existe o risco de um ímã entrar para dentro do estator e arruinar o motor.

Uma das técnicas mais utilizadas para aproximar os imãs do estator é usar imãs curvos. Dessa forma consegue-se uma abertura de ar mais reduzida e consistente.

5.3.10 Sentido dos Motores

Existem alguns fabricantes que oferecem motores que giram no sentido do relógio e no sentido inverso ao do relógio. Nos motores brushed o sentido é um ponto importante visto que a rotação no sentido errado irá causar um desgaste maior nas escovas. Contudo, nos motores brushless isso não é um problema pois os motores podem rodar em qualquer sentido sem que isso se traduza em problemas para motor.

Posto isto pode-se questionar a razão para os fabricantes proporem tais motores. Na realidade, seja qualquer o sentido que os motores apresentem, internamente são todos iguais. O que os diferencia é apenas e unicamente o sentido de aperto da rosca de fixação das hélices. Visto que o multirotores tem motores que giram em ambos os sentidos, mudando o sentido da rosca vai garantir que esta não se vai soltar quando o aparelho estiver em movimento. A única desvantagem é que na eventualidade de se perder uma porca de fixação de rosca invertida, haverá uma dificuldade maior em encontrá-la no mercado.

5.3.11 A Escolha Acertada

Cada tipo de motor tem as suas particularidades que o tornam mais apto para umas funções e menos apto para outras. Embora os motores brushless sejam mais comuns nos dias de hoje, os motores brushed continuam a ter uma ampla gama de aplicações. Isto graças à sua apetência para uso industrial e a sua capacidade de alternar de torque para velocidade.

Não é demais recordar que os motores brushed tem as suas escovas em constante contacto com o comutador. Esse contacto cria fricção que resulta em calor. Esse calor significa que existe perda de energia, o que não é comparável com os motores brushless. Por não existirem esses pontos de contacto, os motores brushless são muito mais eficientes e poderosos. Por todos esses motivos, para um alto desempenho nos multirotores, o ideal é usar motores brushless, devido à sua potência e eficiência superiores. Estes oferecem maior potência e voos mais longos com o mesmo tamanho de motor.

5.4 Electronic Speed Control

Normalmente designados apenas por ESC, os controladores electrónicos de velocidade, tal como o seu nome indica, são os responsáveis por fazer o controlo da velocidade dos motores.

Este aparelho faz a interligação entre três aparelhos. O motor, a placa distribuidora de potência (ou em raros casos, directamente da bateria) e a controladora de voo.

Começa por receber a energia vinda directamente da bateria ou da placa distribuidora de potência para direccioná-la para os motores. Contudo, o ESC só fornece ao motor a quantidade de corrente que a controladora de voo mandar fornecer. O sinal

recebido da controladora de voo é convertido pelo ESC em impulsos electrónicos criando a aceleração do motor até à velocidade ideal. A sua utilização promove um voo mais suave como também um consumo de energia mais equilibrado.

A performance de um ESC depende dos seguintes factores:

- Nível de ruído eléctrico;
- Qualidade de construção;
- Suavidade;
- Longevidade;
- Faixa de tensão eléctrica suportada;
- Do tipo de voo realizado.

5.4.1 ESC 4 em 1

Existe uma tendência natural de miniaturizar os componentes electrónicos. Os ESC não são excepção. De forma a conseguir-se quadrópteros cada vez mais compactos, surgiram os ESC 4 em 1. Tal como o nome indica, este tipo de ESC consiste numa placa que concentra os 4 componentes num. Isto traz como vantagens:

- Menor consumo de espaço;
- Mais leve do que as versões unitárias;
- Melhor distribuição de peso porque a massa fica mais centralizada.

Contudo, este tipo de solução também traz desvantagens:

- Caso um ESC integrado avarie, toda a placa fica inutilizada²⁰;
- Não pode ser usado em hexacópteros nem octacópteros.

5.4.2 Corrente

Ao escolher os ESC a primeira coisa em ter em atenção é o nível suportado de corrente. Regra geral, quanto maior for o nível de corrente suportado, melhor. As desvantagens de usar ESC com um nível mais alto do que o necessário poderá ser eventualmente:

- Alguns centimos a mais no preço;
- Algumas gramas a mais de peso;
- Alguns centímetros a mais na dimensão.

²⁰ Pode ser reutilizado em composições com menos de 4 motores

Embora existam essas desvantagens, a vantagens obtidas com o uso de corrente mais alta superam-nas facilmente.

Os motores consomem muita corrente. Caso a necessidade de corrente por parte dos motores ultrapasse a capacidade de demanda dos ESC, estes irão inevitavelmente começar a sobreaquecer. Um dos grandes perigos desse sobreaquecimento é a possibilidade desse sobreaquecimento levar a uma falha catastrófica e acabarem por se incendiarem em pleno voo.

Num ESC existe o chamado FET²¹ que quanto maiores, menores as emissões de calor, o que evita sobreaquecimentos e aumenta a eficiência energética do dispositivo.

Geralmente, o ESC é projectado para suportar picos de corrente alta por curtos espaços de tempo (≈ 10 segundos). Por esse motivo, quando o motor pede corrente a mais do que aquela que o equipamento pode dar, podem acontecer problemas. Num ESC existem essencialmente 3 coisas que poderão gerar uma maior necessidade de descarga de corrente:

- O tamanho do motor;
- Hélices mais pesadas;
- Motor com muitos Kv.

Consumo de Corrente

A descarga de corrente dos ESC que normalmente são usados nos multirotores variam desde:

- 20A;
- 30A;
- 35A;
- 40A.

Embora haja excepções, não é necessário o uso de ESC com maior corrente do que os 40A.

²¹ FET é o diminutivo de mosfet. Este dispositivo tem a tarefa de lidar com altas correntes. Quanto mais compactos mais eficientes energeticamente do que os de menor dimensão.

Tensão de Entrada

Embora o mais comum seja os ESC suportarem tensões até 14.6V (4s²²), existem outros que suportam tensões até 22.2V de forma a suportar o uso de baterias 6s. Uma tensão excessiva irá danificar irreparavelmente os ESC e os motores, por esse motivo é necessária a verificação dos dados técnicos do ESC, de forma a perceber se é adequado para a tensão que será utilizada no aeromodelo.

Firmware BHLHELI

Embora existam outras soluções de firmware para os ESC, é comum o uso do firmware BHLHELI por proporcionarem um desempenho suave, preciso e confiável. Este firmware é o responsável pela gestão interna do dispositivo. Actualmente já se encontra na 3ª geração:

- BHLHELI;
- BHLHELI_S;
- BHLHELI_32.

A cada geração que surge, a interface com o utilizador é simplificada, permitindo de uma forma simples e intuitiva:

- Actualizar o firmware;
- Inverter o sentido de rotação dos motores;
- Realizar a calibração dos motores;
- Testar motores.

Protocolo

São os protocolos que determinam a rapidez do sinal do controlador de voo para o ESC. A escolha do protocolo é um parâmetro importante pois tem impacto directo no desempenho do multirotor. O mais antigo protocolo é o PWM. Contudo, por ter um atraso de até 2ms o PWM tornou-se praticamente obsoleto. Os protocolos que actualmente são usados são os seguintes:

- PWM;
- Oneshot125;
- Oneshot42;

²² 2s, 3s, 4s, 5s e 6s é utilizado para identificar o número de células que a bateria LIPO tem. Cada célula tem 3,7V.

- Multishot;
- DShot;
- DShot150;
- Dshot300;
- Dshot600;
- Dshot1200;
- ProShot.

Opto ESC

Alguns ESC trazem integrado um pequeno BEC responsável por alimentar o controlador de voo com 5V. Aos que não trazem essa funcionalidade são designados de *Opto ESC*. Embora a palavra “Opto” sugira que este equipamento usa um opto-isolador²³, isto não acontece na verdade. Este tipo de ESC apenas faz uma separação do circuito de baixa tensão do de alta tensão evitando que picos de tensão alterem os componentes electrónicos ou interfiram com os sinais. Este tipo de ESC tem como vantagem:

- Mais leves;
- Menores.

A desvantagem é que o ESC não poderá ser usado como uma fonte de energia de 5V adicional.

5.5 Power Distribution Board

Geralmente, a energia que alimenta os multirotores é uma bateria LIPO. Contudo essa energia tem de ser distribuída por todos os componentes do aparelho, que sejam eles:

- A controladora de voo;
- O sistema FPV;
- O sistema rádio;
- O número de motores presentes no aparelho...

Por esse motivo existe a necessidade de existir uma peça que ajude na distribuição da energia para todos os componentes. A esse componente chamamos de PDB (Power Distribution Board). A bateria é ligada a este componente que por sua vez distribui a energia por cada motor à tensão da bateria. Com o avançar dos anos, alguns modelos

²³ É um componente electrónico que envia sinais utilizando a luz.

deste componente deixaram de fazer apenas a distribuição de energia à tensão da bateria e passaram a integrar também um BEC para 12V e 5V.

Actualmente também este componente está a ser ultrapassado pois muitos dos controladores de hoje em dia já trazem um PDB integrado. Dessa forma, o próprio controlador de voo recebe directamente a energia da bateria e faz a sua distribuição para todos os componentes.

5.6 Controladora de Voo

A controladora de voo ou FC (Flight Controller), é o cérebro da aeronave. Basicamente, a sua função é ler todos os sensores à sua disposição, e processar rapidamente algoritmos para enviar a melhor resposta aos motores e outros componentes, de forma a manter um voo estável e dentro do seu curso. Por esse motivo o FC tem um processador incorporado, de forma a por exemplo, calcular a velocidade com que cada motor deve girar de forma a que o multirrotor se comporte como o piloto deseja.

Normalmente esta placa tem em si integrado:

- Barómetro;
- Magnetómetro;
- Giroscópio.

Contudo, pode ainda integrar:

- OSD (On Screen Display);
- PDB;
- Telemetria;
- VTX (Vídeo Transmitter);
- Black Box (Caixa negra);
- Receptor rádio.

Além da obvia comunicação com a PDB, receptor rádio e os ESC, podem ainda permitir a ligação do:

- Sistema de GPS;
- Comunicação BT (Bluetooth);
- Telemetria;
- Todo o sistema FPV;
- OSD;

- Bateria;
- Trem de aterragem
- Sensores de detecção de obstáculos;
- Gimbal.

5.6.1 Controladoras de Voo Open Source

As controladoras de voo podem ser divididas em duas categorias:

- Código fechado;
Propriedade de uma empresa ou um grupo empresarial. Dessa forma não é possível a programação desse código sem a autorização prévia.
- Código aberto.
As controladoras Open Source (Código aberto) são desenvolvidas pela comunidade Open Source a nível mundial. Por esse motivo, estas permitem alterações nos algoritmos que controlam o hardware. Embora por vezes exijam uma curva de aprendizagem maior do que as de código fechado, tem como vantagem toda uma comunidade a nível mundial a trabalhar para o mesmo objectivo. Isto permite uma personalização de todos os parâmetros da controladora como também, em caso de alguma dúvida ou problema, existir uma grande comunidade pronta para ajudar na solução desse problema.

A Pixhawk 3D Robotics inicialmente começou como um projecto de código fechado. A empresa criava o seu código e comercializava os seus multirotores sem permitir a alteração por parte das comunidades. Contudo, devido a problemas com a vida útil da sua bateria, um GPS lento e a ascensão rápida da *DJI*, resultou na saída da empresa do mercado de consumo [17] [18] [19].

Dessa forma, nos dias de hoje a Pixhawk é um projecto Open Source que ganhou uma nova vida e evoluiu consideravelmente graças à comunidade. Existe agora a controladora de voo Pixhawk e inúmeros de clones chineses que, em regra geral oferecem um preço mais em conta, a uma qualidade aceitável. Contudo existem também evoluções

da Pixhawk realizada em parceria com a *3D Robotics* e a chinesa *HEX* que criaram o Pixhawk 2.1.

Esta controladora é multifacetada, permitindo a sua integração tanto num multirotor como num barco, carro ou submarino RC. Nada foi deixado ao acaso, esta foi pensada para competir com os gigantes do sector e ao mesmo tempo permitir a sua programação por parte da comunidade. No seu núcleo tem um poderoso processador e redundância a triplicar de sensores da máxima qualidade. Permite ainda a redundância de GPS como também de energia, além de estar preparado para operar a temperaturas extremas.

Este FC permite ainda a acoplação de uma placa Edison da INTEL de forma a realizar funções extra tais como leitura e processamento de dados de sistemas LIDAR.

Existem ainda outras controladoras de voo que inicialmente foram desenvolvidas para os chamados Drone Racers. Essas placas tem a vantagem de conter todos os sensores e processamento necessário para realizar voos de drones de pequeno porte, a um preço mais em conta. Também aqui os clones chineses tomaram conta do mercado. Nos dias de hoje, os clones chineses têm tanta ou mais qualidade que os originais, sendo sempre suportados por projectos Open Source:

- CleanFlight (praticamente obsoleto);
- BetaFlight (usado para drones de corrida);
- ButherFlight (embora o código fonte seja aberto, o seu software só funciona com as placas que tem um componente vendido por estes senhores);
- Inav (Vocacionado para drones com GPS de forma a realizar missões ou captar imagens).

5.6.2 Processadores

Num DIY Drone uma das coisas que nos reparamos ao escolher um processador são os termos F1, F3, F4 e F7. Estes termos referem-se ao tipo de processador da controladora de voo. Estes processadores são da família STM32 também conhecidos por MCU (Unidade Microcontroladoras). Os processadores da família STM32 usados em controladoras de voo são as seguintes [16]:

- F1;

Embora actualmente o processador seja praticamente obsoleto, este foi o primeiro processador de 32 bits a ser usado numa controladora de voo (CC3D). Dos ainda existentes, este é o processador com menos poder de processamento e perdeu vigor após a BetaFlight anunciar o abandono ao suporte aos processadores F1 devido às suas limitações de hardware.

- F3;

Estes processadores foram introduzidos no mercado em 2014 e ainda hoje são largamente utilizados. Estes processadores foram assim inovadores e permitiram o rápido desenvolvimento das comunidades Open Source devido ao seu elevado poder de processamento que é mais que suficiente para todas as tarefas necessárias para controlar um multirotor.

Tanto as placas F1 como a F3 tem a mesma velocidade de relógio de 72MHz, contudo, as controladoras F3 tem hardware adicional com um melhor processamento aritmético que a torna melhor em cálculos e significativamente mais rápida que as placas F1.

- F4;

As controladoras de voo F4 são a evolução natural das placas F3. Estas permitem uma maior rapidez de processamento, o que é benéfico para os casos onde é requerido um processamento intensivo e que no caso do F3 sobrecarregaria o processador. A velocidade de processamento é de 180MHz, o que é mais do dobro das placas F3 e também contar com processamento aritmético (FPU).

Uma das vantagens destas placas é o seu suporte de até 5 entradas UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) permitindo a sua interacção com mais equipamentos e mais funcionalidade. Uma dessa funcionalidade é permitirem a integração de PDB, contudo algumas placas F3 também tem essa funcionalidade.

- F7;

Esta nova geração de processadores de 216MHz tem vindo a surgir em versões mais recentes de placas controladoras de voo. Estas são consideradas um produto premium devido ao seu elevadíssimo poder de processamento e preço. Contudo, actualmente não existem funcionalidades que exijam tanto processamento visto que os chips F4 nunca ficam sobrecarregados com as necessidades de um multirotor dos dias de hoje. Outro problema é que, por serem recentes, existe também menor suporte. Por esse motivo, a sua aquisição só é aceitável caso se esteja a pensar como um investimento a muito longo prazo, caso contrário é claramente um desperdício de dinheiro.

Processadores F2, F5 e F6

Observando-se o número dos processadores usados pode surgir a questão do que aconteceu aos processadores F2, F5 e F6 e porque eles não constam na lista. A razão é que o processador F2 é um processador que, tal como acontece com o processador F4 não tem inversão de sinal nativa. Com o surgimento do processador F3 e as suas capacidades de calculo algébrico fizeram com que os desenvolvedores migrassem praticamente da versão F1 para a F3. Já a razão para os processadores STM32 F5 e F6 não constarem na lista é simplesmente porque eles não existem.

Número de UART's

Uma das grandes vantagens em ter um processador mais poderoso é a possibilidade que estes oferecem de existirem mais UART's nas placas controladoras de voo. Estas portas *serial* permitem que sejam conectados mais dispositivos ao aparelho tais como:

- SmartPort²⁴;
- MinimOSD;
- SBUS ou IBUS;

²⁴ É um protocolo onde o fio de sinal é bi-direccional. Tanto recebe dados como os envia e está presente nativamente nos processadores F3 e F7.

- Blackbox²⁵;
- Bluetooth;
- GPS;
- Telemetria;
- Sensores de detecção de obstáculos.

5.7 Sistema FPV

O sistema FPV (First-Person View) é o que torna a utilização do drone numa experiência apaixonante. Este sistema permite-nos experienciar a vista de uma ave em pleno voo. Remotamente o piloto controla o RPA através do radio enquanto monitoriza a sua posição através de uma câmara instalada no aparelho.

Este sistema é constituído por:

- Câmera;
- VTX;
- Antenas;
- Óculos ou monitor FPV.

5.7.1 Câmera

A escolha da câmara é uma das coisas mais importantes para quem quer voar com um sistema FPV. Isto porque não importa o quanto são bons os óculos de FPV, se a câmara captar uma imagem de má qualidade, para o FPV é exactamente isso que se vai receber nos óculos ou monitor FPV.

Nem todas as câmeras são boas para o FPV. As requeridas para o FPV normalmente têm um sinal de vídeo analógico que deve ter a mais baixa latência²⁶ possível. Isto porque por vezes estes aparelhos podem ser extremamente rápidos e cada segundo conta para o piloto. Desse modo, é necessário saber exactamente o ponto onde o aparelho está, de forma a evitar quedas ou colisões.

²⁵ Responsavel por gravar todos os dados do voo. Tal como nos aviões, após uma queda é possível analisar o que poderá ter corrido mal.

²⁶ É a quantidade de tempo que demora entre o momento que a câmara captou a imagem e o tempo que essa imagem é exibida nos óculos FPV.

Este tipo de câmeras não são projectadas para ter uma excelente qualidade de vídeo. São sim desenhadas para a WDR²⁷ (Wide Dinamic Range) e para uma baixa latência.

5.7.2 Sensores de Imagem

Nas câmeras FPV são usados essencialmente dois tipos de sensores de imagem:

- CCD (Charge-coupled device);
- CMOS (Complementary metal-oxide semiconductor).

Ambos têm vantagem e características que a distinguem do outro sensor, criando uma discussão na comunidade FPV de forma a provar qual o melhor. Há uns anos atrás o CCD era o mais utilizado e considerado o melhor. Contudo, com a evolução da tecnologia, nos dias de hoje já não é bem assim.

Isto acontecia porque as câmeras CCD possuem melhores WDR sendo perfeitas para condições de grande variação de luminosidade. Um bom exemplo dessa grande luminosidade é voar directamente virado para o sol e de repente virar para uma zona sombreada. Este tipo de sensor adapta-se rapidamente às condições adversas permitindo que o piloto possa continuar o seu voo conseguindo na mesma ver os detalhes na imagem.

Outra das suas vantagens é que este tipo de sensor não é afectado pelo fenómeno do efeito gelatina na imagem. A razão para não sofrerem desse problema como acontecia com as SMOS era que as câmeras CCD usam o “obturador global²⁸” enquanto que as CMOS usam o chamado “Rolling Shutter²⁹”. Contudo, os sensores CCD são mais caros e consomem mais energia.

Embora os sensores CCD continuem com grande qualidade, as câmeras CMOS ganharam uma nova vida. O seu desenvolvimento tem sido rápido ao ponto de ganharem um desempenho considerável e com isso o respeito mesmo pelos aficionados do CCD.

Hoje em dia o CMOS tem como vantagens:

- Um menor consumo energético;
- Maior resolução;
- Melhor cor;
- Taxa de actualização mais rápida.

²⁷ É a capacidade da câmara reagir a rápidas alterações de luminosidade, áreas de sombra e luz.

²⁸ Expõe a totalidade do sensor instantaneamente, sendo menos susceptível de ser vítima do efeito gelatina.

²⁹ O sensor é exposto de cima para baixo.

5.7.3 Resolução

Nas câmeras de FPV usa-se o TVL (TV Lines) para medir a resolução analógica. É comum observar-se nas características da câmera algo do género 1000TVL. Isto significa que a câmera é capaz de exibir 500 linhas brancas horizontais e 500 linhas pretas horizontais alternadamente, numa única imagem. Como seria de esperar, quanto mais linhas, maior a definição. No entanto, não é algo que deva merecer demasiada atenção quando se escolhe uma câmera. Isto porque um TVL demasiado elevado não acrescentará definição à imagem visto que a visualização da imagem também depende dos óculos ou monitor por onde estamos a observar a transmissão de vídeo analógica.

5.7.4 Uso de Câmeras HD

Embora haja a tendência para usar câmeras de alta definição tal como *Go Pro*, isso só é aconselhado para captação de imagem e não para controlo do RPA. Normalmente estes equipamentos tem instalado o sistema FPS e uma câmera de alta definição para o registo de imagem.

Embora algumas dessas câmeras HD forneça uma saída de vídeo de forma a conectar ao emissor (VTX), o mesmo não é aconselhado. Isto porque a latência será sempre superior a 100ms o que é uma latência demasiado elevada. Contudo, por questões de poupança ou de redução de peso no multirrotor ou apenas numa tentativa de simplificação do sistema, há quem as aplique sofrendo com as desvantagens:

- Fica dependente da bateria da câmera;
- Demasiado *Lag*;
- Se ocorrer a “congelamento” da imagem, o piloto não vai conseguir ver por onde anda.

Por todos esses motivos é aconselhável o uso de câmeras dedicadas para cada função. Também é importante instalar a câmera HD num gimbal de forma a obter uma gravação com uma imagem nítida e estabilizada. Contudo o mesmo já não é aconselhado para as câmeras FPV. A movimentação do gimbal vai deturpar a verdadeira posição ou inclinação do RPA, o que dificulta o controlo e pode resultar na queda do aparelho. Por esse motivo, é aconselhável colocar a câmera FPV fixa à estrutura.

5.7.5 VTX

O VTX (Vídeo Transmitter) é o responsável por receber a imagem da câmera de FPV e enviar essa imagem para os óculos ou monitor FPV. Este pode estar ligado directamente à câmera, ou passar pelo controlador de voo ou ainda, estar ligado a um dispositivo OSD (On Screen Display) que gravará a transmissão de vídeo num cartão de memória.

A transmissão de vídeo é feita normalmente usando 5.8GHz. O VTX recebe o sinal da câmera, mas, como já foi dito, o sinal pode passar por outros componentes antes de ser recebido. Um desses componentes é o controlador de voo que, caso já tenha OSD incorporado irá realizar a gravação da imagem para o cartão SD como também irá transmitir informação útil para os óculos do piloto. Essa informação pode ser o estado ou até mesmo altitude.

Este é um componente que merece algum cuidado. Queimar o VTX é algo que acontece frequentemente com novos utilizadores ou a aqueles mais distraídos. Isto acontece porque a antena faz parte do circuito do VTX. Por isso, este deve estar sempre conectada, mesmo quando se está a realizar a configuração do multirrotor no controlador de voo. Isto porque o USB da ligação ao controlador de voo fornece 5V à placa controladora e a todos os componentes que estejam conectados e funcionem a 5V, o que é o caso de uma grande maioria dos VTX.

Este componente também tem tendência a aquecer consideravelmente. Por esse motivo, o ideal é ser instalado numa zona de boa circulação de ar [18].

Finalmente, também é necessário ter em atenção que as estruturas em fibra de carbono bloqueiam o sinal de 5.8GHz. Por esse motivo é aconselhado afastar a antena da estrutura do RPA.

5.7.6 Antena

A antena é uma peça essencial para o VTX conseguir transmitir o sinal. Contudo existem antenas de FPV de varios tipos o que pode causar confusão na hora de escolher a mais adequada para o pretendido. Estas podem ser:

- Polarização linear;

Quando adquirimos um VTX costuma vir incluído este tipo de antenas. São antenas dipolo e normalmente são logo substituídas por antenas com outras características. As antenas de polarização

linear são antenas de estrutura simples o que as torna extremamente baratas e mais fáceis de construir e reparar.

O seu sinal oscila horizontalmente o verticalmente no plano que viaja. Embora sejam excelentes para longo alcance, esse alcance só é viável caso o piloto esteja direccionado para o receptor e com a antena na posição igual ao receptor de forma a captar bom sinal.

Isto acontece porque toda a energia é focada num único plano. Caso as antenas estejam a 90° uma da outra, essa recepção vai ser ainda mais agravada e resultará naquilo a que é chamado de polarização cruzada. Por esse motivo é que este tipo de antenas devem estar perfeitamente alinhadas, de forma a garantir o máximo sinal. O seu uso só é recomendável para voos estáveis e em voos de longa distância em céu aberto.

- Polarização circular.

Com certeza que dificilmente um piloto voará sempre em linha recta. Por esse motivo é previsível que as antenas fiquem desalinhadas, resultando num sinal instável. A solução passa por substituir as antenas de polarização linear por polarização circular. Neste tipo de polarização o sinal é transmitido em diversos planos horizontais e verticais em que o deslocamento de fase de 90° entre si. O bom deste sinal é que vai sempre se sobrepor independentemente da orientação ou do angulo do emissor em relação ao receptor.

Embora tenha a vantagem de apanhar mais sinal, este tipo de antena também tem os seus contras. O alcance é uma dessas desvantagens. Também é mais fácil acontecer que o sinal possa ser reflectido por objectos no percurso e ficar distorcido e atraso de fase. Isso irá resultar alteração da cor, estática e drop-outs³⁰.

LHCP e RHCP

Existe uma particularidade nas antenas com polarização circular. Estas podem ser LHCP (Left Hand Circular Polarized) ou RHCP (Right Hand Circular Polarized). A única

³⁰ Perda momentânea de sinal FPV de forma a que por segundos vê apenas com a chamada “areia”.

diferença entre elas é o sentido em que o sinal é emitido. Contudo, ao escolher a antena é necessário ter em atenção nesse pormenor. Um emissor com antena RHCP deve usar no receptor exactamente o mesmo tipo de antena e vice-versa. Isto porque caso o sinal tenha o sentido contrário, este será reflectido, resultando numa perda significativa de sinal.

5.8 Sistema Rádio

O sistema de rádio é um equipamento que merece especial atenção de quem pretende tornar-se um piloto de um aparelho radio controlo. Existem alguns detalhes que devem ter tidos em atenção na altura de escolher o rádio tais como:

- A quantidade de canais;
- Os modos;
- As frequências;
- Peso do TX e RX;
- As funcionalidades;
- E a ergonomia.

Primeiro de tudo é necessário esclarecer que os sistemas de rádio não são universais. Isto quer dizer que existe uma grande probabilidade de os TX (Transmissores) de uma marca não funcionarem com os RX (receptores) de outra marca. Embora haja algumas excepções, é comum os fabricantes venderem o Tx e o Rx separadamente. Isto pode criar confusão na hora de comprar um rádio pois o RX necessita de ser compatível com o TX. Contudo, até mesmo dentro da mesma marca existem incompatibilidades de TX com RX.

A função deste sistema é permitir que o piloto consiga controlar o RPA à distância e sem fios. Os comandos são dados pelo piloto ao rádio transmissor que é responsável por converter os movimentos nos botões em sinais que são depois enviados para o receptor. Ao receber essa informação, o receptor entrega-a à aeronave que terá a responsabilidade de entender o sinal e executar a ordem do piloto.

O sistema de rádio TX e RX é um sistema que deverá ser bem escolhido também por causa da longevidade. Este sistema tanto pode ser adaptado a um carro RC ou a um RPA, como um barco ou submarino RC. Por esse motivo, um bom rádio pode seguir o piloto por muitos anos merecendo dessa forma um investimento decente.

Nos rádios modernos é comum utilizar-se para a comunicação o PPM ou um protocolo serial digital. A sua vantagem em relação aos sistemas antigos é que toda a comunicação é realizada apenas através de um fio de sinal. Os sistemas anteriores necessitavam uma conexão por cada canal, hoje em dia, um único fio de sinal faz toda essa comunicação.

5.8.1 Características

Número de Controlos

Nos rádios, é comum chamar “numero de canais” ao número de controlos que define a quantidade de funções que o TX permite executar. O número mínimo é de quatro “canais” e estes são os responsáveis pelo:

- Yaw;
- Pitch;
- Roll;
- Throttle.

Contudo, existem outras funções que podem ser necessárias para o controlo do veículo RC e que implica um rádio com mais canais. Para o uso de rádios num RPA definitivamente é necessária uma grande quantidade de canais, sendo que quantos mais, melhor. Isto porque cada canal também pode ser utilizado para adicionar um modo de voo ou activar um equipamento no aparelho.

Modos dos Manípulos de Controlo

Este é outro ponto que merece atenção por criar confusão aos iniciantes. Os rádios são vendidos em 4 modos diferentes:

- Modo 1;
- Modo 2;
- Modo 3;
- Modo 4.

A diferença entre eles é a configuração dos manípulos que fazem o controlo do Yaw, Pitch, Roll e Throttle. Embora alguns TX permitam mudar os modos, é sempre

aconselhado comprar o modo que o utilizador se sinta mais confortável. Isto porque os modos existem devido ao facto de existirem diferentes tipos de utilizadores que:

- Ou são esquerdinos;
- Ou preferem os controlos de uma forma diferente.

Frequências Rádio

Embora a frequência mais comum seja a 2.4GHz, também é possível encontrar rádios que comunicam com frequências de 433MHz e 900MHz. A tecnologia 2.4GHz permite comunicações a uma distância superior a 1Km, e tem a vantagem de ter uma antena mais pequena e leve, o que é exactamente o que os RPA procuram nos seus componentes.

Esta tornou-se o padrão não só pela dimensão da sua antena. Esta tecnologia permitiu a criação de novos protocolos que introduziram a tecnologia de saltar frequências. Este era um problema grave que afectou a indústria do RC durante muitos anos e que os novos protocolos vieram resolver. O “salto de frequência” basicamente alterna automaticamente entre frequências, várias vezes por segundo. Isto permite obter um sinal mais consistente e sem interferências, como permite ainda voar com outros pilotos e não sofrer interferências dos outros rádios a 2.4GHz.

5.8.2 Protocolos de Comunicação

Os protocolos de comunicação RX e TX são mais uma das coisas que costuma gerar confusão aos menos conhecedores do mundo do RC (Radio controlo). A razão é simples. Existem muitos protocolos diferentes que são apresentados apenas por siglas. Alguns dos mais relevantes protocolos são [19] [20]:

- PWM;

Este é o protocolo de controlo mais básico. PWM significa Pulse Width Modulation. É um protocolo que vem do tempo em só havia aviões RC. Na altura, os receptores eram apenas usados para controlar servo motores ou ESC usando um canal para cada servo. Nos dias de hoje ainda é usado, mas tem tendência a desaparecer visto que existem protocolos mais evoluídos e mais rápidos. Normalmente o seu comprimento de pulso encontra-se entre os

1000 μ s³¹ como o mínimo e 2000 μ s como o máximo valor. Contudo, cada canal necessita de um cabo conectado ao receptor de forma a enviar o sinal analógico.

- PPM;

O PPM (Pulse-position modulation) também é conhecido por CPPM ou PPMSUM. Em relação ao PWM, a sua maior vantagem é não ser necessário um fio para cada canal. Apenas uma ligação permite obter no máximo até 8 canais. Dessa forma a ligação é feita apenas pelo fio de sinal, alimentação e terra.

O seu modo de funcionamento é relativamente simples. Embora o sinal seja modulado de maneira diferente, o PPM nada mais não é do que sinais PWM que são enviados pelo mesmo fio, um sinal após o outro. Por esse motivo o sinal não é tão preciso em comparação com a comunicação serial.

- IBUS;

Este protocolo serial foi criado pela Flysky e tem a particularidade de ter uma comunicação bidireccional. Este já é um protocolo digital e utiliza apenas 3 fios para fazer a comunicação com, no máximo, 18 canais.

- SBUS;

Este protocolo também usa uma comunicação serial de sinal digital. Este tipo de sinal serial tem a vantagem de ser mais rápido do que o PPM e o PWM. Também tem uma melhor resolução e um diferente tratamento de erros, o que permite respostas mais suaves. Para se ter uma ideia da rapidez em comparação com o PPM. Este tem 27ms de atraso enquanto que o SBUS (Serial Binary Unit System) tem apenas 9ms. Este é um protocolo famoso graças à grande relação qualidade preço dos rádios da *FrSky*.

- PCM;

PCM (Pulse Code Modulation) é um tipo de protocolo semelhante ao PPM. No entanto, a diferença entre os dois é que o PCM é

³¹ Micro-segundos

composto por sinais digitais, ao passo que o PPM tem sinal analógico. Por ser um sinal digital, este protocolo tem o potencial de detectar erros de sinal.

- CRSF;

Este protocolo foi desenvolvido pela *TBS* (Team Black Sheep) e é muito semelhante ao SBUS e a outros protocolos digitais. Este protocolo também é chamado de “crossfire” e a sua maior vantagem em relação aos outros é a sua capacidade de comunicações rápidas e bidireccionais. Isto permite que a telemetria seja injectada no fluxo de comunicação sem que seja necessárias portas adicionais.

- DSM2;

Spektrum é uma marca de topo na comercialização de rádios controlo. Os seus protocolos são o DSM2 e o DSMX. Este sinal é mais resistente ao ruído e a interferências de outros utilizadores de rádio. A diferença entre o DSM2 e o DSMX é que, o último permite mudar para um novo canal de frequência caso o aparelho detecte algum corte de sinal.

Os diferentes protocolos de comunicação de rádio usados no RPA estão divididos como:

- Grupo do protocolo RX;

Refere-se à comunicação entre o receptor e o controlador de voo da aeronave.

- Grupo do protocolo TX.

Refere-se à comunicação entre o transmissor e o receptor.

Protocolos RX

No grupo dos protocolos do RX podemos encontrar alguns que são universais e outros que são exclusivos de uma determinada marca. Como protocolos universais temos:

- PWM;
- PPM;
- SPI_RX;
- PCM.

Já os exclusivos de uma marca são os seguintes:

- IBUS;
Pertence à *FlySky*.
- SBUS;
Pertence à *Futaba*, mas também é usado pela *FrSky*.
- XBUS;
Pertence à *JR*.
- SUMD;
Pertence à *Graupner*.
- MSP;
Pertence à *Multiwii*.
- FPort;
Pertence à *Frsky*.
- CRSF;
Pertence à *TBS*. O protocolo é chamado de “Crossfire” e é muito conceituado para voos de longa distância.
- SUMH.
Pertence à *Graupner*.

Protocolos TX

Para complicar ainda mais na escolha, existem também os protocolos TX.

O que facilmente pode confundir os menos conhecedores de protocolos é que, existem vários protocolos TX da mesma marca, que podem ou não ser compatíveis com o RX escolhido. Dessa forma, primeiro devemos escolher o rádio (que é o equipamento mais caro) e só depois adquirir o receptor compatível com o nosso TX.

Alguns dos protocolos TX que são diferentes mesmo pertencentes à mesma marca são:

- FrSky;
D8, D16, LR12, R9...
- Spektrum;
DSM, DSM2, DSMX...
- FlySky;
AFHDS, AFHDS 2A.

5.9 Baterias

Como é fácil de perceber, a bateria é normalmente utilizada como fonte de energia pelos multirotores. A razão é simples. As baterias apresentam um bom fornecimento energético em relação ao seu peso quando comparadas com outras fontes. Isto torna as baterias na fonte energética ideal para este tipo de utilização.

Embora existam alguns drones que são alimentados com baterias de íões de lítio, de uma forma geral, as baterias LIPO são largamente mais utilizadas devido às suas características em relação às de lítio.

As baterias LIPO são apelidadas assim devido à sua composição ser de polímeros de lítio. As características deste tipo de bateria são:

- Alta densidade energética;
- Alta taxa de descarga;
- Leves em comparação com outras tecnologias.

Embora estas baterias tragam vantagens inegáveis, existem cuidados a ter no seu uso, o que torna imperativo ter um conhecimento das todas as suas características antes de as usar [21].

5.9.1 Escolha da Bateria Certa

Existem inúmeras marcas de baterias LIPO. Contudo, inicialmente a escolha não deve ser realizada em relação à marca, mas sim pelas características que necessitamos que estejam presentes na bateria, de forma a evitar problemas que poderão tornar-se catastróficos. Isto porque a bateria errada pode não só danificar o RPA como pode incendiar o aparelho. O mesmo também pode acontecer caso não se tomem os devidos cuidados no acondicionamento ou no carregamento deste tipo de bateria.

Ao escolher uma bateria LIPO deve-se inicialmente identificar qual a quantidade de tensão suportada pelo nosso RPA. Para essa tarefa é necessário verificar as fichas técnicas dos ESC, PDB e motores. Normalmente essa informação é apresentada pelos fabricantes como o número de células mínimo e máximo suportável pelo componente.

Seguidamente deve-se ter cuidado em analisar a taxa de descarga máxima da bateria. Caso a taxa de descarga requerida pelo aparelho seja demasiado alta em relação ao que a bateria consegue oferecer, pode resultar em sobreaquecimento da bateria, podendo mesmo entrar em combustão.

Um erro comum é procurar a bateria apenas tendo em consideração a sua capacidade de carga. Embora seja um ponto importante, é também necessário verificar a sua relação com o peso de forma a garantir que o peso elevado não tem o efeito contrário ao desejado e em vez de prolongar o voo pode reduzi-lo ou até mesmo não deixar o multirotor descolar.

5.9.2 Células

As baterias LIPO usadas usualmente pelos multirotores são compostas por células individuais conectadas em serie. Os fabricantes identificam o número de células de uma bateria através de um número. Este é responsável por indicar a quantidade de células e é seguido de um “S”.

Cada célula fornece uma tensão nominal de 3.7V podendo atingir os 4,2V quando carregada. Por esse motivo podemos facilmente fazer cálculos de forma a determinar a tensão media de uma bateria LIPO. Basta para isso multiplicar a tensão nominal de 3,7V pelo número de células.

Dessa forma verificamos que, se a quantidade de células for:

- 1 célula;
Denomina-se de 1S e tem apenas 3,7V.
- 2 células;
Denomina-se de 2S e têm 7,4V.
- 3 células;
Denomina-se de 3S e têm 11,1V.
- 4 células;
Denomina-se de 4S e têm 14,8V.
- 5 células;
Denomina-se de 5S e têm 18,5V.
- 6 células.
Denomina-se de 6S e têm 22,2V.

É necessário ter em conta que o valor nominal da tensão da bateria não é sempre o mesmo. Cada célula pode chegar aos 4,4V quando totalmente carregada, mas nunca deve ser descarregada a mais do que 3,3V de forma a não causar perda de desempenho ou até mesmo inutilizar a bateria.

Convém ainda alertar que, carregando a bateria mais do que a sua tensão limite de 4,2V pode gerar um incêndio.

Para guardar a bateria, nunca deve ser guardada totalmente carregada. O ideal é que fique aproximadamente a 3,5V por célula. Para auxiliar nessa tarefa, os carregadores deste tipo de baterias já trazem incluído o modo “Storage” que otimiza a tensão para o acondicionamento.

5.9.3 Taxas de Descarga

Embora hoje em dia a classificação “C” tenha-se tornado numa ferramenta de marketing usada e abusada por fabricantes, mesmo assim, pode ser útil.

A taxa de descarga máxima é classificada com um “C”, seguido do valor da taxa. Este “C” não deve ser confundido com o “C” de *Coulomb*. Esta letra é também o símbolo que representa a taxa de descarga. Conhecendo a classificação “C” de uma bateria é possível calcular a corrente máxima de descarga segura e contínua de uma bateria. Para isso usamos a fórmula:

$$\text{Corrente de Descarga Máxima} = \text{Classificação "C"} \times \text{Capacidade}$$

Dessa forma, podemos calcular que uma bateria de 1800mAh com 75C tem uma descarga contínua de corrente estimada em 135.

Taxas de C baixas não são aconselhadas para usar nos multirotores. Isto porque a bateria terá dificuldade em fornecer a corrente necessária ao aparelho que entrará em sobrecarga. Caso a classificação C seja maior que a necessária, não existe qualquer perigo para a aeronave. Contudo, também não dará nenhum benefício extra, podendo até mesmo ser mais pesada, resultando em menor tempo de voo.

Infelizmente, hoje em dia existem muitos fabricantes que mentem na classificação C das suas baterias de forma a aumentar as vendas. Normalmente, se a bateria for muito barata é melhor desconfiar. A melhor forma de confirmar será sempre verificar o seu verdadeiro desempenho através de exames e avaliações da comunidade RC.

5.9.4 Carregamento

Existem alguns cuidados a carregar uma bateria LIPO que devem ser tomados em consideração. Um dos mais importantes é que não se deve exceder a carga máxima da bateria de forma a prolongar o seu tempo de vida e evitar que expluda.

Um carregador moderno vai auxiliar num bom carregamento pois irá parar automaticamente de carregar a bateria assim que se atinja a carga máxima.

Tipos de Carregamento

Existem varios modos de carregamento diferentes. Esses tipos de carregamentos podem ser:

- Carga rápida;
Neste modo não existe monitorização da tensão em cada célula. Por não fazer a verificação torna todo o processo mais rápido. Contudo as tensões entre células não estarão equilibradas.
- Balanceamento;
Este modo é o mais seguro para carregar baterias LIPO. Neste modo, o carregador faz a monitorização da tensão de cada uma das células da bateria LIPO. Ao mesmo tempo que carrega cada uma das células, o carregador tenta manter sempre o mesmo nível de tensão nas restantes células.
- Descarga;
Neste modo a tensão é retirada lentamente da bateria. Contudo, a tensão entre células ficará desequilibradas.
- Armazenamento;
Este é o modo utilizado para guardar uma bateria por um considerável período de tempo. O carregador baixa a tensão de cada célula para um nível equilibrado entre os 3,8V e os 3,85V. O armazenamento é importante porque a bateria não pode estar demasiado descarregada e acabar por ficar inutilizada, nem pode ficar demasiado cheia e inchar. Ao inchar a bateria vai perder as suas características.

5.9.5 Cabo de Balanceamento

Nas baterias existem dois cabos diferentes. Um deles tem uma ficha XT60 e é usado para alimentar o RPA. O outro cabo é chamado de “*cabo de balanceamento*”.

Este tipo de cabo é usado essencialmente para garantir que ao carregar a bateria, a tensão é repartida por todas as células de igual modo. Por permitir “balancear” a tensão entre as células, é então chamado de *cabo de balanceamento*.

De forma a garantir o balanceamento entre as células, é extremamente importante ligar esse cabo ao carregador, antes de iniciar a carga.

A quantidade de fios no cabos de balanceamento varia consoante a quantidade de células. Uma bateria 2S tem no seu cabo de balanceamento, 3 fios. Esse valor vai aumentado uma unidade por cada célula adicionada à bateria. Por esse motivo, os carregadores de baterias LIPO têm entradas específicas para cada uma das configurações de células.

Outra das funções do cabo de balanceamento é monitorizar a tensão presente na bateria. Dessa forma, antes do voo é possível conectar um pequeno dispositivo com um display e um buzzer para fazer o monitoramento e dar o alarme caso a bateria atinja a tensão crítica. Isto ajuda o piloto a perceber que deve aterrar o aparelho o mais rápido possível para não danificar o aparelho.

5.9.6 Cuidados e Precauções

As baterias LIPO são extremamente poderosas e fornecem uma grande quantidade de energia em relação ao seu peso. Infelizmente estas também pode-se tornar perigosas caso não haja alguns cuidados básicos.

Os cuidados básicos neste tipo de baterias não deve ser negligenciado. Além de poder danificar irreparavelmente a bateria, também existe o perigo de a bateria causar danos físicos e materiais.

Os cuidados básicos de forma a evitar incêndios são:

- Carregamento em local à prova de incêndio;

Deve ser escolhido um local onde seja evitada a propagação de fogo em caso de incêndio. Uma opção simples é carregar a bateria dentro de um saco “LIPO-SAFE”³².

- Transporte e acondicionamento;

O transporte e acondicionamento da bateria deve ser feito com recurso a um saco LIPO-SAFE. Também nunca se deve deixar a bateria ao sol.

³² É um saco anti-chama usado para transporte e acondicionamento de baterias LIPO.

- Carregamento;
O carregamento deve ser realizado lentamente. Idealmente a 1C ou a um valor inferior. O carregamento deve ser supervisionado e deve ser verificado se a bateria fica quente ou se incha³³.
- Nunca pegar na bateria pelos cabos;
Os fios da bateria estão unidos por juntas de solda que podem facilmente se soltar e causar um curto-circuito.
- Tempo de espera antes de carregar;
A bateria não deve ser carregada logo após o seu uso. Deve ser aguardado um período de tempo confortável de forma a garantir que a mesma já se encontra fria.
- Bateria danificada;
Nunca tentar carregar uma bateria danificada.

Utilização

As baterias LIPO têm pior desempenho no tempo frio. As baixas temperaturas provocam uma menor taxa de descarga. Contudo, o tempo excessivamente quente também pode provocar danos no desempenho e na bateria. Idealmente, as baterias LIPO tem melhor desempenho em ambientes entre os 30°C e 60°C.

Deve também ser monitorizada a tensão da bateria de forma a que nenhuma célula tenha uma discrepância excessivamente alta de tensão em relação às outras. Caso isso aconteça, é sinal de que a bateria pode estar danificada.

Deve ser colocado um sinalizador de baixa tensão, de forma a alertar o piloto que a bateria tem a tensão inferior a 3,6V. Mal o alarme seja dado, o piloto deve aterrar o RPA.

Ressuscitar Baterias e Tempo de Vida

Quando uma bateria LIPO é descarregada mais do que a sua tensão mínima de funcionamento, existe o risco de ficar inutilizada permanentemente. Nos carregadores mais modernos, mesmo que tente carregar normalmente a bateria com a tensão abaixo do seu limite vai-se tornar numa missão impossível. Embora o procedimento correcto seja

³³ A bateria incha devido ao gás aprisionado nas células. Embora o surgimento de gás seja um processo normal neste tipo de baterias, todos os danos sofridos pela bateria vão aumentar o volume de gás. Infelizmente este é um processo irreversível e não deve ser tentado reparar essa situação.

descartar a bateria, caso essa descarga excessiva tenha acontecido apenas a alguns minutos³⁴, é possível recuperar a mesma.

Devo alertar que todo o procedimento de ressuscitar uma bateria é feito apenas por conta e risco do leitor.

O procedimento passa por carregar a bateria como se fosse uma única célula no modo NiMH (Nickel- Metal Hydride). Deve para isso ser desligado o cabo de balanceamento.

O carregamento deve de terminar na altura que atingir o limite mínimo de tensão para a bateria em questão. Normalmente é calculado o valor de:

$$\text{Tensão mínima} = 3,4V \times \text{número de células da bateria LIPO}$$

Embora muitas das vezes seja possível trazer de volta a bateria, é provável que a mesma nunca mais venha a ter o mesmo desempenho.

Armazenamento e Transporte

De forma a garantir a segurança e o bom estado das baterias LIPO, estas devem de ser armazenadas e transportadas respeitando alguns cuidados básicos.

Esses cuidados são:

- Armazenar a bateria após a ter colocado no modo “Storage”;

Os carregadores de baterias LIPO têm um modo que coloca a bateria a uma tensão entre 3,8V e 3,85V por célula. O que acontece na verdade é que a bateria é colocada aproximadamente a meia carga. Caso a carga esteja demasiado baixa, pode danificar permanentemente a bateria. Caso esteja carregada por completo, vai inchar a bateria e retirar-lhe desempenho, além de a tornar perigosa.

- Armazenar à temperatura ambiente;

Temperaturas extremas podem danificar a bateria.

- Guardar a bateria num saco LIPO-SAFE.

³⁴ Com o tempo a bateria oxida as células e causa a redução de desempenho permanente.

Este tipo de saco garante que em caso de uma bateria se incendiar, o fogo vai-se manter contido no saco anti chama.

- Tapar os conectores de alimentação.

De forma a evitar curtos-circuitos deve-se tapar os conectores de alimentação da bateria quer seja no transporte como para o armazenamento.

Procedimento em Caso de Incêndio

Caso a bateria LIPO entre em combustão, o mais importante inicialmente é manter a calma. Caso haja a oportunidade e sempre que a segurança esteja garantida deve-se proceder da seguinte forma:

- Desconectar a bateria do aparelho ao qual ela esteja ligada;
- Nunca tentar usar água para apagar o fogo;
- Caso exista no local areia, deve ser utilizada para cobrir as chamas;
- Deve-se evitar ao máximo respirar o fumo;
- Deve-se aguardar até que os restos da bateria queimada fiquem frios para a remover do local.

5.10 Global Navigation Satellite System

Este é um equipamento que ganha uma maior importância quando aplicado a um VANT. Isto porque permitirá à RPA:

- Realizar missões;
- Manter a sua posição num determinado ponto;
- Evitar um determinada zona através do geofencing³⁵.

Dessa forma, o VANT poderá levantar voo, fazer a missão passando por diversos pontos pré-definidos e no fim retornar ao ponto de onde descolou.

O chip do GPS mais usado actualmente é o Neo M8N da Ublox. Este modulo utiliza a recepção simultânea de vários sistemas GNSS:

- GPS (USA);

³⁵ Funciona como uma barreira virtual que impede os os equipamentos a possam ultrapassar. Isto é extremamente útil quando se pretende evitar o voo em zonas com controlo de trafego aéreo.

- Galileo (Europa);
- BeiDou (China);
- GLONASS (Rússia).

Este também tem uma excelente precisão de posicionamento até mesmo em locais com fraco sinal ou urbanizados, além de baixos consumos de energia.

Os módulos com este chip também são relativamente acessíveis e o seu chip é actualizável, o que faz dele na primeira escolha para a aplicação ao RPA.

5.11 Buzzer

Existem vários Buzzers presentes nos multirotores, cada um com funções diferentes. A sua função poderá ser:

- Alarme de baixa tensão;
- Localização em caso de perda;
- Informação sonora do controlador de voo;

Podemos encontrar este equipamento:

- Conectado à bateria;
A sua função é avisar o piloto que a tensão da bateria se encontra no mínimo estabelecido e o aparelho deve aterrar o mais rápido possível.
- Conectado ao controlador de bordo;
Em caso de perda do aparelho e após um determinado período de tempo, este dispositivo vai emitir um sinal sonoro de forma a ser localizado.
- Nos ESC;
Auxilia o buzzer do controlador de bordo. Informa com um sinal sonoro caso seja conectado ao configurador de voo.
- Nos motores.
Embora extremamente raro, alguns motores também vêm equipados com pequenos buzzers de forma a sinalizar alguma anomalia com o motor.

5.12 Hélices

Comumente chamadas de PROPS (propeller) as hélices são o que cria a sustentação da aeronave no ar. Estas são colocadas nos motores do RPA. Contudo a sua fixação não é permanente. Através da rotação dos motores as hélices geram impulsão ao mover o ar. Quanto mais rápido a hélice girar, mais ar vai mover e por sua vez a impulsão será maior. Ao ponto em que uma almofada de ar é criada de forma a levar o multirotor é chamado de Hover point (ponto de flutuação).

É normalmente por este componente que se começa quando queremos montar um multirotor. A razão é que a maior parte dos componentes necessita imperativamente de ser compatível com as hélices. Não se usa uma frame pequena numa estrutura grande, não se usa motores grandes com umas hélices pequenas. As hélices têm influência directa e indirecta nos outros componentes:

- Na escolha da frame;

Uma hélice influencia directamente a escolha do tamanho da estrutura pois não é possível colocar umas hélices grandes numa estrutura pequena e vice-versa. Por esse motivo o seu tamanho deve de ser compatível.

- Dos motores;

Uma hélice influencia directamente a escolha do tamanho dos motores pois estes terão que ter um torque suficiente ou uma maior velocidade de forma a levar a aeronave.

- Da bateria;

A bateria deve suportar o fluxo de corrente necessário aos motores.

- Do controlador de voo;

Indirectamente também influencia o controlador de voo porque necessita de suportar determinados picos de corrente.

- Do peso do conjunto.

- A impulsão gerada pelas hélices deve ser maior do que o peso do RPA.

Escolha

Existem variedades de escolha de hélices para todos os gostos. Contudo a escolha deve ser sempre direccionada através do tamanho e do passo das hélices³⁶. Também convém ter a certeza de que as hélices escolhidas são devidamente balanceadas, e qual o seu AOA (Angle of Attack).

Temos que ter atenção que, quando um motor necessita de trabalhar mais para conseguir a rotação, esse motor está a consumir muita energia. Por esse motivo deve-se ter essencialmente a preocupação de conseguir um equilíbrio entre a impulsão e a corrente necessária para a propulsão.

Passos

Como já foi dito, existem inúmeras hélices de variados tamanhos e passos. O seu comprimento é calculado tendo em consideração a circunferência que a hélice virtualmente cria ao girar.

Já o passo pode ser definido como a distância de deslocamento de uma única rotação sobre o seu eixo. Por esse motivo, quanto maior for a hélice, maior a energia necessária para a girar. Na figura seguinte é possível observar um exemplo do comprimento e do passo numa hélice.



Figura 18: Exemplo do passo e comprimento

Nos multirrotos usa-se obrigatoriamente dois tipos de hélices. A única e grande diferença entre elas é que, um dos tipos de hélice tem o passo invertido. Isso acontece de forma a acompanhar os motores que giram em sentido contrário, tal como falado anteriormente. Dessa forma, no mesmo multirrotor, temos hélices em que a rotação será

³⁶ É a distância que a hélice consegue deslocar-se sobre o seu eixo até concluir uma volta.

no sentido do relógio, como também temos hélices em que a rotação será realizada no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio.

Uma hélice com uma passo mais alto irá mover uma maior quantidade de ar. Contudo esta também poderá causar uma maior turbulência. Quanto maior a área de superfície, maior será a massa de ar que a hélice poderá mover e assim gerar uma maior impulsão. Contudo, o consumo de corrente será também mais elevado.

É por esse motivo que os projectistas de hélices necessitam de encontrar um equilíbrio entre a impulsão e o arrasto, onde a forma da hélice tem um papel importante.

Balanceamento

Embora a maior parte das hélices dos dias de hoje já venha pré calibradas, pode haver casos em que seja necessário calibrar as hélices. Existem imensos tutoriais na internet que ensinam a criar uma estrutura de balanceamento de props. Contudo, é ainda mais importante referir a necessidade de as ter calibradas. Este é essencial para uma boa performance. Caso as hélices não estejam calibradas o aparelho irá sofrer inúmeras vibrações que o controlador de voo irá tentar corrigir aumentando assim o erro e ampliando as mesmas.

Quando menos atrito as props tiverem, menor será a quantidade de vibrações e por sua vez os acelerómetros vão apresentar valores mais precisos.

Peso

Também o peso da hélice pode influenciar o desempenho do RPA. Uma hélice maior é possivelmente uma hélice mais pesada. Esse peso mais elevado resulta numa maior carga de torque que só será suportada por um motor com um torque compatível. Já uma hélice mais leve tem um momento de inercia menor, o que permite uma alteração de RPM rápida, criando a sensação do RPA ser mais responsivo.

Materiais

As hélices podem ser construídas com diversos materiais diferentes, onde cada tipo de material oferece características únicas:

- Fibra de carbono;

Uma boa opção quando necessitamos de leveza e rigidez. Contudo não é aconselhável para os iniciantes.

- Madeira;
Menos resistentes do que as de fibra de carbono, mas com bom desempenho.
- Composto de plástico.
Boa durabilidade e com uma variedade maior de formas. Algumas hélices tem uma resistência a impactos surpreendente. São mais aconselhadas para iniciantes e o preço é extremamente baixo.

As Props em fibra de carbono são extremamente leves e resistentes, o que as torna numa boa opção para uso num multirotor. Contudo e como já foi referido, estas podem não ser a melhor opção para iniciantes.

Isto deve-se ao facto que as hélices são construídas para ser o elo mais fraco na aeronave. É preferível que a aeronave caia e parta as hélices, do que a hélice não partir e o esforço do motor cause danos irreparáveis à aeronave. Por isso mesmo é que as hélices de plástico são feitas para partir. São baratas, facilmente substituíveis, partem, contudo, têm uma resistência a choques considerável.

Já as hélices de fibra de carbono são extremamente resistentes a impactos. Isto resulta num maior risco de danificar um motor, ou um maior risco de magoar seriamente alguém. As hélices de fibra de carbono a girar são como facas e deve-se ter muito cuidado, mantendo uma distância de segurança. Contudo, as mesmas permitem desempenhos fenomenais e menores vibrações que outras hélices.

Número de Laminas

O número de laminas por hélice tem influência no desempenho da aeronave como também no consumo de energia. As hélices de 3 laminas tem maior aderência ao ar pois existe uma maior área de superfície. Contudo estas tem um consumo maior de energia. Já as hélices de duas laminas são igualmente comuns nos multirotores, contudo estas são a escolha de quem pretende voar um RPA de médio/ grande porte. Outra das justificações é que, é mais difícil de encontrar hélices de 3 laminas em fibra de carbono.

Embora existam hélices com um maior número de laminas, as mesmas não são tão utilizadas.

5.13 Gimbal

Este equipamento é responsável por auxiliar na captação de imagens, garantindo que a mesma se mantém estável no plano definido. Visto que o RPA está constantemente inclinado de forma a movimentar-se, este equipamento revela-se uma ferramenta de grande utilidade para a captação de imagens.

A sua utilidade ganha ainda mais relevo quando aplicado a tarefas de inspecção. Dessa forma, todas as imagens captadas terão uma maior qualidade e sem vibrações devido à estabilidade fornecida por este pequeno acessório.

O gimbal ajuda a eliminar:

- Trepidação e efeitos causados por rajadas de vento;
- Vibrações dos motores e o “efeito geleia” na imagem;
- Inclinação da imagem devido à constante inclinação do RPA.

Este equipamento pode ser de 3 tipos:

- 1 eixo;

Este tipo de gimbal só tem um motor que auxilia a câmara a manter-se na posição horizontal.

- 2 eixos;

Esta solução é das mais comuns e auxilia a câmara a manter-se na posição horizontal e vertical.

- 3 eixos;

Esta é a solução que oferece melhor estabilidade de imagem. Além de garantir que a imagem se mantém fixa no plano horizontal e vertical, também auxilia na correcção de inclinações.

O seu modo de funcionamento é relativamente simples. À estrutura que suporta a câmara são adicionados os motores brushless, repartidos pelos respectivos eixos. Estes motores estão ligados a uma placa dedicada, com a função de verificar a sua posição em relação aos respectivos planos. Ao perceber que não se encontra nivelada, a placa emite a ordem aos motores para corrigirem a sua posição.

Com isto é garantido que as imagens das fotos e vídeo não ficam tremidas nem sofrem solavancos.

Gimbal de Segunda Geração

Os Gimbal de primeira geração eram constituídos por uma:

- Motores brushless;
- IMU (Inertial Measurement Unit) na câmera.

Isto permite a captação de imagens de uma forma suave e uma orientação precisa. Contudo, tem alguns problemas devido à ausência da medição directa da posição dos motores.

Já com o Gimbal de segunda geração, é composto:

- Motores brushless;
- IMU na câmera;
- Segundo IMU.

Com a adição do segundo IMU o dispositivo consegue obter:

- Uma precisão mais elevada;
- Um maior alcance operacional no movimento da câmera;
- Maior estabilidade.

5.14 Desvantagens do Gimbal

Um dos problemas do gimbal é a adição de peso que acrescenta ao RPA. Isto porque além da estrutura, motores e placa controladora, também é necessário ter em consideração que é necessário usar mais energia de forma a alimentar o equipamento. Por esse motivo, existe a necessidade de adquirir uma bateria com maior capacidade (e peso), ou adquirir uma bateria dedicada para o sistema do gimbal.

5.15 Trem de Aterragem

Normalmente o trem de aterragem e a estrutura são a mesma coisa. Isto porque muitas das vezes os pés são fixos e fazem parte da estrutura do RPA. Contudo, existem também trens de aterragem com pequenos servo motores que permitem que os pés sejam recolhidos durante o voo. Isto permite à aeronave reduzir o seu atrito no ar. Dessa forma é possível reduzir vibrações, poupar bateria e ganhar mais tempo de voo.

Software de Apoio

Capítulo 6

6 Software Configurador de Voo

Imaginemos que existe um desenvolvedor de software que tem uma ideia muito boa para o Hobby do RC. Então esse desenvolvedor começa a trabalhar nesse projecto e quanto tem uma versão funcional ele partilha-a com a comunidade. De forma a conseguir criar um produto melhor, outros desenvolvedores de software podem também juntar-se ao projecto como uma equipa. O que acontece de seguida é que com o desenvolvimento em equipa o programa fica melhor, surgem novas versões com melhorias, os produtos são testados antes de serem publicados, encontrados Bugs no software e as versões são revistas inúmeras vezes.

A quantidade de pessoas a usar o software vai aumentando e mais pessoas vão sendo adicionadas ao trabalho de equipa. Os utilizadores começam a fazer pedidos e a dar opiniões de forma a melhorar o produto e adicionar funcionalidades.

O programa vai sendo aperfeiçoado ao longo do tempo, limando pequenos defeitos enquanto que a comunidade vai acompanhando a sua evolução.

É importante relevar que neste tipo de projectos os desenvolvedores de software não são pagos. Eles oferecem o seu tempo livremente para ajudar no melhoramento de algo em que acreditam.

Como o software é Open Source, qualquer um pode copiar e usar o programa em questão. Então, por vezes surgem desenvolvedores que tem uma ideia que não se enquadra com o percurso que o projecto está a tomar e copiam o código do programa, usando-o numa versão sua. Aí ele vai aplicar as suas modificações ao programa e tentar conseguir apoio de programadores que queiram ajudar a desenvolver a nova ideia do software.

Dessa forma, tanto a versão original continua em desenvolvimento, como também a nova ideia segue o seu caminho no seu próprio desenvolvimento.

Eventualmente, todas as novas ideias dessa nova equipa de desenvolvimento podem fundir-se novamente à equipe inicial e formar assim um programa ainda mais completo. Este é um processo que vai sendo realizado ao longo do tempo, onde são criados novos grupos que criam novas versões e mais tarde, juntam o seu trabalho à versão original.

Contudo, pode também acontecer que um desenvolvedor pode ter uma fantástica ideia e também criar a sua versão do programa. Contudo, essa nova ideia pode ser tão interessante que, os desenvolvedores que estavam a trabalhar na ideia original, queiram dispensar o seu tempo nesse projecto em vez do projecto original.

Os desenvolvedores não são pagos, então preferem usar o seu tempo em algo que achem interessante. Por esse motivo pode mesmo acontecer que a maioria dos desenvolvedores abandone o projecto original, o que fará com que não tenha recursos suficientes para continuar o seu desenvolvimento e o projecto acaba por morrer.

Contudo existe agora um novo projecto, mas desenvolvido com novas ideias e com o que existia de bom dos projectos anteriores. Dessa forma, o programa com mais desenvolvedores irá continuar o seu percurso e evoluído. Por vezes morre, mas existe normalmente um programa similar que continua o desenvolvimento.

No mundo dos softwares Open Source de drones, o primeiro projecto a aparecer foi o OpenPilot. Este programa corria nas boards CC3D e eram revolucionarias na altura em que surgiram. Embora nos dias de hoje o OpenPilot não exista, recentemente uma equipa pegou no código e conceitos deste programa e reiniciou o seu desenvolvimento. Dessa forma hoje em dia é possível encontrá-lo como LibrePilot.

O BaseFlight é um exemplo de um programa que continua em desenvolvimento, mas permitiu a criação de um novo projecto que trouxe muitas e grandes inovações ao mundo dos DIY drones. O seu nome é CleanFlight.

Contudo, também esse projecto chegou ao fim e hoje existem dois novos programas baseados no CleanFlight. Um desses programas é o BetaFlight. Este é um programa famoso e o seu desenvolvimento concentra-se nos Drone Racers (Drones de corrida). Já o segundo programa, é o INAV. Este programa está direccionado para os drones de passeio. Dessa forma os seus desenvolvedores concentram-se em que o aparelho seja estável, use o GPS e consiga fazer missões [22] [23].

6.1 ArduPilot e a sua Relação com o Pixhawk

O APM (ArduPilotMega) remonta aos primórdios das controladoras de voo. Este hardware começou a ser desenvolvido em 2007 e tem como base inicial as famosas placas de arduino. Com a evolução do hardware APM e da *3DRobotics*³⁷, esse projecto foi sendo aprimorado até que em 2013 foi lançada a revolucionária controladora de voo Pixhawk.

Embora as controladoras de voo APM fossem placas fantásticas, como também receberam inúmeros prémios e distinções pela comunidade RC, o seu hardware tornou-se limitado para lidar com todos os sensores necessários nos dias de hoje.

As suas limitações de processamento e memória como também a sua reduzida velocidade acabaram por impedir a continuação do projecto. Em sua substituição surge então a Pixhawk com os seus 32 bits em vez de 8 bits e um reduzido espaço para linhas de código.

Esta nova controladora de voo oferecia um processador mais avançado, um sistema operacional em tempo real (NuttX), tecnologia de sensores produzidos pela *ST Microelectronics*, flexibilidade, confiança e performance excepcional.

Embora as controladoras de voo Pixhawk fossem inicialmente produzidas e comercializadas pela *3D Robotics*, estes são projectos Open Source e por esse motivo, toda a informação sobre o projecto está disponível a qualquer um que deseje reproduzir o hardware ou realizar modificações.

Devido ao código aberto surgiram diversas empresas com as suas versões da controladora, como também surgiram os clones chineses. Embora alguns tenham uma qualidade questionável, outros conseguem surpreender pela positiva oferecendo não só componentes de grande qualidade como também melhorias à controladora original. Ao conectar ao *OpenPilot*, os clones são detectados automaticamente [23] [24] [25].

6.1.1 Evolução do Pixhawk

O projecto *Pixhawk* é um projecto sério que envolve não só empresas como entusiastas dedicados. Actualmente, o *Pixhawk 2.1* é a controladora Open Source mais poderosa do mercado. Esta além de poderosos processadores e a possibilidade de adicionar um processador *INTEL Edison*, tem também redundância a triplicar de sensores

³⁷ Esta empresa é a maior fabricante de drones dos Estados Unidos da America e já foi a líder do mercado. Esta só foi ultrapassada pela DJI devido ao lançamento de um drone que tinha problemas de durabilidade de bateria e um GPS relativamente lento.

de altíssima qualidade. Tem ainda uma versatilidade ímpar que lhe permite ser aplicada a um avião RC como também a um drone, ou a um carro, a um barco ou até a um submarino rádio controlo. Por esse motivo, este é um adversário de peso capaz de fazer frente à gigante chinesa DJI.

Actualmente ainda não existem clones do Pixhawk 2.1, mas existem clones que afirmam ser o Pixhawk 4 quando na verdade são versões das placas Pixhawk 1. Falta ainda referir que ao adquirir uma controladora original o utilizador está a apoiar o projecto e tem suporte total do produto como também terá um produto de excelente qualidade.

6.1.2 Camadas de Software

O Software que corre no Pixhawk está dividido em três camadas:

- Operational System;

Este sistema operativo é chamado de NuttX e é um sistema alicerce que permite o acesso às funções do hardware.

- Middleware;

Esta parte do software é responsável pelas funções de controlo e de drivers para os periféricos como também é um intermediador de requisições de objectos³⁸.

- Flight stack;

Esta última camada é a que efectivamente controla tudo na controladora. Existe a possibilidade de escolher entre duas alternativas sendo elas o *APM Flight Stack* ou o *PX4 Flight Stack*. Estas alternativas são desenvolvidas por equipas distintas e por esse motivo também se encontram em níveis diferentes de desenvolvimento. Cabe ao utilizador escolher a que prefere na altura de actualizar a controladora de voo.

³⁸ De forma a conseguir uma comunicação assíncrona entre as diferentes tarefas individuais.

6.2 ArduPilot

O software configurador da controladora Pixhawk é o ArduPilot. Este é o software Open Source de piloto automático mais avançado da actualidade. Este tem uma grande comunidade de desenvolvedores, o que lhe permite ser um software extremamente completo e fiável. Este foi desenvolvido por engenheiros e cientistas de computação e é o único com versões diferentes para cada tipo de veículo radio controlo imaginável. As suas ferramentas avançadas de registo de dados, de análise e simulação como também a compatibilidade com uma vasta gama de periféricos tornam este software no preferido dos utilizadores de veículos radio controlo.

Este software é também usado por grandes instituições para testes e desenvolvimento, tais como:

- NASA;
- Intel;
- Boeing.

Este software permite a programação de missões autónomas tendo também incorporada a informação sobre restrições de voo. Dessa forma, a geofence impede os pilotos de transgredir regras de pilotagem de RPA's.

6.3 Outros Softwares Configuradores

Como já foi referido, existem outros configuradores Open Source famosos e que ganharam o seu espaço em determinados tipos de RPA. Esses softwares são:

- BetaFlight;

Esta é a melhor opção de quem quer um software Open Source para Drone Racers. Estes está optimizado para este desporto e tem constantes actualizações onde as alterações pedidas pela comunidade são realmente aplicadas.

- INAV.

Embora não tenha tanta adesão como o BetaFlight, este software destaca-se por ser direccionado para os utilizadores que não querem “correr” com o seu drone. Dessa forma, este foca-se nas funcionalidades do GPS permitindo que o aparelho seja usado em

missões, mantenha o seu posicionamento ou retorne para o local de descolagem. Por esse motivo, esta é a melhor opção para quem quer “passear” com o seu drone.

7 Simuladores de Voo

Pilotar um drone pode-se tornar numa tarefa complicada. Isto porque é possível movimentar o drone em vários sentidos e facilmente o piloto pode perder o sentido em que o drone está a voar. Voar para a frente e para trás para a esquerda e para a direita é relativamente simples. Contudo esta tarefa fica mais complicada quando a frente do drone deixa de coincidir com a posição que julgávamos ser a frente do veículo. Por esse motivo, modos como os de manter a direção, altitude e posição são uteis para realizar correcções à orientação. Outra das formas de conseguir uma melhor orientação, consiste no uso de óculos FPV, de forma a que o piloto veja sempre para onde o RPA está virado.

A maioria dos praticantes rejeita essas ferramentas como boas práticas na pilotagem de um drone. Em vez disso, defendem que os pilotos devem desenvolver um sentido de orientação 3D de forma a pilotar o drone esteja ele na direção que estiver.

Outro problema com o controlo de drones é que se alguma coisa correr mal durante o voo é possível que o drone fique perdido ou até podemos magoar alguém.

De forma a criar pilotos mais experientes foram criados simuladores dos mais diversos tipos de drones. Dessa forma, mesmo estando mau tempo no exterior, os amantes do RC podem conectar o seu radio controlo ao computador e simular um voo através do ecrã.

Embora a simulação não seja exactamente igual à experiência de voar um drone, os utilizadores podem ficar com uma ideia bastante aproximada do que é pilotar um drone. A simulação permite testar diferentes drones, como também permite experienciar voos em diversas condições meteorológicas.

É sempre uma boa ideia os iniciantes de RC praticarem um pouco num simulador antes de fazerem o seu voo inaugural num drone real. Essencialmente existem dois tipos de simuladores de drones:

- Simuladores drone Racers;

São simuladores projectados para ajudar a praticar corridas onde a vista principal é em FPV. Como este tipo de drones não usa nenhum sistema de estabilização de voo, praticar este tipo de simulador é um bom exercício e evita que os pilotos criem maus hábitos.

- Simuladores de drones de passeio.

São simuladores criados para refinar o manuseio de drones com câmara, de forma a ajudar a obter melhores fotos e vídeos.

Desenvolvimento de um Hexacóptero

Capítulo 7

8 Montagem de um Hexacóptero

Nos dias de hoje montar o nosso próprio drone deixou de ser ficção. Dessa forma, de seguida será demonstrada a montagem de um Hexacóptero de grandes dimensões com a capacidade de ser utilizado como um VANT e realizar missões de inspecção em infra-estruturas de produção de energia.

8.1 Montagem da Estrutura

A montagem da estrutura é a primeira parte de todo o processo de montagem do drone. Por esta ser o esqueleto que vai suportar todos os componentes, merece cuidado acrescido na sua montagem, tendo a certeza de que cada peça vai para o local exacto.



Figura 19: Peças da estrutura em fibra de Carbono

Um dos cuidados a ter é garantir a integridade de todos os componentes. Este equipamento está sujeito a diversas fontes de possíveis vibração, quer seja devido aos motores, às constantes mudanças de direção, ou até mesmo devida a aterragens. Por esse motivo e de forma a evitar a desintegração da estrutura, todos os parafusos foram fixados com cola azul especial para o efeito que garante uma melhor fixação.

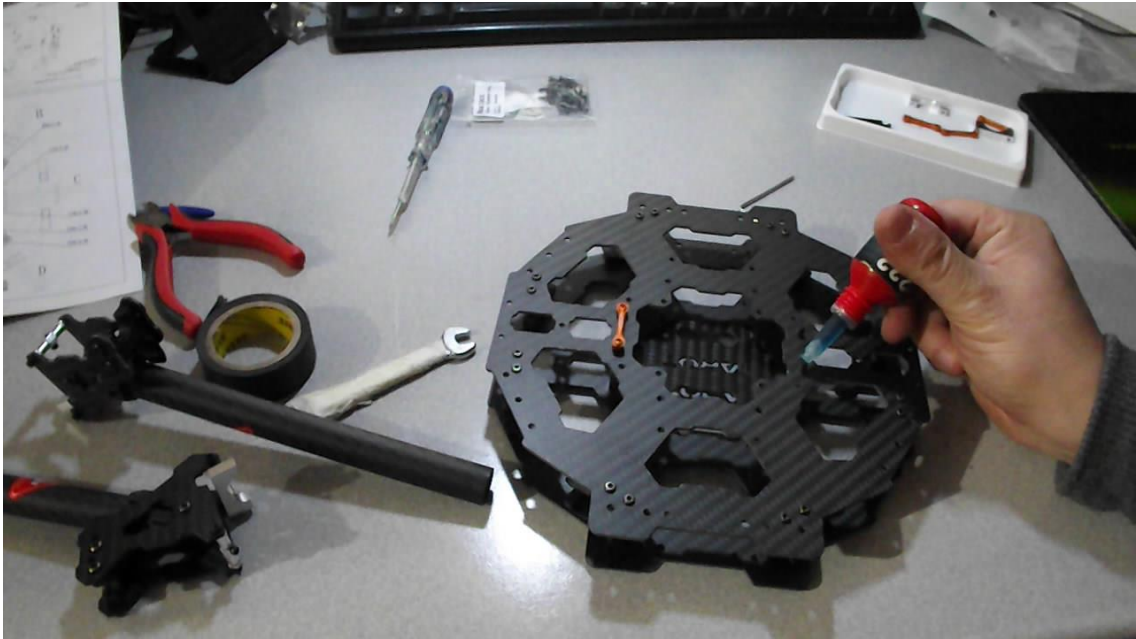


Figura 20: Fixação dos parafusos

Também foi adicionado um trem de aterragem retráctil à estrutura. Assim é possível retrainr o trem de aterragem quando a aeronave está em voo, reduzindo dessa forma o atrito e poupando bateria.



Figura 21: Trem de aterragem

8.2 Criação de Uma Caixa de Testes

Para testar o trem de aterram foi criada uma caixa de teste com o auxílio de um arduíno. Dessa forma pode ensaiar-se o movimento do trem de aterragem retráctil sem que para isso fosse necessário descolar.

O código do arduíno foi o seguinte:

```
#include <Servo.h>

Servo movimentoservo;
// Criação do objecto servo para controlar o movimento do trem de aterragem.

int posicao = 0;
// a variavel que vai guardar a posição do servo

void setup() {
  movimentoservo.attach(6);
  // o pino onde vai ser ligado o servo - Pino 6~
}

void loop() {
  for (posicao = 0; posicao <= 180; posicao += 1) {
    // Para movimentar o trem de aterragem grau a grau dos 0 aos 180 graus

    movimentoservo.write(posicao);
    // manda o servo para a posição na variavel posicao

    delay(20);
    // Aguarda 20 milisegundos até o servo chegar à posição pretendida.
  }
  for (posicao = 180; posicao >= 0; posicao -= 1) {
    //Agora movimenta o trem de aterragem no sentido contrario
    //(dos 180 até aos 0 graus, baixando um grau de cada vez)

    movimentoservo.write(posicao);
    // Diz ao servo para movimentar-se até a posição da variavel posicao

    delay(20);
    // Aguarda 20 milisegundos até o servo chegar à posição pretendida.
  }
}
```

Figura 22: Código para a caixa de testes do trem de aterragem

Os motores foram colocados de uma forma diferente daquela para o qual a estrutura foi desenhada. Era suposto os motores ficarem com os seus fios expostos, de forma a serem fixos no ESC que deveria ser colocado em baixo do suporte do motor.

Contudo existem diversas razões para não seguir o desenho original.

- Proteger os motores;
- Melhor aspecto visual e um melhor centro de massa;
- A possibilidade de colocar LED de sinalização no local destinado aos ESC.

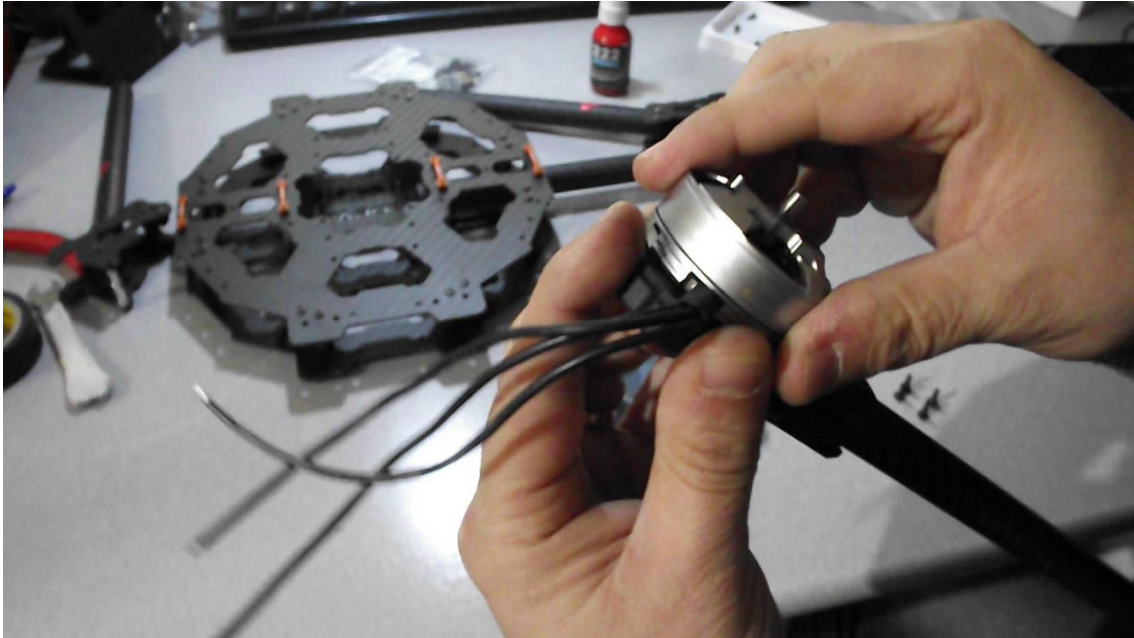


Figura 23: Colocação dos motores

Os fios dos motores foram colocados no interior do tubo de fibra de carbono, que por sua vez foram ligados aos ESC. Estes estão fixos à estrutura principal com a ajuda de uma peça desenhada para o efeito no Autodesk Inventor® e impressa numa impressora 3D. Contudo, para que a passagem dos fios fosse possível, foi necessário cortar uma parte da placa que suporta os motores e criar a referida peça.

8.3 Criação de Peças e Seus Benefícios

Embora houvesse alternativas na colocação dos componentes que evitavam o uso da impressora 3D, essas alternativas colocavam em risco a segurança dos componentes em caso de queda da aeronave.

De forma a utilizar este drone como um VANT surgiu a necessidade de otimizar o mais possível o desenho original da estrutura e obter ganhos com essas modificações.

Dessa forma foi criado algo novo e original obtendo vantagens na:

- Robustez;

Ao remover os ESC do local indicado pelo fabricante da estrutura foi possível não só concentrar mais o peso no seu centro de massa

como também permitiu ganhar protecção extra para os motores e ESC. Assim, os fios deixam de estar expostos e passam pelo interior do tubo em fibra de carbono.

Após a saída dos fios do tubo, estes são ligados aos ESC que estão fixos na placa central do aparelho. Para esse efeito foi criada uma placa de suporte que ajuda na refrigeração e ajuda na organização dos inúmeros fios da aeronave.

- **Equilíbrio;**
A colocação do peso num centro de massa mais concentrado permite ganhar equilíbrio e evita a criação de vibrações devido a correcções de posição.
- **Portabilidade;**
Foram criados suportes removíveis para os GPS's, Gimbal, GPS autónomo. Dessa forma é facilitado o transporte do aparelho até ao local onde irá iniciar a missão.
- **Refrigeração;**
O desenho das peças teve em atenção a refrigeração dos componentes. Dessa forma foram deixadas aberturas para a passagem de ar permitindo que o movimento do aparelho ajude na dissipação do calor.
- **Visual e partilha;**
O desenho das peças é único e original, dando ao aparelho o aspecto robusto e de respeito que merece. Contudo, juntando-me ao espírito de partilha entre a comunidade, todas as peças desenhadas vão ser partilhadas em plataformas de desenhos CAD. Assim, vai ser possível ajudar outros utilizadores a obter melhores desempenhos nos seus aparelhos.
- **Versatilidade;**
Foram criadas peças de suporte da camera FPV, como também para a placa PDB secundária, para os UBEC, GPS independente, Gimbal, para os dois GPS, para o BEC dos LED e os ESC. Isto permitiu obter ganhos na versatilidade. Dessa forma foi possível adicionar todos esses dispositivos que de outra forma seria muito

mais difícil de garantir uma boa fixação ou que teriam lugar para ser colocados.

- Legalidade.

A lei obriga a utilização de LED de sinalização para este tipo de drones. Ao remover os ESC do local definido pelo fabricante da estrutura, permitiu utilizar esse espaço para colocar os LED no local mais adequado e dentro da lei.



Figura 24: Peça de suporte dos ESC

Após a montagem da estrutura foram colocados os motores e identificados os seus sentidos de rotação.



Figura 25: Algumas das peças criadas

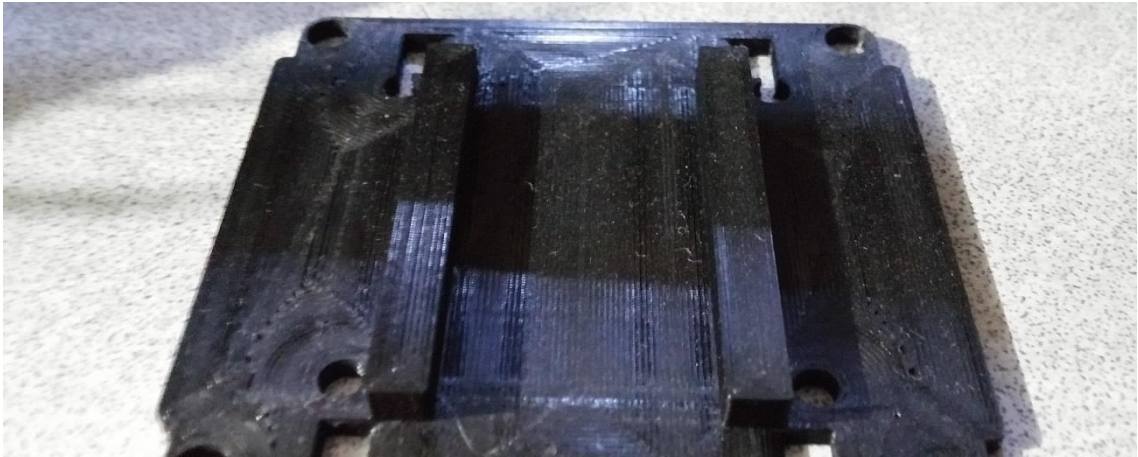


Figura 26: Protótipo do suporte do BEC para os LED

Todo o processo de criação foi planeado de forma a evitar o mínimo de falhas possíveis. Por esse motivo e devido à considerável quantidade de fios que inevitavelmente a criação de um hexacóptero gera, todos os locais susceptíveis de gerar confusão, foram devidamente identificados. Alguns dos componentes que mereceram especial atenção foram os fios, os ESC, os motores e as tensões de saída para cada componente.



Figura 27: Identificação de motores

8.4 Montagem da Electrónica

De seguida, toda a parte electrónica foi fixa à estrutura. Após a fixação dos motores, seguiu-se a preparação da estrutura para os ESC e a placa PDB. Como também

não poderia faltar, foi realizada uma medição e identificação dos fios condutores flexíveis.

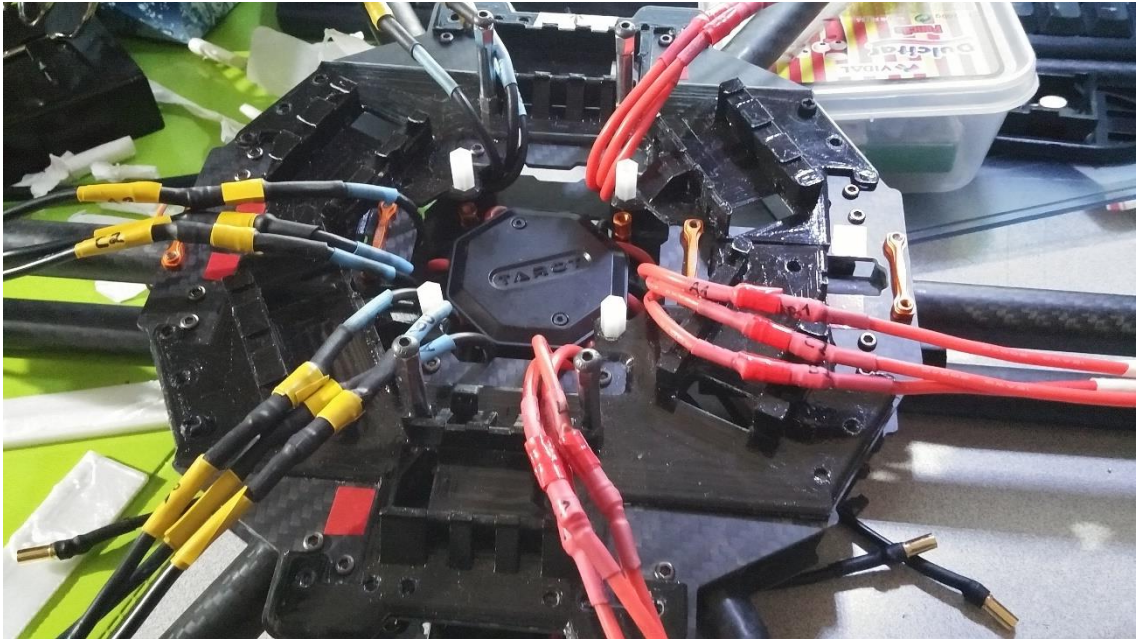


Figura 28: PDB ao centro e identificação de fios

Também foi preparado o suporte para a PDB do sistema secundário de energia. Este sistema é responsável por fornecer energia à controladora de voo caso o sistema primário falhe, como também é responsável pela alimentação de vários componentes não essenciais para o voo da aeronave.

Após a interligação entre estes componentes é necessário preparar o fornecimento de energia da aeronave. Dessa forma é necessário fixar o conector XT60 aos cabos que se ligam à PDB.



Figura 29: colocação do conector XT60

Nesta montagem pretende-se separar o fornecimento de energia dos motores dos equipamentos secundários. Dessa forma foi usada uma segunda PDB e diversos BEC de forma a fornecer o nível de tensão correcto aos diversos componentes secundários.

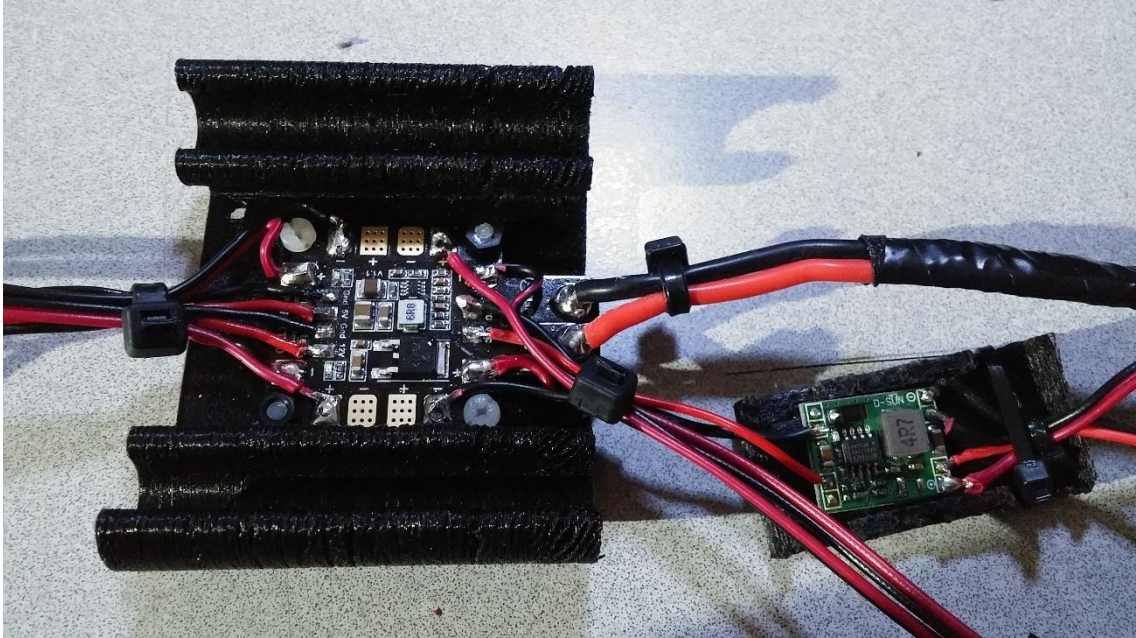


Figura 30: Estrutura de suporte do ESC secundário e UBEC

O passo seguinte é fixar a controladora de voo Pixhawk 2.1 à estrutura. Como os magnetómetros são influenciados por altas descargas de corrente. Os cabos foram revestidos com folha de alumínio na esperança de ajudar a prevenir problemas com o magnetómetro. Foi também necessário colocar os GPS a uma distância confortável das PDB. Isto porque cada um dos GPS tem incluído um magnetómetro para auxiliar na orientação do drone.



Figura 31: Montagem dos GPS e controladora de voo ao centro

Para a ligação de todos os componentes foi necessária a criação de cabos e de conectar os respectivos componentes com a tensão correcta. Por esse motivo foi necessária a consulta de *datasheets* dos componentes, de forma a assegurar o correcto funcionamento.

Devido à transmissão de vídeo e necessidade de tensões específicas, o sistema FPV foi um dos casos que mereceu especial atenção na criação dos cabos.

Para captação de imagem FPV foi escolhida uma câmara desenhada para o efeito, tendo para isso um bom WDR (Wide Dinamic Range).

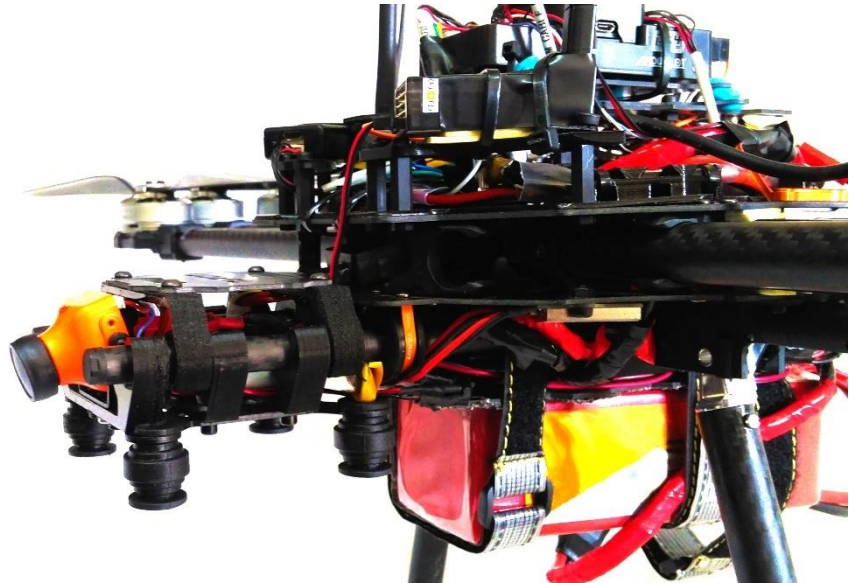


Figura 32: Câmera FPV

De forma a captar imagens com maior estabilidade foi adicionado um Gimbal de 3 eixos à aeronave.



Figura 33: Gimbal estabilizado com câmara para captação de imagens HD

Foi também adicionado o VTX, a antena e o sistema de telemetria. De forma a registar toda a informação de voo, foi adicionado um mini OSD.

Finalmente foi adicionado o receptor do rádio, fazendo o respectivo “bind” com o rádio.

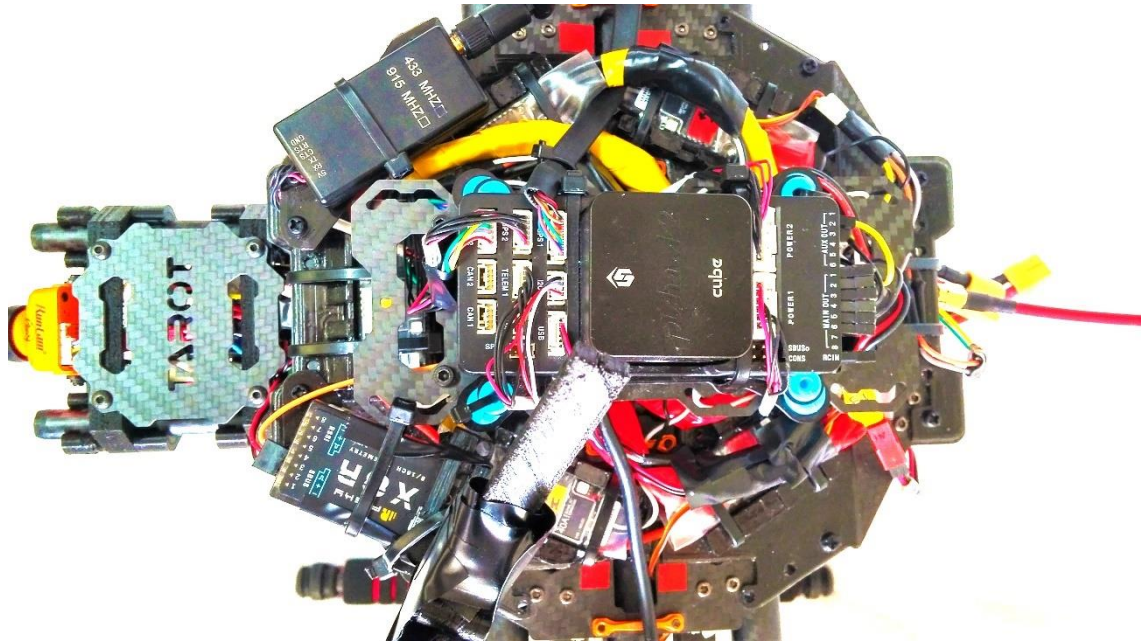


Figura 34: Controladora de voo no topo do aparelho

8.5 Esquemas de Ligação de Todos os Componentes

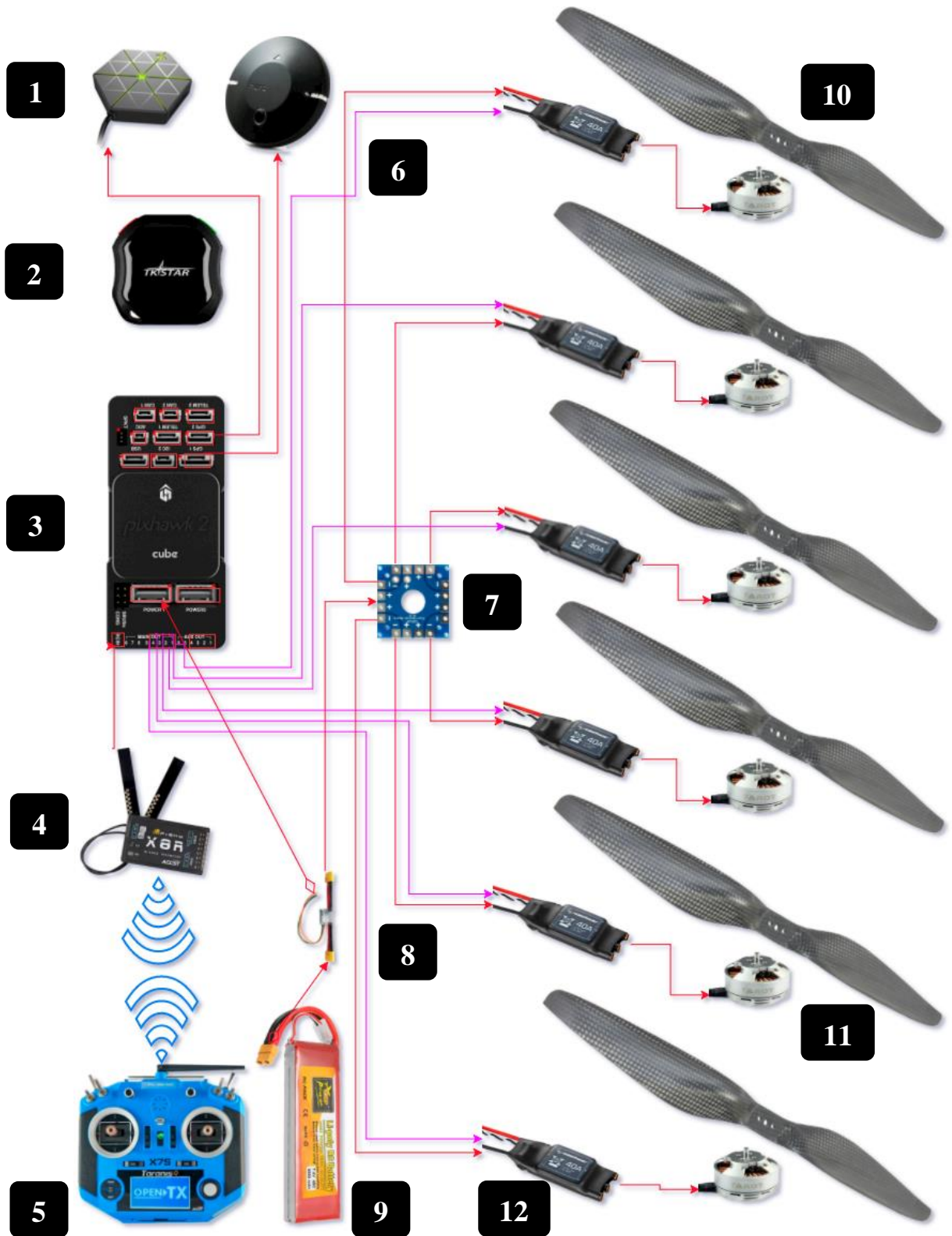


Figura 35: Alimentação Primária

Tabela 1: Lista componentes primários

- 1** GPS Secundário (para redundância de localização)
- 2** GPS de Rastreo com bateria independente (caso fique perdido)
- 3** Pixhawk 2.1 Edison (melhor controladora de voo do mercado)
- 4** Receptor de 16 canais (preparada para redundância de sinal)
- 5** Radio emissor (com *Open TX* e alertas de voz)
- 6** GPS primário (de grande precisão e com magnetómetro incluído)
- 7** PDB (Responsável por distribuir a energia)
- 8** Power Module (responsável por fornecer energia principal ao Pixhawk 2.1)
- 9** Bateria LIPO (6200 mAh de 6 células e 45C)
- 10** Props (em fibra de carbono e com 35 cm ponta-a-ponta)
- 11** Motor brushless (380KV e com buzzer interno)
- 12** ESC (com 40A *BLheli_32*, *DShot1200* e LED sinalizador)



Figura 36: Alimentação secundária

Tabela 2: Lista e componentes secundários

- 1** Telemetria 1 (para o PC comunicar em tempo real com o drone)
- 2** Telemetria 2 (para o Drone comunicar em tempo real com o PC)
- 3** VTX 5.8 GHz (para enviar imagem vídeo para os óculos de FPV)
- 4** Óculos FPV (para receber a imagem vídeo do VTX em tempo real)
- 5** Minim OSD (Para fornecer dados sobre o drone em tempo real)
- 6** Rum Cam Eagle 2 Pro (para captar a imagem “*vista de pássaro*”)
- 7** Pixhawk 2.1 Edison (com redundância tripla de IMU,s)
- 8** PDB secundária (distribui energia aos componentes secundários)
- 9** UBEC 12V (envia tensão regulada para os componentes)
- 10** Sistema GIMBAL (3 eixos rotativos para estabilização de imagem)
- 11** Monitor de bateria (com buzzer)
- 12** Bateria LIPO (1800mAh 4S para alimentação secundária)
- 13** LED de sinalização (obrigatório por lei)

14

UBEC 5V (envia tensão regulada para os componentes)

15

Trem de aterragem (retráctil)

9 Configurações

Antes da primeira utilização do RPA é necessário realizar a configuração de todos os parâmetros na controladora de voo. Contudo, antes da configuração inicial é obrigatória a instalação do software Mission Planner e a instalação do firmware da controladora de voo.

9.1 Instalação do Firmware

A instalação do firmware é realizada no software Mission Planner. Por esse motivo, o primeiro passo é instalar o programa para a versão mais recente. Esta pode ser encontrada em <http://firmware.ardupilot.org/>.

Após a instalação do Mission Planner já é possível instalar o firmware na controladora de voo. Contudo, é importante ter em atenção ao firmware que irá ser instalado. Como pode ser observado na imagem abaixo, são apresentados várias opções diferentes de firmware consoante o aparelho que pretendemos instalar na controladora. Esses equipamentos vão de Carros RC até submarinos ou aviões. Contudo, neste caso será instalado o APM.Copter vocacionado para Hexacóptero.

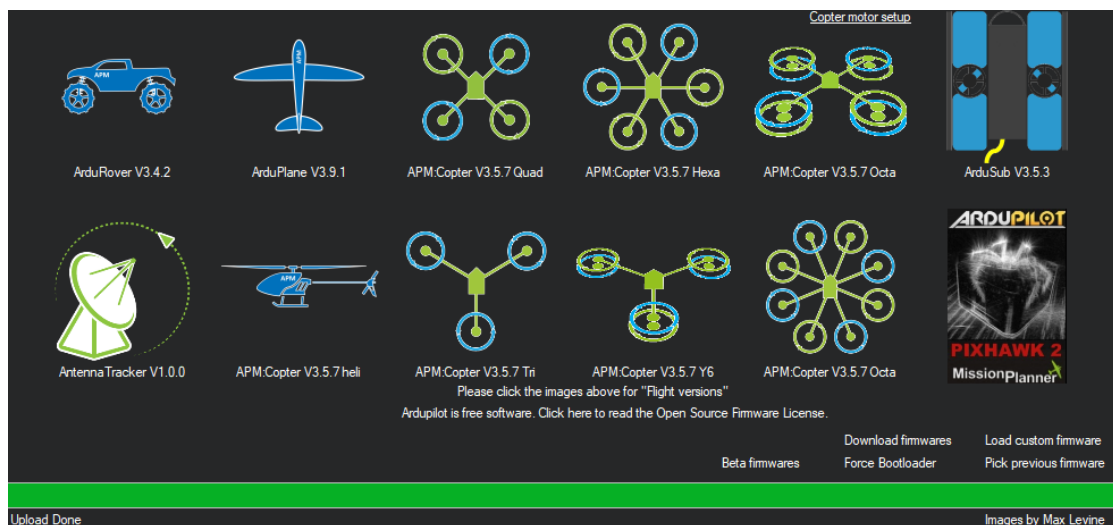


Figura 37: Instalação de firmware adequado

9.2 Configurações Mission Planner

Ao abrir o mission planner é nos apresentada uma imagem semelhante à apresentada na figura abaixo.

No lado superior esquerdo situa-se o menu de navegação.

Ao centro esquerdo é apresentado um plano virtual referente ao plano que a aeronave está. Ao fundo e à esquerda, são apresentados alguns dados mais relevantes para o piloto. Na janela grande à direita, são apresentadas imagens aéreas e a localização da aeronave. É possível identificar na imagem, uma zona com um filtro azulado no mapa. Estas são zonas reservadas ou controladas. Dessa forma, o aparelho sabe que naquela zona, terá restrições e limites que não poderá ultrapassar.



Figura 38: Menu inicial

A configuração passa por vários passos, sendo uma parte obrigatórios e outros opcionais. Os obrigatórios são:

- Configurar o tipo de estrutura;

As estruturas podem ir de um Helicóptero até um Octacóptero, por esse motivo é importante a placa controladora de voo perceber qual o tipo de aparelho que vai assistir.

- Calibração do acelerómetro;

Ao contrário de outros softwares em que a calibração é realizada mantendo a controladora estável numa posição o mais horizontal possível, aqui é realizada recorrendo a 6 pontos chave.

Com a aeronave numa posição horizontal, com ela invertida e os quatro lados restantes da mesma pousados no plano horizontal.

- Calibração dos magnetómetros;

A calibração dos magnetómetros é o mais difícil de realizar visto que é necessário realizar a calibração longe de quaisquer interferências electromagnéticas. Dessa forma, a calibração deve de ser realizada no exterior e longe de aparelhos electrónicos. A calibração consiste em rodar lentamente a aeronave nos diversos eixos enquanto o aparelho vai rastreando o campo magnético ao seu redor. Dessa forma irá perceber onde é o Norte e conseguir orientar-se de forma a realizar missões, ficar estável no mesmo local e voltar para onde aterrou após a missão.

- Configuração do rádio;

O rádio necessita de comunicar com a controladora. Dessa forma é realizada a configuração de forma a perceber quais os sinais máximos e mínimos, como também os canais disponíveis.

- Calibração dos motores e ESC;

A calibração dos motores e ESC é necessária de forma a que todos os motores girem à mesma velocidade ao receber o mesmo sinal. Caso na montagem do DIY Drone tenha sido negligenciado o sentido de rotação dos motores, é possível fazer a inversão do sentido no próprio software.

- Configuração dos modos de voo;

Os modos de voo vão permitir definir o comportamento da aeronave com o mudar de um canal. Ao mudar a posição da alavanca, o drone pode retornar para casa, efectuar uma manobra ou agir conforme pré-configurada.

- Definições do Fail Safe.

Esta é uma definição extremamente importante. Aqui é definido qual o comportamento que o aparelho deve de ter caso se encontre numa situação delicada. Dessa forma, é possível definir o que fazer caso perca o sinal de rádio ou se a altura ultrapassar um limite pré-definido. Pode ainda ser configurada uma geofence de forma a

evitar que o drone se afaste demasiado. É também definido o que fazer caso o aparelho se encontre nessa situação.

9.3 Outras Configurações

Embora já seja possível voar fazendo as configurações obrigatórias, existem outras configurações que podem ser uteis dependendo dos periféricos instalados. Por esse motivo, nas configurações opcionais pode ser configurada a comunicação Bluetooth, o trem de aterragem, o comportamento do GIMBAL, ou modos adicionais para o rádio, entre outros. Na imagem seguinte é possível verificar o quadro de configurações onde é necessário modificar um o valor existente de forma a activar a definição pretendida.

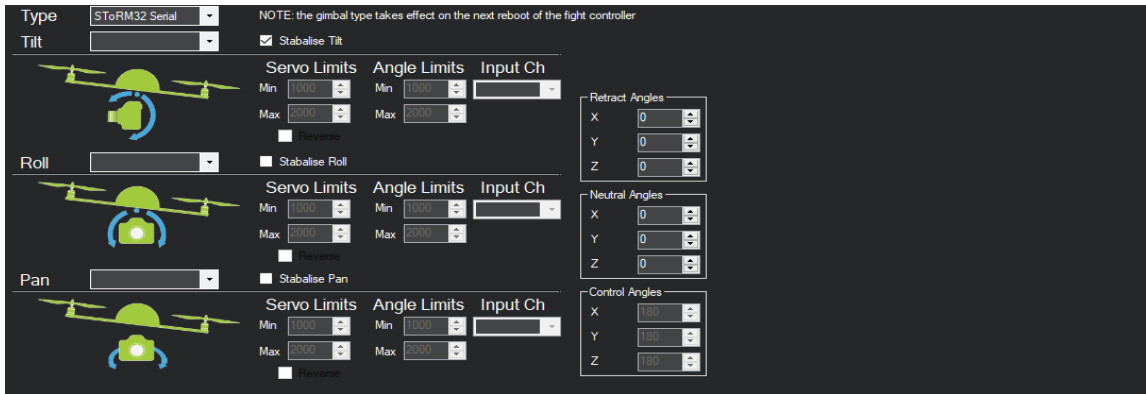


Figura 39: Exemplo de configuração- gimbal

Command	Δ	Value	Units	Options	Desc	Fav
AHRS_YAW_P	0.2			0.1 0.4	This controls the weight the compass or GPS has on the heading. A higher value means the heading will track the yaw source (GPS or compass) more rapidly.	■
ANGLE_MAX	4500		Centi-deg	1000 8000	Maximum lean angle in all flight modes	■
ARMING_ACCTHRESH	0.75		m/s/s	0.25 3.0	Accelerometer error threshold used to determine inconsistent accelerometers. Compares this error range to other accelerometers to detect a hardware or calibration error. Lower value means lighter check and harder to pass arming check. Not all accelerometers are created equal.	■
ARMING_CHECK	0			0 None 1 All 2 Buzzer 4 Compass 8 GPS Lock 16 INS (Mental Sensors - accepts 6 graz) 32 Parameters (untested) 64 FC Failure 128 Board voltage 256 Battery Level 512 Airspeed 1024 Loggable/visible 2048 Hardware safety switch 4096 GPS configuration	Checks prior to arming motor. This is a bitmask of checks that will be performed before allowing arming. The default is no checks, allowing arming at any time. You can select whatever checks you prefer by adding together the values of each check type to set this parameter. For example, to only allow arming when you have GPS lock and no FC failure you would set ARMING_CHECK to 72. For most users it is recommended that you set this to 1 to enable all checks.	■
ARMING_VOLT_MIN	0		Volts		The minimum voltage on the first battery to arm. 0 disables the check.	■
ARMING_VOLT2_MIN	0		Volts		The minimum voltage on the first battery to arm. 0 disables the check.	■
ATC_ACCEL_P_MAX	110000		Centi-Deg	0 180000 Disabled 72000 Slow 180000 Medium 180000 Fast	Maximum acceleration in pitch axis	■
ATC_ACCEL_R_MAX	110000		Centi-Deg	0 180000 Disabled 72000 Slow 180000 Medium 180000 Fast	Maximum acceleration in roll axis	■
ATC_ACCEL_Y_MAX	27000		Centi-Deg	0 72000 Disabled 18000 Slow 36000 Medium 54000 Fast	Maximum acceleration in yaw axis	■
ATC_ANG_LIM_TC	1			0.5 10.0	Angle Limit (to maintain altitude) Time Constant	■
ATC_ANG_PIT_P	4.5			3.000 12.000	Pitch axis angle controller P gain. Converts the error between the desired pitch angle and actual angle to a desired pitch rate	■
ATC_ANG_RLL_P	4.5			3.000 12.000	Roll axis angle controller P gain. Converts the error between the desired roll angle and actual angle to a desired roll rate	■
ATC_ANG_YAW_P	4.5			3.000 6.000	Yaw axis angle controller P gain. Converts the error between the desired yaw angle and actual angle to a desired yaw rate	■
ATC_ANGLE_BOOST	1			0 Disabled 1 Enabled	Angle Boost increases output throttle as the vehicle leans to reduce loss of altitude	■
ATC_RATE_PIT_D	0.0035			0.0 0.02	Pitch axis rate controller D gain. Compensates for short term change in desired pitch rate vs actual pitch rate	■
ATC_RATE_PIT_FF	0			0 0.5	Pitch axis rate controller feed forward	■
ATC_RATE_PIT_FLT	20		Hz	1 100	Pitch axis rate controller input frequency in Hz	■
ATC_RATE_PIT_I	0.09			0.01 0.5	Pitch axis rate controller I gain. Corrects long term difference in desired pitch rate vs actual pitch rate	■
ATC_RATE_PIT_IMAX	0.5		Percent	0 1	Pitch axis rate controller I gain maximum. Constrains the maximum motor output that the I gain will output	■
ATC_RATE_PIT_P	0.135			0.08 0.30	Pitch axis rate controller P gain. Converts the difference between desired pitch rate and actual pitch rate into a motor speed output	■
ATC_RATE_RLL_D	0.0035			0.0 0.02	Roll axis rate controller D gain. Compensates for short term change in desired roll rate vs actual roll rate	■
ATC_RATE_RLL_FF	0			0 0.5	Roll axis rate controller feed forward	■
ATC_RATE_RLL_FLT	20		Hz	1 100	Roll axis rate controller input frequency in Hz	■
ATC_RATE_RLL_I	0.09			0.01 0.5	Roll axis rate controller I gain. Corrects long term difference in desired roll rate vs actual roll rate	■
ATC_RATE_RLL_IMAX	0.5		Percent	0 1	Roll axis rate controller I gain maximum. Constrains the maximum motor output that the I gain will output	■
ATC_RATE_RLL_P	0.135			0.08 0.30	Roll axis rate controller P gain. Converts the difference between desired roll rate and actual roll rate into a motor speed output	■
ATC_RATE_YAW_D	0			0.000 0.02	Yaw axis rate controller D gain. Compensates for short term change in desired yaw rate vs actual yaw rate	■
ATC_RATE_YAW_FF	0			0 0.5	Yaw axis rate controller feed forward	■
ATC_RATE_YAW_FLT	2.5		Hz	1 100	Yaw axis rate controller input frequency in Hz	■
ATC_RATE_YAW_I	0.015			0.000 0.05	Yaw axis rate controller I gain. Corrects long term difference in desired yaw rate vs actual yaw rate	■
ATC_RATE_YAW_IMAX	0.5		Percent	0 1	Yaw axis rate controller I gain maximum. Constrains the maximum motor output that the I gain will output	■
ATC_RATE_YAW_P	0.18			0.10 0.50	Yaw axis rate controller P gain. Converts the difference between desired yaw rate and actual yaw rate into a motor speed output	■
ATC_RATE_FF_ENAB	1			0 Disabled 1 Enabled	Controls whether body/frame rate feedforward is enabled or disabled	■
ATC_SLEW_YAW	6000		Centi-Deg	500 18000	Maximum rate the yaw target can be updated in Loiter, RTL, Auto flight modes	■
ATC_THR_MIX_MAN	0.5			0.5 0.9	Throttle vs attitude control prioritization used during manual flight (higher values mean we prioritise attitude control over throttle)	■
ATC_THR_MIX_MAX	0.5			0.5 0.9	Throttle vs attitude control prioritization used during active flight (higher values mean we prioritise attitude control over throttle)	■
ATC_THR_MIX_MIN	0.1			0.1 0.25	Throttle vs attitude control prioritization used when landing (higher values mean we prioritise attitude control over throttle)	■
AUTOTUNE_AGGR	0.1			0.05 0.10	Autotune aggressiveness. Defines the bounce back used to detect size of the D term.	■
AUTOTUNE_AXES	7			7 48 1948 Only 2 Pitch Only 4 Yaw Only 3 Roll and Pitch 5 Roll and Pitch	1-byte bitmap of axes to autotune	■

Figura 40: Pormenor da página de parametrização

9.4 Planeamento de Missões

Uma das grandes vantagens deste software é a possibilidade de realizar configurações com grande detalhe e qualidade. Isto permite que o utilizador comum que decide montar o seu próprio aparelho RC consiga fazer todas as configurações de uma forma simples, como também possa ser usado a nível profissional.

O uso desta controladora, como do software de configuração é utilizado por empresas para as suas missões sem qualquer falta de confiança. Tal como apresentado na figura abaixo, foi simulada uma missão em volta do *pavilhão F* do ISEP (Instituto Superior de Engenharia do Porto).

É possível realizar missões programando diversos pontos onde o aparelho vai realizar uma tarefa, como também é possível configurar a altitude a que a aeronave terá naquele ponto. Isto é uma vantagem fenomenal em relação as inspeções a instalações de produção de energia, pois o aparelho:

- Inicia a missão com um clicar de botão;
- Passa de forma precisa por todos os pontos pré-definidos;
- Retorna para onde descolou;
- Realizou a missão de uma forma mais rápida, segura, precisa e económica.

Tudo isto com a vantagem de poder ser acompanhado em tempo real através do sistema de telemetria que foi instalado.

Recordo que a telemetria permite a comunicação entre o drone e o PC em tempo real. Por esse motivo é possível ver no mapa a posição real da aeronave, como também permite interagir com o aparelho e fazer alterações à missão.

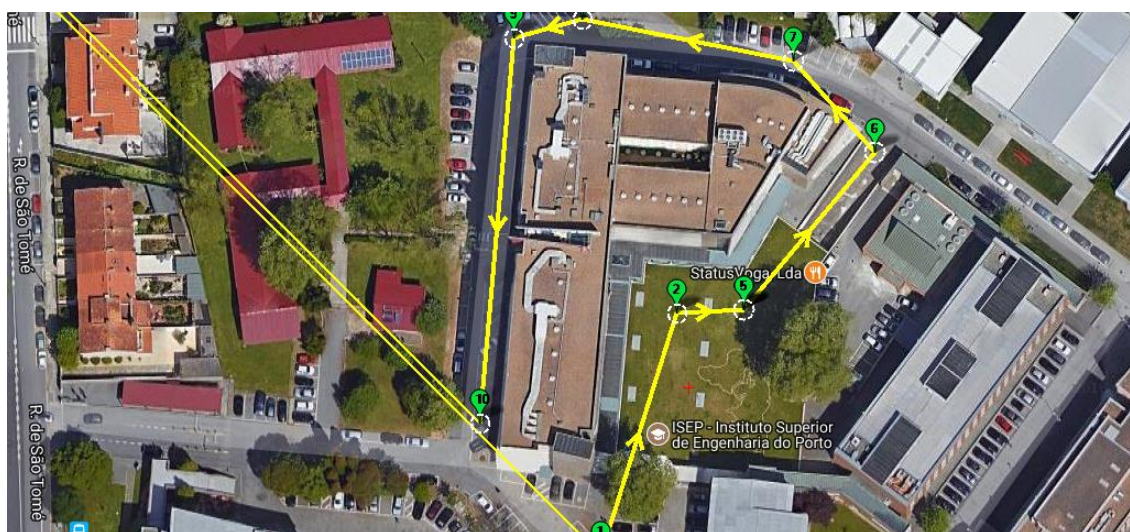


Figura 41: Planeamento de missões

9.5 Sistema de Apoio à Inspeção

A pilotagem de um VANT é uma tarefa de grande responsabilidade e por si só exige o máximo de atenção a todos os pormenores e alterações das condições de voo. Uma aproximação demasiado elevada a um obstáculo (natural ou não), uma manobra mal realizada ou até mesmo a falha de algum componente, podem resultar na queda do aparelho e a danificação da aeronave.

Por essa razão surge a necessidade de libertar o piloto de tarefas exclusas à pilotagem do aparelho.

A solução passou por delegar funções a um co-piloto. Este segundo elemento poderá auxiliar a missão fornecendo informações adicionais ao piloto, como também ficará responsável pela captação de imagens e movimentação da respectiva câmara.

Esta solução permite não só a libertação do piloto da tarefa de captação de imagens, como também aumenta a probabilidade de as imagens serem captadas com melhor qualidade, devido ao facto de ter uma pessoa dedicada àquela tarefa.



Figura 42: Co-piloto com a função de captar imagens

9.6 Criação do Sistema de Apoio

A criação do sistema passou por utilizar dispositivos radio para controlar a câmera responsável pela captação das imagens. [29]

Para o efeito foram usados dois módulos *transceiver* NRF24L01 de 2.4GHz³⁹ e um arduíno conectado à entrada de sinal rádio do Gimbal acoplado ao aparelho [30].

9.6.1 Módulo nRF24L01+PA+LNA

Este módulo tem, a vantagem de:

- Permitir comunicação nos dois sentidos;
- Pouco consumo energético de operação;
- Comunicações até 1 (um) Km na banda entre os 2.400 e os 2.525GHz;
- Velocidades de transmissão de dados de 250kbps, 1 Mbps e 2 Mbps.
- 6 (seis) canais de comunicação distintos;

A tensão de operação deste módulo é de 1,9 a 3,6V. Contudo, os pinos lógicos toleram 5V, o que permite a sua conexão a um microcontrolador com essa tensão ou a um Arduíno, sem que exista a necessidade de recorrer a um conversor de nível logico. Durante a transmissão, este consome apenas 12mA e 26 μ A o que é comparável a consumos de um LED.

Para controlar este sistema rádio é apenas necessário um MCU (microcontrolador), como também alguns componentes passivos externos. Pode ainda comunicar através de uma SPI (*Serial Peripheral Interface*) de 4 pinos com uma taxa máxima de 10Mbps. Além disso, este modulo utiliza o conceito de *Master* e *Slave* onde o Arduíno tem o papel de *Master* e o *transceiver* tem o papel de *Slave*. Contudo, no Arduíno, o número de *Slave* está limitado a duas unidades.

PA+LNA

Surgiu a necessidade de perceber a diferença entre o módulo nRF24L01 e o Módulo nRF24L01+PA+LNA.

³⁹ 2.4 GHz é uma das bandas industriais, científicas e medicas (ISM) que estão reservadas internacionalmente para ser usadas por dispositivos de baixa potencia não licenciados. Alguns exemplos são os dispositivos Bluetooth, NFC, WIFI e telefones sem fio.

O “PA” significa *Power Amplifier* e é o responsável pelo aumento da potência do sinal transmitido pelo chip.

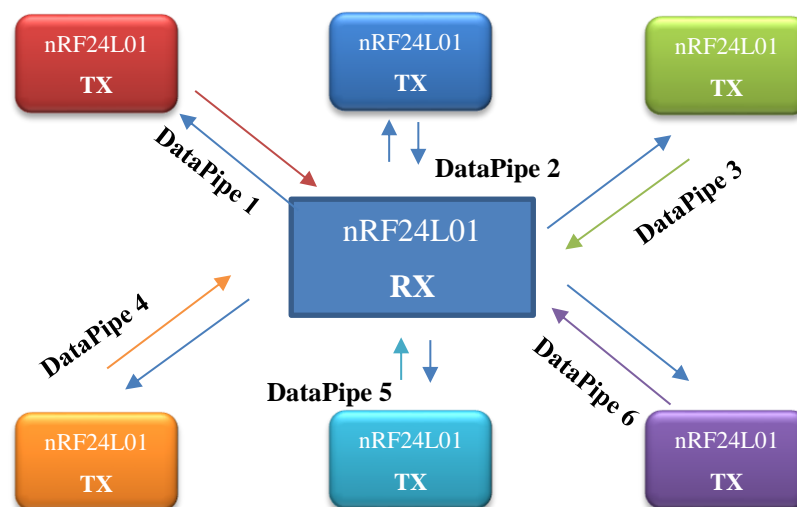
Já o “LNA”, significa *Low Noise Amplifier* e a sua função é amplificar os sinais extremamente fracos e incertos da antena (geralmente na ordem dos microvolts) para um nível em que possa ter utilidade.

Modo de funcionamento

Para que os módulos comuniquem entre si, é necessário que se encontrem a operar no mesmo canal na frequência entre os 2.400 e os 2.525GHz. Como cada canal ocupa uma largura de banda inferior a 1 MHz⁴⁰, este dispositivo pode ser usado em 125 canais diferentes.

Rede Multiceiver

Este recurso é uma abreviação de *Multiple Transmitters Single Receiver* onde cada canal é dividido em seis (6) canais de dados em paralelo, chamados de “Pipes”⁴¹. Cada canal de dados tem o seu próprio endereço físico⁴², podendo dessa forma ser configurado.



9.7 Programação e Interligação entre o Módulo e o Arduino
 Figura 43: Rede Multiceiver

Neste caso, foi usado um *Arduíno Nano* na ligação ao módulo responsável por receber a informação. E um *Arduíno Uno* na transmissão da informação.

⁴⁰ O canal ocupa uma largura de banda entre 1MHz e 250kbps a uma taxa de dados de 1Mbps pelo ar.

⁴¹ Um Pipe de dados é um canal lógico no canal RF físico.

⁴² Data Pipe Address.

9.7.1 Ligação do Módulo Emissor

A conexão entre o Arduino e módulo transmissor foi a seguinte:

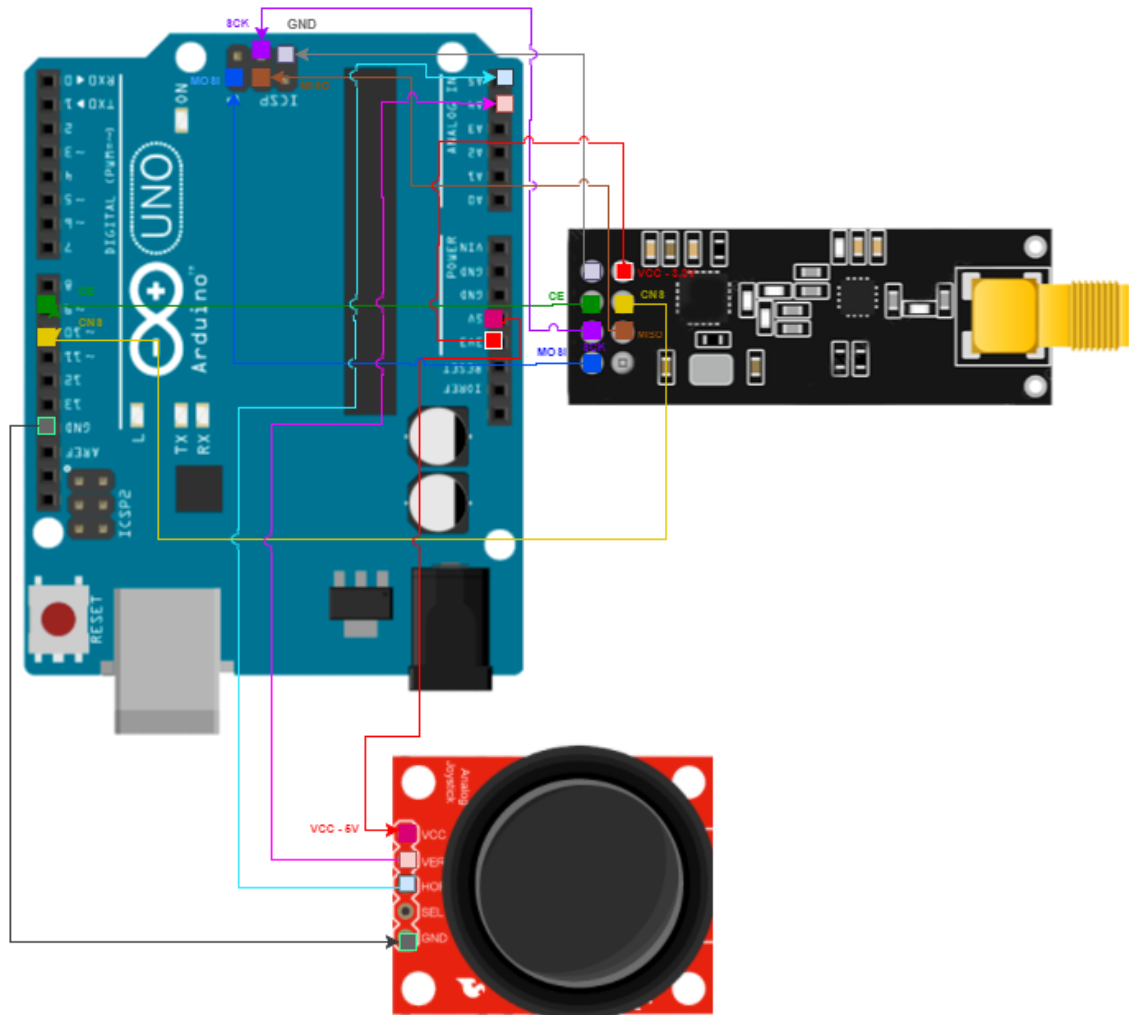


Figura 44: Ligações emissor

9.7.2 Programação do Módulo Emissor

O código criado para comunicar com o receptor foi o seguinte:

```
// Bibliotecas
```

```

#include <Wire.h>
#include <ArduinoNunchuk.h>
#include <SPI.h>
#include "nRF24L01.h"
#include "RF24.h"
const int led_pin = 13;
ArduinoNunchuk nunchuk = ArduinoNunchuk();

class RF24Test: public RF24
{
public: RF24Test(int a, int b): RF24(a,b) {}
};

RF24Test radio(9,10);
// Endereço de Radio "pipe". (canais de comunicação)
const uint64_t pipes[2] = { 0xF0F0F0F0E1LL, 0xF0F0F0F0D2LL };

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  pinMode(led_pin, OUTPUT);
  nunchuk.init();
  radio.begin();
  radio.openWritingPipe(pipes[0]);
  radio.openReadingPipe(1,pipes[1]);
  radio.printDetails();
}
void loop()
{
  nunchuk.update();
  byte analogX = nunchuk.analogX;
  byte analogY = nunchuk.analogY;
  byte accelX = nunchuk.accelX;
  byte accelY = nunchuk.accelY;
  byte accelZ = nunchuk.accelZ;
  byte zButton = nunchuk.zButton;
  byte cButton = nunchuk.cButton;
  byte transmission[7];
  transmission[0] = analogX;
  transmission[1] = analogY;
  transmission[2] = accelX;
  transmission[3] = accelY;
  transmission[4] = accelZ;
  transmission[5] = zButton;
  transmission[6] = cButton;
  Serial.print(transmission[0], DEC);
  Serial.print(' ');
  Serial.print(transmission[1], DEC);
  Serial.print(' ');

```

```

Serial.print(transmission[2], DEC);
Serial.print(' ');
Serial.print(transmission[3], DEC);
Serial.print(' ');
Serial.print(transmission[4], DEC);
Serial.print(' ');
Serial.print(transmission[5], DEC);
Serial.print(' ');
Serial.println(transmission[6], DEC);
radio.stopListening();
radio.write( &transmission, 7 );
// à escuta
radio.startListening();
// Espera até responder, ou até(250ms)
unsigned long started_waiting_at = millis();
bool timeout = false;
while ( ! radio.available() && ! timeout )
  if ( millis() - started_waiting_at > 200 )
    timeout = true;

if ( timeout )
  { Serial.println("Falha, o tempo para a resposta acabou desligue e volte a
ligar."); }
else
  { // Pega na resposta , compara-a, e manda-a para fazer a verificação
byte response;
radio.read( &response, sizeof(response) );
Serial.println(response,BIN);

if (response == B0)
  { digitalWrite(led_pin,HIGH);
  Serial.println("Ok");
  }
else
  { digitalWrite(led_pin,LOW);
  Serial.println("No connection");
  }
}
// Try again later
delay(150);
}

```

9.7.3 Ligação do Módulo Receptor

Para a comunicação entre o módulo receptor e o arduino foi realizada a seguinte conexão:

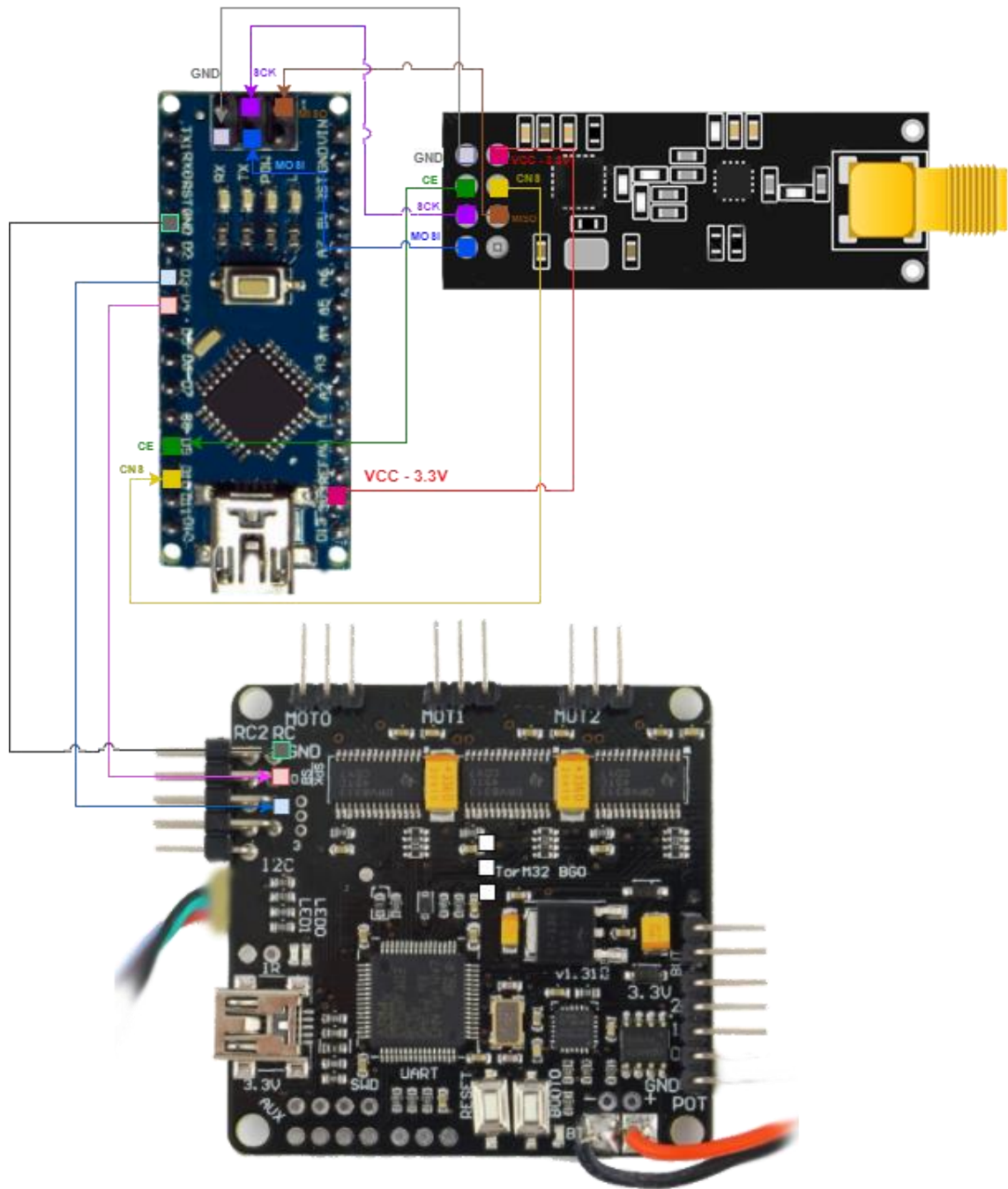


Figura 45: Esquema de ligação receptor

9.7.4 Programação do Módulo Receptor

O código adaptado de forma a receber os dados enviados do emissor e enviar os sinais RF para o Gimbal foi o seguinte:

```
// Bibliotecas
#include <SPI.h>
#include "nRF24L01.h"
#include "RF24.h"
#include <Servo.h>

Servo Servo1;
Servo Servo2;

const int obstacle_pin = 8;

class RF24Test: public RF24
{
public: RF24Test(int a, int b): RF24(a,b) {}
};

RF24Test radio(9,10);

// Endereço de Radio "pipe" .
const uint64_t pipes[2] = { 0xF0F0F0F0E1LL, 0xF0F0F0F0D2LL };

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  Serial.println("A inicializar camara");
  pinMode(obstacle_pin, OUTPUT);

  radio.begin();
  radio.openWritingPipe(pipes[1]);
  radio.openReadingPipe(1,pipes[0]);
  radio.startListening();

  Servo1.attach (3);
  Servo2.attach (4);
}

void loop()
{
  if ( radio.available() )
  {
    byte transmission[7];
    bool done = false;
```

```

    {
while(radio.available()){
  radio.read(&transmission, 7 );
}
  // mensagem
  Serial.print(transmission[0]);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(transmission[1]);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(transmission[2]);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(transmission[3]);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(transmission[4]);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(transmission[5]);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(transmission[6]);
  Serial.print(" ");
  byte speedValue = transmission[1];
  byte turnValue = transmission[0];

  transmission[0] = map(transmission[0],130,0,87,-15);
  //normaliza posições da base//,130,0,90,0
  Servo2.write(transmission[0]); //controla o servo da base
  transmission[1] = map(transmission[1], 80,160,85,125);// 20, 150, 135, 170)
melhor 80,160,85,125); //normaliza posições do servo da direita
  Servo1.write(transmission[1]); // 80,160,85,125) //controle frente/trás
  }
}
}

```

Apresentação do Protótipo

Capítulo 8

10 Apresentação do Protótipo

O resultado final é um multirotor de grande qualidade. Não só os seus componentes foram escolhidos de forma a garantir um bom desempenho, como também foi redesenhado e adaptado às funções pretendidas.

Para a sua modificação valeu a ajuda de ferramentas de desenho 3D e a possibilidade de as materializar através de uma impressora 3D.

O resultado final apresenta uma atenção aos detalhes, não só ao nível de gestão de peso (muito importante neste tipo de aparelhos), como também ao nível de funcionalidade.

Também foram tidas em considerações as dissipações de calor e as interferências electromagnéticas. Por esse motivo, componentes problemáticos foram colocados estrategicamente em locais mais apropriados.

Outro pormenor é a adição de alguns sistemas de segurança extra.

Nunca se sabe se por alguma eventualidade, o aparelho é obrigado a aterrar longe do local de descolagem. Dessa forma foi adicionado um rastreador GPS autónomo ao aparelho. Assim, caso o aparelho se perca, é possível identificar a sua localização através do smartphone. Também foram adicionados sistemas sonoros, que após um tempo pré-definido emitem um sinal audível a grande distancia, de forma a também assim ajudar na busca do equipamento. Além disso, existe também a possibilidade de o piloto accionar um botão no seu sistema rádio e activar o sinal sonoro, ajudando assim a identificar o local do aparelho.



Figura 46: Drone com os braços retraídos para transporte



Figura 47: Pormenor da hélice de 330mm em fibra de carbono e do motor



Figura 48: Vista de cima com o aparelho ligado



Figura 49: finalização da montagem do drone com 690mm ponta-a-ponta



Figura 50: Drone com Gimbal

Demonstração de Resultados

Capítulo 9

11 Demonstração de Resultados

Como é possível observar na imagem que se segue, o multirrotor é capaz de rapidamente deslocar-se a instalações e realizar a inspecção.



Figura 51: Inspeção de infra-estruturas

Embora por segurança, as imagens tenham sido captadas com uma distância considerável das linhas, é ainda assim possível demonstrar a facilidade com que o aparelho realiza manobras e é capaz de acompanhar o percurso de linhas sejam elas AT, MT ou BT.



Figura 52: Inspeção a linhas eléctricas

Da mesma forma, é também possível verificar que a inspeção de torres AT, MT ou postes de BT permitem a inspeção por este tipo de aparelhos.



Figura 53: Inspeção a torres



Figura 54: Vista aérea

Conclusões e Trabalhos Futuros

Capítulo 10

12 Conclusões e Trabalhos Futuros

As características deste tipo de aparelhos, como também todas as vantagens em relação a métodos tradicionais de inspecção, deixam antever um futuro onde o multirotor terá um papel fundamental nas sociedades modernas.

Embora nos dias de hoje a palavra “drone” seja mais comum que a palavra “VANT”, com o evoluir da tecnologia e a aceitação de novas tecnologias por parte das empresas, poderá tornar esta palavra comum no quotidiano empresarial.

A utilidade deste tipo de aparelhos é inegável. A possibilidade de voar, a sua agilidade, estabilidade, e a possibilidade de efectuar missões autónomas, remonta o nosso pensamento para os anos onde esta realidade apenas pertencia a filmes de ficção científica. Contudo, hoje em dia já é uma possibilidade que está ao alcance não só das empresas como do cidadão comum.

O uso dos VANTs na inspecção de infra-estruturas de energia não deve ser menosprezado. Em relação a métodos tradicionais, este permite não só detectar irregularidades mais rapidamente, e de uma forma mais económica e segura, como também mais amiga do ambiente. Também permite um aumento na precisão dos resultados obtidos, pelo que a sua aplicação em massa poderá ser apenas uma questão de tempo.

Todas as vantagens apresentadas neste documento, provam a necessidade de introduzir estes equipamentos nos sistemas de gestão de infra-estruturas de transmissão e produção de energia.

De forma a que as instituições adaptem mais facilmente esta nova tecnologia, surge a necessidade de desmistificar este equipamento. Sendo esse o objectivo principal deste documento, manifesta-se a necessidade de não só apresentar o leque de possibilidades que o aparelho proporciona, como também apresentar as tecnologias por detrás deste aparelho. Mostrar o seu modo de funcionamento, respectivos componentes integrantes e a forma como pode ser construído.

De forma a comprovar que a criação do próprio drone é uma realidade, a este trabalho acresce o desafio de montar um DIY drone (doing yourself in drone), procedendo a uma breve explicação das tecnologias envolvidas.

A criação deste drone não se limitou à montagem de algo pré-definido onde se seguem instruções. Aqui foram feitas alterações à própria estrutura, de forma a obter ganhos na performance da aeronave. Contudo, ainda muito poderá ser feito de forma a melhorar este equipamento.

A utilização de um sistema LIDAR poderá ser uma grande ajuda na inspeção de sistemas de produção e distribuição de energia. Por essa razão deverá ser criada uma peça que permita acoplar todo o sistema à aeronave, sem que perturbe o centro de gravidade do aparelho.

De forma a auxiliar o sistema LIDAR, poderá ser instalado um processador *Intel Edison* ao *Pixhawk 2.1* e efectuar a criação de um software de mapeamento do terreno.

Podem ainda ser aplicados sensores ópticos e sonar de forma a que o aparelho evite obstáculos automaticamente.

É também proposta a adição de uma bateria de maior capacidade e um sistema de comunicação rádio para longo alcance. Assim o aparelho poderá realizar missões mais longas caso a legislação o venha a permitir.

Por fim, poderá ainda ser encontrada um solução que elimine a bateria 6S da parte inferior do aparelho e distribua as células pelas laterais do mesmo. Dessa forma é possível aproveitar o espaço na parte inferior do aparelho, permitindo mais facilmente transportar uma maior quantidade de sensores.

Como conclusão, foi montado um drone onde houve o cuidado de estudar os componentes mais indicados, de forma a proporcionar harmonia de todo o aparelho. A aeronave foi também modificada e adicionadas novas peças à estrutura, sem esquecer detalhes de aerodinâmica ou refrigeração dos componentes. O resultado é um equipamento único e original com a capacidade de ser aplicado em missões de inspeção e apoio de infra-estruturas de transmissão e produção de energia. Tal como comprovado neste documento, este equipamento é uma ferramenta versátil em que a sua aplicação oferece inúmeras melhorias em relação a métodos tradicionais.

Webgrafia

Capítulo 11

- 1] | X. Energy, “Drones | Xcel Energy,” 17 02 2018. [Online]. Available: https://www.xcelenergy.com/energy_portfolio/innovation/drones. [Acedido em 17 02 2018].
- 2] | doctordrone, “Drones na Inspeção de Redes de Energia Elétrica,” 17 02 2018. [Online]. Available: <http://doctordrone.com.br/drones-na-inspecao-de-linhas-de-energia/>. [Acedido em 17 02 2018].
- 3] | PixForce, “As Aplicações e Vantagens do Uso de Drones para Inspeção de Linhas de Transmissão,” 18 02 2018. [Online]. Available: <http://pixforce.com.br/as-aplicacoes-e-vantagens-do-uso-de-drones-para-inspecao-de-linhas-de-transmissao/>. [Acedido em 18 02 2018].
- 4] | EngenhariaCivil, “Uso de drones na inspeção de torres eólicas e infraestruturas elétricas,” 18 02 2018. [Online]. Available: <https://www.engenhariacivil.com/drones-inspecao-infraestruturas>. [Acedido em 18 02 2018].
- 5] | poupennergia, “Camera de Imagem Térmica Compacta com WiFi,” 21 06 2018. [Online]. Available: <http://www.poupennergia.com/flir/flirC3>. [Acedido em 21 06 2018].
- 6] | Infoescola, “Efeito Ilha de Calor,” 14 04 2018. [Online]. Available: <https://www.infoescola.com/clima/ilha-de-calor/>. [Acedido em 15 04 2018].
- 7] | Fenercom, “Los-Drones-y-sus-aplicaciones-a-la-ingenieria-civil-fenercom,” 25 03 2015. [Online]. Available: <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Los-Drones-y-sus-aplicaciones-a-la-ingenieria-civil-fenercom-2015.pdf>. [Acedido em 18 02 2018].
- 8] | V. n. boa, “regulamento drone,” [Online]. Available: <http://www.voanaboa.pt/regulamento>. [Acedido em 22 04 2018].
- 9] | theguardian, “a historia secreta dos drones,” 06 06 2018. [Online]. Available: <https://www.theguardian.com/world/shortcuts/2013/feb/10/secret-history-of-drones-1916>. [Acedido em 06 06 2018].

- 10] | M. S. Ribeiro, “Construindo um quadricoptero: Guia básico - Parte 1 e 2,” 29 05 2018. [Online]. Available: <http://www.quad.marksr.com.br/p/guia-basico-parte-1.html#armacaoframe>. [Acedido em 10 06 2018].
- 11] | quad.marksr, “guia-basico-parte-1,” 16 04 2018. [Online]. Available: <http://www.quad.marksr.com.br/p/guia-basico-parte-1.html#armacaoframe>. [Acedido em 16 04 2018].
- 12] | wondershare, “types-of-drones,” 17 04 2018. [Online]. Available: <https://filmora.wondershare.com/pt-br/drones/types-of-drones.html>. [Acedido em 17 04 2018].
- 13] | quora, “What's the basic difference between brushed and brushless motor,” 30 05 2018. [Online]. Available: <https://www.quora.com/Whats-the-basic-difference-between-brushed-and-brushless-motor>. [Acedido em 30 05 2018].
- 14] | motioncontrolonline, “Brushed DC Motors Vs. Brushless DC Motors,” 30 05 2018. [Online]. Available: <https://www.motioncontrolonline.org/blog-article.cfm/Brushed-DC-Motors-Vs-Brushless-DC-Motors/24>. [Acedido em 30 05 2018].
- 15] | thesawguy, “Brushless vs. Brushed Motors,” 30 05 2018. [Online]. Available: <http://www.thesawguy.com/brushless-vs-brushed-motors/>. [Acedido em 30 05 2018].
- 16] | electronicdesign, “difference-between-brush-dc-and-brushless-dc-motors,” 30 05 2018. [Online]. Available: <http://www.electronicdesign.com/electromechanical/what-s-difference-between-brush-dc-and-brushless-dc-motors>. [Acedido em 30 05 2018].
- 17] | thinkrc, “Brushed vs Brushless Motors,” 30 05 2018. [Online]. Available: <http://www.thinkrc.com/faq/brushless-motors.php>. [Acedido em 30 05 2018].
- 18] | K. Academy, “Torque e momento angular,” 2018 06 09. [Online]. Available: <https://pt.khanacademy.org/science/physics/torque-angular-momentum/torque-tutorial/a/torque>. [Acedido em 2018 06 09].

- 19] | ArduPilot, “ArduPilot Open Source Autopilot,” 17 07 2018. [Online]. Available: <http://ardupilot.org/>. [Acedido em 17 07 2018].
- 20] | molrc, “Pixhawk: dando continuidade ao sucesso da APM,” 17 07 2018. [Online]. Available: <https://www.molrc.com/?p=497>. [Acedido em 17 07 2018].
- 21] | pixhawk, “pixhawk,” 17 07 2018. [Online]. Available: <https://pixhawk.org>. [Acedido em 17 07 2018].
- 22] | dronemodelismo, “Explicando as diferenças entre as controladoras,” 05 06 2018. [Online]. Available: <https://www.dronemodelismo.com.br/explicando-as-diferencas-entre-as-controladoras-f1-f3-f4-e-f7/>. [Acedido em 05 06 2018].
- 23] | dronetres, “What is VTX telemetry and why should you care?,” 01 07 2018. [Online]. Available: <https://blog.dronetrest.com/smart-audio-vtx/>. [Acedido em 01 07 2018].
- 24] | Eletronicagem, “DSMX, DSM2, PWM, PPM? Qual o certo afinal?,” 12 03 2018. [Online]. Available: <http://eletronicagem.blogspot.com/2015/01/dsmx-dsm2-pwm-ppm-qual-o-certo-afinal.html>. [Acedido em 12 03 2018].
- 25] | molrc, “PPM, PWM, SBUS, IBUS e DSM,” 13 04 2018. [Online]. Available: <http://www.molrc.com/?p=1944>. [Acedido em 13 04 2018].
- 26] | e-voo, “Baterias para leigos,” 15 05 2018. [Online]. Available: <http://www.e-voo.com/forum/viewtopic.php?t=63>. [Acedido em 15 05 2018].
- 27] | 3. printing, “projectos open source para drones,” 17 07 2018. [Online]. Available: <http://www.3dprinting.com.br/dronecode-e-ardupilot-dois-projetos-open-source-para-drones-que-voce-precisa-conhecer/>. [Acedido em 17 07 2018].
- 28] | diydrones, “differences-between-apm-px4-pixhaw,” 18 07 2018. [Online]. Available: <http://diydrones.com/forum/topics/differences-between-apm-px4-pixhawk>. [Acedido em 18 07 2018].
- 29] | sparkfun, “Product Specification,” 16 02 2010. [Online]. Available: https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/nRF24L01Pluss_Preliminary_Product_Specification_v1_0.pdf. [Acedido em 30 08 2018].

- 30] | nordicsemi, “ Ultra Low Power Wireless Solutions from NORDIC SEMICONDUCTOR,” 01 09 2018. [Online]. Available: <https://www.nordicsemi.com/eng/Products/2.4GHz-RF/nRF24L01>. [Acedido em 01 09 2018].
- 31] | Wefly, “wefly.com.pt | Inspeção de Turbinas Eólicas |,” 17 02 2015. [Online]. Available: <http://wefly.com.pt/pt/inspecao-de-turbinas-eolicas/>. [Acedido em 17 02 2018].