

PROJETO DE GRADUAÇÃO II

Título do Projeto:

PROJETO DE CONSTRUÇÃO UM DRONE HEXACÓPTERO

Autor:

HUMBERTO CASCARDO DEMOLINARI

Orientador :

FABIANA RODRIGUES LETA

Data: 23 de Março de 2016

HUMBERTO CASCARDO DEMOLINARI

PROJETO DE CONSTRUÇÃO UM DRONE HEXACÓPTERO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

Orientador:

Prof^ª. FABIANA RODRIGUES LETA

Niterói

2016

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca da Escola de Engenharia e Instituto de Computação da UFF

D383 Demolinari, Humberto Cascardo
Projeto de construção um drone hexacóptero / Humberto Cascardo
Demolinari. – Niterói, RJ: [s.n.], 2016.
58 f.

Trabalho (Conclusão de Curso) – Departamento de Engenharia
Mecânica, Universidade Federal Fluminense, 2016.
Orientador: Fabiana Rodrigues Leta.

1. Engenharia aeronáutica. 2. Drone. 3. Mecatrônica. I. Título.

CDD 629.130092



PROJETO DE GRADUAÇÃO II

AVALIAÇÃO FINAL DO TRABALHO

Título do Trabalho:

PROJETO DE UM DRONE HEXACÓPTERO.

Parecer do Professor Orientador da Disciplina:

- Grau Final recebido pelos Relatórios de Acompanhamento:

- Grau atribuído ao grupo nos Seminários de Progresso:

Parecer do Professor Orientador:

(Comentar a relevância, contribuição e abrangência do trabalho. Se a participação dos alunos no grupo não se processou de forma homogênea, durante o desenvolvimento do trabalho, compete ao Prof. Orientador diferenciar o grau de cada aluno, de forma a refletir a sua atuação no desenvolvimento do projeto.)

Nome e assinatura do Prof. Orientador:

Prof.: Fabiana Rodrigues Leta

Assinatura: _____

Parecer Conclusivo da Banca Examinadora do Trabalho:

Projeto Aprovado sem restrições

Projeto Aprovado com restrições

Prazo concedido para cumprimento das exigências: / /

Discriminação das exigências e/ou observações adicionais:



PROJETO DE GRADUAÇÃO II
AVALIAÇÃO FINAL DO TRABALHO
(continuação)

Aluno: Humberto Cascardo Demolinari

Grau: 8,5 (ótimo e unico)

Composição da Banca Examinadora:

Prof.: Fabiana Rodrigues Leta

Assinatura:

Prof.: Stella Maris Pires Domingues

Assinatura:

Prof.: José Luiz Ferreira Martins

Assinatura:

Data de Defesa do Trabalho:

23/03/16

Departamento de Engenharia Mecânica

/ /

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus pais: Magali e Primo, por todo o apoio e pelo suporte incondicional aos meus estudos e às escolhas que eu fiz pelo caminho.

Dedico ainda aos meus irmãos: Henrique e Filipe e à minha família pela fé e por terem me recebido tão calorosamente todas as vezes que voltei para casa.

Dedico também aos grandes amigos Pedro Henrique Feital, Thaynara Andrade, Frederico Stauffer e, especialmente à Carolina Carneiro, pelo suporte e por terem colaborado com os projetos: Luke, Spider Copter e Spektre e com todos os estudos que levaram à esse trabalho.

Finalmente, dedico também aos meus amigos, aos distantes e aos próximos, pelo companheirismo e por todas as vezes que comemoramos juntos. Mesmo sem motivos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPq pelo apoio ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica, à MEC-SESu pelo apoio ao Programa de Educação Tutorial e à Escola de Engenharia da Universidade Federal Fluminense por todo o suporte à graduação.

Agradeço aos professores Ian Sexton e John Gow pela confiança no trabalho com o Octocopter na De Montfort University, Leicester, UK.

Agradeço à professora Fabiana R. Leta, pelo apoio e pelos ensinamentos durante todos os anos que trabalhamos juntos.

RESUMO

O projeto de um veículo aeronáutico não tripulado (VANT) leva em conta diversos aspectos da Engenharia Mecânica, além de conhecimentos de dinâmica de aeronaves, controle remoto, sensoriamento e eletrônica, compondo um trabalho multidisciplinar de Engenharia Mecatrônica e Aeronáutica. No presente projeto, o VANT é dividido em seus componentes fundamentais: estrutura, motores, hélices, controladores de velocidade, controlador de voo, baterias, sensores e rádio, e cada um estudado e especificado para a integração de um sistema completo. São usadas ferramentas de simulação e software de cálculo para se estimarem as principais características do produto final. O projeto tem por objetivo principal servir de referência para projetos de drones em geral, abrangendo desde a concepção e especificações iniciais até a seleção de componentes e integração, para trabalhos de pesquisa futuros. Com os avanços recentes, o trabalho com VANT representa o estado da arte da tecnologia de robótica móvel no que compete robôs aéreos. Espera-se, ainda, que esse trabalho sirva de guia para a produção física de um drone deste tipo, funcionando como uma grande fonte de referências e caminhos a serem seguidos, podendo ser aplicado em pesquisas de diversas áreas, tornando-se uma ferramenta valiosa de grande valor agregado.

Palavras-Chave: VANT, Engenharia Aeronáutica, Mecatrônica.

ABSTRACT

The design of an unmanned aircraft vehicle (UAV) takes into account various aspects of mechanical engineering, and knowledge of aircraft dynamics, remote control, sensing and electronics, composing a multidisciplinary work of mechatronics and aeronautical engineering. In this project, the UAV will be broken down into its basic components: structure, engines, propellers, speed controllers, flight controller, batteries, sensors and radio, and each one will be studied and specified, integrating a complete system. Simulation tools and calculation software are used for estimating the main characteristics of the final product. The project is primarily intended to serve as a reference for drone projects in general, ranging from the design and initial specifications to component selection and integration for future research. With recent advances, work with UAVs represents the state of the art technology in mobile robotics concerning aerial robotics. This work is also intended to serve as a guide for the physical production of a drone of this type, functioning as a great source of referrals and paths to follow. This type of drone can be applied in several research areas, making it a valuable tool of great value.

Key-Words: UAV, Aeronautical Engineering, Mechatronics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1: VANT de asas fixas “Grey Eagle” (General Atomics, 2016), P.13*
- Figura 2: “Parafuso aéreo”, projeto de Leonardo Da Vinci (Leishman, 2000, P.14*
- Figura 3: Quadróptero de encomendas DHL (DHL, 2016), P.15*
- Figura 4: Pássaro Biônico (Xtim, 2016), P.16*
- Figura 5: Graus de Liberdade de um Hexacóptero, P.18*
- Figura 6: Forças e momentos aplicados à estrutura, P.18*
- Figura 7: Conjunto de componentes que compõe um VANT, P.22*
- Figura 8: Estrutura do Hexacóptero (Pixhawk, 2015), P.23*
- Figura 9: Estruturas comerciais de Drones: Dji Flamewheel x550, 3DR Hexa-B, Tarot 680PRO (DJI, 3DR, Hobbyking, 2015), P.24*
- Figura 10: Motor de Indução, esquemas do estator e do rotor, P.26*
- Figura 11: Controlador Eletrônico de Velocidade para motor de indução ligado à rede elétrica. (Hughes e Drury, 2013), P.27*
- Figura 12: Onda Senoidal gerada por PWM. (Hughes e Drury, 2013), P.28*
- Figura 13: Características construtivas de uma hélice, P.30*
- Figura 14: Exemplos de Controladores de Voo: Ardupilot, Pixhawk e Thunder QQ (Ardupilot, 2016, Pixhawk e Hobbyking, 2015), P.31*
- Figura 15: Transmissor DX6i e Receptor AR610X Spektrum, P.33*
- Figura 16: Camadas da bateria de LiPO. (Vincent e Scrosati, 1997), P.36*
- Figura 17: Bateria Turnigy Blue – 3300mAh, 3S, 30-40C, P.37*
- Figura 18: Conectores “Bullet” 3.5mm foleado a ouro e plug “Deans”, P.38*
- Figura 19: Unidade de Distribuição de Energia sem os conectores. (Hobbyking, 2015), P.39*
- Figura 20: Simulação-Teste do braço de perfil retangular com a força de 18N, P.41*
- Figura 21: Simulação do braço de perfil retangular, P.43*
- Figura 22: Montagem da Estrutura do Drone, P.43*
- Figura 23: Integração dos componentes selecionados, P.48*

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1: Classificação Fundamental de Aeronaves, P.15*
Tabela 2: Classificação quanto ao número de motores, P.17
Tabela 3: Classificação geral dos VANT, P.19
Tabela 4: Comparação entre as simulações de perfis de braços, P.42
Tabela 5: Comparação entre os motores, P.44
Tabela 6: Comparação de forças de propulsão por motor, P.44
Tabela 7: Comparação dos ESCs, P.45
Tabela 8: Comparação de Baterias, P.46
Tabela 9: Preços, massas e processadores dos Controladores de Voo, P.46
Tabela 10: Detalhamento dos Controladores de Voo, P.47
Tabela 11: Relação de Massas e Preços, P.49
Tabela 12: Comparação com modelos comerciais, P.50

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13

1.1 ORGANIZAÇÃO DO PROJETO 21

2 VEÍCULO AERONÁUTICO NÃO TRIPULADO 22

2.1 ESTRUTURA 23

2.2 MOTORES 25

2.3 CONTROLADOR ELETRÔNICO DE VELOCIDADE 27

2.4 HÉLICES 29

2.5 CONTROLADOR DE VÔO 30

2.6 SENSORES E ACESSÓRIOS 32

2.7 BATERIAS 35

2.8 CONECTORES, MATERIAIS CONSUMÍVEIS 37

3 PROJETO E SIMULAÇÃO DA ESTRUTURA 40

4 SELEÇÃO DE COMPONENTES ELÉTRICOS E DE AVIÔNICA 44

5 AVALIAÇÃO DE CUSTOS 49

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS 51

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 53

ANEXOS 56

A – ESPECIFICAÇÃO DOS MOTORES 57

ESPECIFICAÇÃO DO MOTOR QUANUM MT4108 – 700KV 57

ESPECIFICAÇÃO DO MOTOR TURNIGY MULTISTAR 3805 – 580KV 59

ESPECIFICAÇÃO DO MOTOR SUNNYSKY X2826 – 880KV 61

1 INTRODUÇÃO

O interesse em VANT tem crescido nos últimos anos em decorrência dos avanços nas tecnologias envolvidas, desde motores mais eficientes até sistemas de controle de voo e plataformas de transmissão de dados mais rápidas e seguras (Sun, 2012). Robôs em geral, e particularmente, veículos operados remotamente ou ROV (*Remotely Operated Vehicles*), têm sido cada vez mais utilizados para realizar trabalhos que são, segundo Sun (2012): perigosos, sujos ou simplesmente enfadonhos aos seres humanos.

Segundo Keane e Carr (2013), a história dos Sistemas Aeronáuticos Remotamente Pilotados (SARP) data de mais de 100 anos, antes mesmo da Primeira Guerra Mundial, quando os militares de diversos países concentravam seus esforços em aeronaves de reconhecimento e de ataque que pudessem ser operados do solo. Desde então houve diversos avanços nos sistemas de rádio, controle de voo, sensoriamento e materiais (Keane e Carr, 2013), que tornam os drones atuais mais avançados e eficientes que os de 100 anos atrás.

Inicialmente os VANT utilizavam, principalmente, asas fixas (Keane e Carr, 2013), cuja sustentação, segundo Johnson (1980), depende de superfícies aerodinâmicas separadas. VANT de asas fixas são muito utilizados em projetos militares como, por exemplo, o “*Grey Eagle*” utilizado pela CIA e pela força aérea dos EUA mostrado na Figura 1. Este drone tem uma autonomia que pode chegar a 25 horas de voo em altitudes de até 30000 pés, o equivalente a 9,1km.



Figura 1: VANT de asas fixas “*Grey Eagle*” (General Atomics, 2016).

Atualmente este tipo de aeronave já divide o foco de fabricantes e usuários com dispositivos de asas rotativas, cuja sustentação depende do movimento rotacional das hélices. O primeiro projeto de aeronave de asas rotativas é atribuído a Leonardo Da Vinci (Leishman, 2000), a Figura 2 mostra o desenho do projeto.

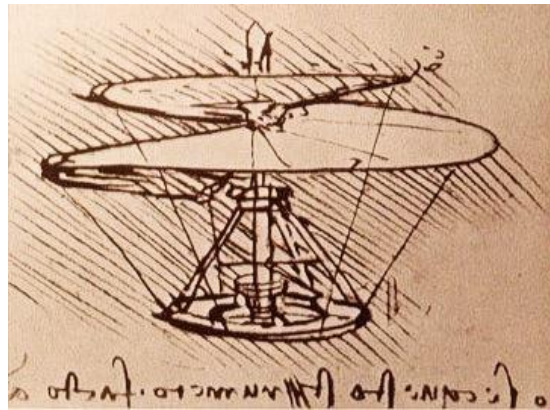


Figura 2: “Parafuso aéreo”, projeto de Leonardo Da Vinci (Leishman, 2000).

Apesar do projeto visionário de Da Vinci, apenas em 1906 a primeira máquina de voo vertical foi capaz de levantar o seu próprio peso e um piloto, em um voo curto e instável (Leishman, 2000). O feito foi realizado pelos irmãos Breguet, na França, que, curiosamente, fabricaram uma aeronave com quatro rotores (apesar de apenas um motor). Aeronaves com vários motores têm se tornado mais comuns e competem com os VANT de asas fixas, a Figura 3 mostra um quadróptero que está sendo desenvolvido pela empresa DHL para transporte de encomendas. Este tipo de drone tem autonomia de 15 a 25 minutos de voo e pode chegar a altitudes de até 300m.



Figura 3: Quadcóptero de encomendas DHL (DHL, 2016).

A Tabela 1 mostra uma classificação geral de aeronaves básica para o entendimento dos conceitos vistos até agora e que serão tratados a seguir.

Tabela 1: Classificação Fundamental de Aeronaves.

	Asas Fixas	Asas Rotativas	
		Monorotor	Multirotores
Exemplos	Aviões, Planadores	Helicópteros	Tricópteros, Quadcópteros, Hexacópteros

Fonte: Do Autor, 2015.

Atualmente, os VANT se dividem, principalmente em, asas fixas, helicópteros (que não serão profundamente abordados) e multirotores. VANT de asa fixa utilizam a diferença de pressão sobre as asas para obter sustentação (Roskan, 2003). O movimento que gera o escoamento de ar pelas asas é gerado por motores de propulsão.

Por outro lado, as aeronaves de asa rotativa utilizam-se da sustentação gerada pelas hélices acopladas aos motores. Nos helicópteros, o movimento dianteiro é gerado pela variação cíclica da profundidade das lâminas da hélice em conjunto com uma sutil rotação do eixo do rotor principal, o mesmo princípio é usado em todas as direções horizontais (Johnson, 1980). Excetuando os helicópteros, todos os outros multirotores utilizam-se de variações das

rotações de cada motor para efetuar movimentos horizontais e variações “cruzadas” para mudar o momento de inércia e fazer o drone girar no próprio eixo.

Segundo Sun (2012), apesar dos VANT utilizados em larga escala (e.g. aplicações militares) serem, em sua maioria, de asa fixa, os multirotores têm atraído um grande contingente de usuários civis por apresentarem vantagens como: decolagem e pouso verticais (VTOL, *Vertical Take-Off and Landing*), voo estacionário, boa manobrabilidade e robustez. Segundo Watts (2012), “estamos na era do ‘faça-você-mesmo’ (DIY, *do-it-yourself*) o seu drone”, apontando para o crescimento acelerado da área em razão das pesquisas, que tornaram os sistemas rádio controlados (RC) mais acessíveis, e dos usuários amadores, que se esforçam em buscar melhores técnicas de projeto, fabricação e operação.

Existem ainda outros tipos de drones como, os biomiméticos que simulam o ‘bater de asas’ e os flutuantes que utilizam gases para gerar sustentação. Apesar de haver pesquisas e desenvolvimentos nesses últimos tipos, eles ainda representam uma pequena parcela do mercado de drones mundial. A Figura 4 mostra o “pássaro biônico” desenvolvido pela empresa francesa Xtim.

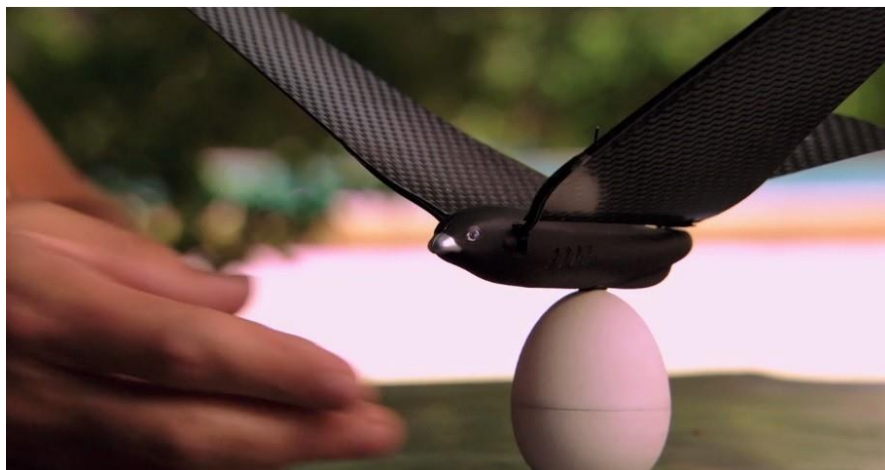


Figura 4: Pássaro Biônico (Xtim, 2016).

Outra importante classificação, em especial para as aeronaves de asa rotativa, é o número de motores que a equipam. Cada quantidade de motores tem uma designação para os drones multirotores. A Tabela 2 mostra as designações próprias para cada número de motores usuais, apesar de existirem versões com números diferentes.

Tabela 2: Classificação quanto ao número de motores.

Número de Motores	3	4	6	8
Designação	Tricóptero	Quadcóptero	Hexacóptero	Octacóptero

Fonte: Do Autor, 2015.

A principal influência do número de motores é a força de propulsão e, conseqüentemente, a força total de sustentação do drone. Considerando motores da mesma categoria, drones com 3 ou 4 motores têm forças de sustentação menores que os com 6 ou 8 motores, neste sentido, um hexacóptero consegue sustentar cargas maiores que de um quadcóptero, por exemplo. A decisão de projetar um hexacóptero tomou por base essa carga superior à dos quadcópteros e o custo relativo menor que de um octacóptero.

Tratando ainda dos motores, é possível classificar os drones quanto à posição dos eixos dos motores, sendo eles: isolados ou coaxiais. Motores isolados têm pontos de fixação exclusivos, geralmente localizados nas extremidades de cada braço da estrutura do drone. Motores coaxiais, por outro lado compartilham o mesmo ponto de fixação, sendo um voltado para cima (com um sentido de rotação) e o outro voltado para baixo (com sentido de rotação inverso).

A utilização de rotações invertidas serve como forma de manter a soma dos momentos naquele ponto igual a zero, evitando que o torque dos motores faça a aeronave girar sob o seu eixo vertical intrínseco (manobra de Guinada). Da mesma forma, quando o objetivo do piloto é executar um giro de guinada, o controlador de voo varia a rotação dos motores diagonalmente opostos, forçando o efeito do torque sobre o seu eixo (Roskan, 2003).

A manobra de guinada muda a direção para a qual a aeronave está orientada. Esta é uma das manobras de movimento rotacional do drone, as outras são: Rolagem e Arfagem. Na rolagem, a aeronave é girada em direção de uma de suas laterais e na arfagem o giro é em direção à sua frente ou à sua traseira. A Figura 5 mostra os seis graus de liberdade do drone, que consistem nos movimentos de translação nos eixos: x, y e z; e os movimentos de rotação explicados anteriormente, arfagem, rolagem e guinada.

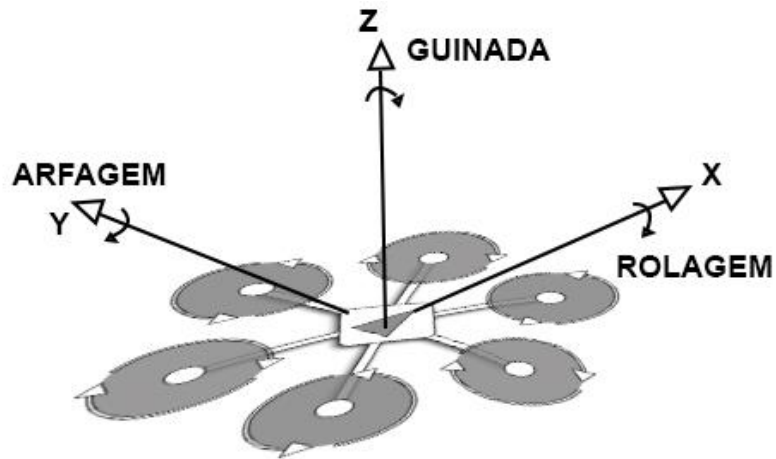


Figura 5: Graus de Liberdade de um Hexacóptero.

Fonte: Do Autor, 2016.

Para realizar a manobra de Arfagem, o drone precisa mudar as rotações dos motores traseiros e dianteiros, fazendo a aeronave ser inclinada para frente ou para trás. Já a manobra de Rolagem muda a rotação dos motores laterais, inclinando o drone para a direita ou para a sua esquerda (Artale, et al. 2013). A Figura 6 mostra as forças de propulsão ($f_1 - f_6$) que são as forças provenientes do deslocamento de ar gerado pelo movimento das hélices. São mostrados ainda as velocidades angulares dos motores ($\omega_1 - \omega_6$) e os momentos aplicados aos braços da estrutura ($\tau_1 - \tau_6$).

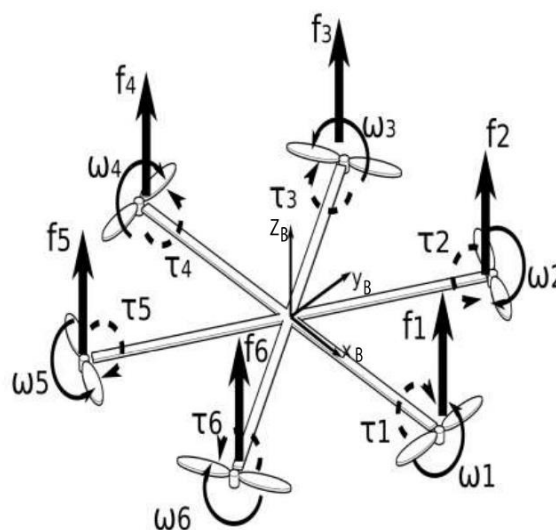


Figura 6: Forças e momentos aplicados à estrutura.

Fonte: Artale, et al., 2012.

Finalmente as duas últimas seções de classificação são: quanto ao controlador e quanto ao sensoriamento. Nestas seções, a discussão está principalmente sobre a existência ou não de certas utilidades na aeronave, no caso do controlador, se há ou não o sistema de piloto automático (ou apenas o rádio controle), e no caso dos sensores, se eles existem e quais tipos de sensores são utilizados.

Com o objetivo de facilitar as análises que se seguem, propõe-se uma forma de classificação geral dos VANT (Tabela 3).

Tabela 3: Classificação geral dos VANT.

Sustentação	Número de Motores	Estrutura	Motores	Aviônica	Sensores
Asa Fixa	Variável	Planadores	-	-	
		Jato Propulsão			
Asa Rotativa	Variável	Helicópteros	Isolados Coaxiais	Rádio Controlados	GPS
		Tricópteros			Ultrasom
		Quadcópteros		Altímetro	
		Hexacópteros		Câmeras	
		Octacópteros		Lasers	

Fonte: Do Autor, 2015.

Utilizando como base essa classificação geral, o modelo selecionado

Segundo a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), VANT remotamente pilotados devem obedecer às resoluções existentes, até que seja aprovada uma lei geral sobre a utilização dos mesmos. No Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial (ANAC, 2015), VANT autônomos não podem voar sem um Certificado de Autorização para Voo Experimental (CAVE). Neste documento são descritas as classes de operação que separam os VANT de acordo com o peso máximo de decolagem em três classes: (1) menores que 25kg, (2) entre 25 e 150kg e (3) acima de 150kg. Segundo a ANAC, os VANT são aeronaves destinadas à operação remota e diferem dos aeromodelos que são destinados apenas à recreação.

Para fins de projeto ainda não existem normas técnicas específicas sobre o projeto de aeronaves remotamente pilotadas. No início de 2015 foi criado o ISO/TC 20/SC 16, subcomitê de Aeronaves não-tripuladas da ISO (2015), com o objetivo de estabelecer novas normas de projeto. Além a iniciativa da ISSO, existem propostas locais de governos e entidades reguladoras sem, contudo, uma norma técnica geral.

Neste trabalho será desenvolvida uma metodologia de projeto de construção de um VANT hexacóptero e, para facilitar a leitura, serão usados termos informais como ‘drone’ (termo em inglês para ‘zumbido’ ou ‘zangão’) e ‘RPA’ (*Remotely Piloted Aircraft*) para as mesmas designações, sem prejuízo de sentido.

1.1 ORGANIZAÇÃO DO PROJETO

No Capítulo 2 descreve-se a metodologia de classificação dos drones utilizada no desenvolvimento do trabalho. São comentados o funcionamento dos sistemas básicos estruturais, eletrônicos e mecânicos do multicóptero, de forma a introduzir os conceitos de aeronáutica e aviônica incluídos no projeto e especificação de um VANT.

No Capítulo 3, apresentam-se as técnicas utilizadas nas simulações e simplificações empregadas no projeto.

No Capítulo 4, cada componente elétrico e de aviônica é brevemente revisto e são extraídas as especificações críticas no desempenho e funcionamento do VANT.

No Capítulo 5, é feita a análise dos custos e são apresentados, também, modelos comerciais e principais fabricantes que foram comparados.

No Capítulo 6, é feita a integração dos dados gerados e são feitas considerações finais de projeto, considerando conclusões e propostas de trabalhos futuros.

2 VEÍCULO AERONÁUTICO NÃO TRIPULADO

No projeto de um VANT existem 6 componentes principais que devem ser detalhados e selecionados para se integrar uma aeronave funcional: Estrutura, Motores, Hélices, Controladores de Velocidade, Controlador de voo e Baterias. A Figura 7 mostra o conjunto de componentes básicos e os opcionais: Sensores e Acessórios, que serão tratados nesse capítulo.

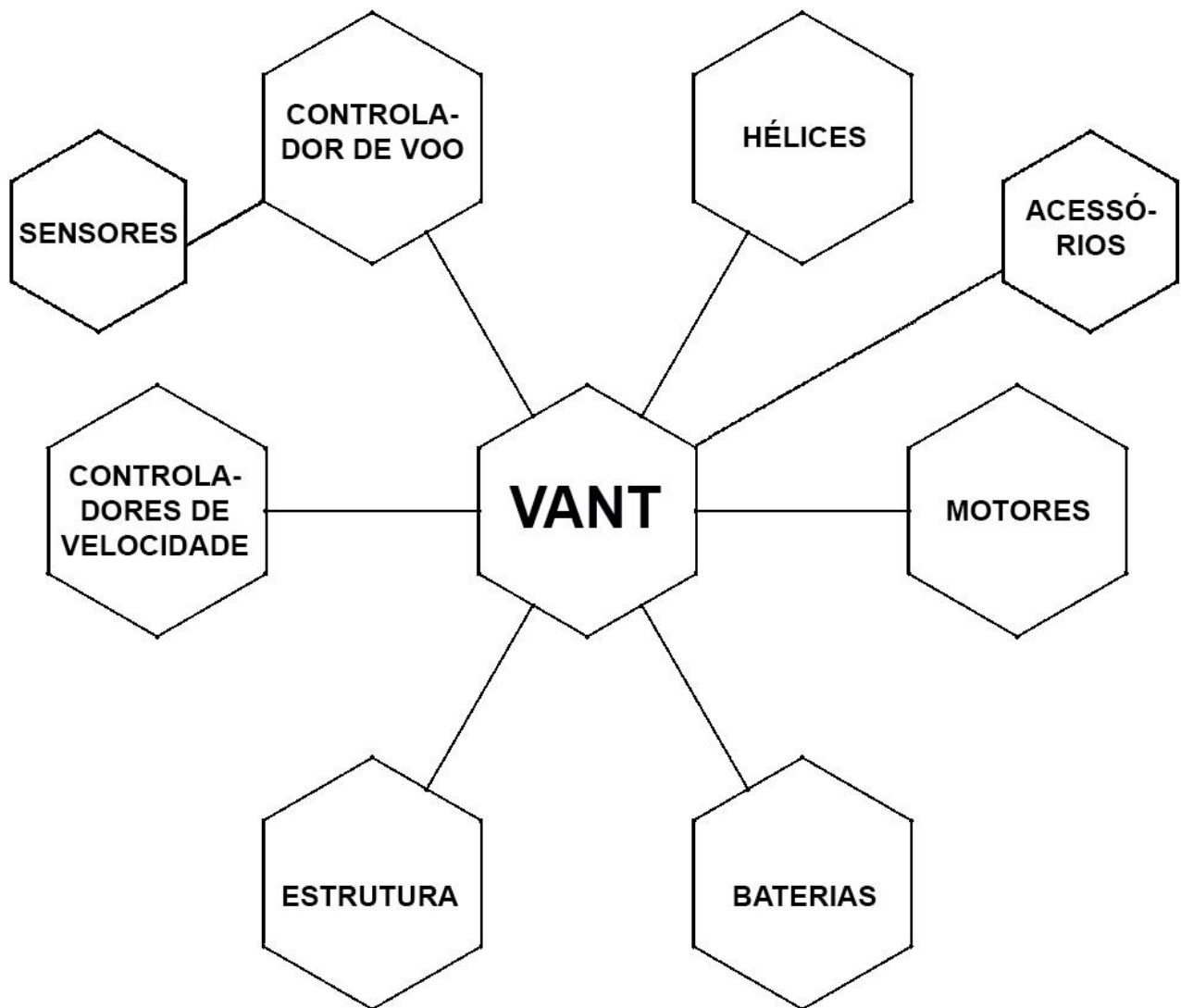


Figura 7: Conjunto de componentes que compõe um VANT.

Fonte: Do Autor, 2016.

2.1 ESTRUTURA

A estrutura básica do corpo do drone é formada por uma região central onde se acoplam os braços e onde ficam fixados os sensores, o controlador de voo e as baterias, nas extremidades dos braços são acoplados os motores e, para algumas configurações, serão necessários suportes para os mesmos. A Figura 8 ilustra o formato simétrico hexagonal do corpo da aeronave.

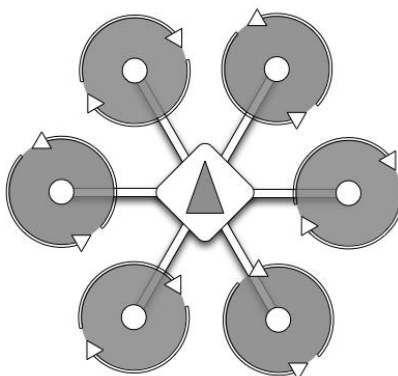


Figura 8: Estrutura do Hexacóptero (Pixhawk, 2015).

Um VANT com seis motores pode ser orientado de duas formas principais, uma com o controlador de voo voltado para um dos motores, chamada de orientação em “+” ou em cruz, e outra com o controlador voltado para o espaço entre dois motores, chamada de orientação em “X” (Pixhawk, 2015). Nesse projeto decidiu-se pela orientação em X para que haja espaço no futuro para o acoplamento, por exemplo, de câmeras frontais.

Para se projetar a estrutura da aeronave foram estabelecidas três partes principais que requerem atenção: as placas centrais, os braços e os suportes para os motores. Considerando que os componentes de conexão e fixação são discutidos mais à frente no trabalho, estes foram desconsiderados nessa fase. Assim, a ordem lógica para se projetar foi estabelecida da seguinte forma: com os braços em primeiro lugar, em seguida as placas principais e finalmente os suportes para os motores.

Observando-se os modelos comerciais de estruturas de hexacópteros (Figura 9), podem ser extraídas algumas informações importantes tais como, por exemplo: as placas centrais são furadas em diversos locais, tanto para fixação de componentes como para a

redução do peso total e os braços representam cerca de 40% da dimensão máxima em cada direção. Outro aspecto importante é a diversidade dos perfis dos braços, que são avaliados mais à frente no trabalho.



Figura 9: Estruturas comerciais de Drones: Dji Flamewheel x550, 3DR Hexa-B, Tarot 680PRO (DJI, 3DR, Hobbyking, 2015).

As placas que formam a plataforma central do drones devem obedecer algumas características simples, serem rígidas para suportar os esforços e manter o formato da estrutura em voo, e oferecer uma área de montagem para os componentes de aviação e baterias.

Uma das preocupações que se tem em uma estrutura de VANT é a fixação adequada dos motores à estrutura, sabendo que o desprendimento de um motor em voo pode gerar um acidente grave. Havendo braços tubulares, ou com perfis que impeçam a fixação direta dos motores, essa preocupação recai sobre os suportes que se acoplam aos braços e à base dos motores.

Feitas essas considerações iniciais, o projetista deve se apoiar em normas técnicas para que haja confiabilidade e garantias de segurança da estrutura, porém, como foi citado anteriormente, ainda não existem normas técnicas que versem especificamente sobre drones. Para efeito de projeto são utilizados os modelos teóricos de resistência dos materiais (Beer e Johnston, 1997) e dados de simulações feitas no software SOLIDWORKS 2016, os resultados são apresentados no capítulo três.

2.2 MOTORES

Apesar de haver bastante divergência entre as classificações de motores pelo autores da área, os dois tipos principais de motores elétricos são os motores com escovas e os sem escovas (“*brushless*”) (Hughes e Drury, 2013). Para as utilizações em drones, que requerem altas rotações e potências relativamente altas, os motores de indução (*brushless*) são amplamente usados por sua eficiência e durabilidade.

Em motores de corrente contínua (DC) para a corrente passar pelas bobinas do rotor ela precisa passar pelas escovas e pelo comutador, o constante atrito das escovas sobre os polos do comutador geram uma constante perda de energia e, conseqüentemente, reduz a eficiência total desse tipo de motor. Nos motores de indução a corrente é passada pelas bobinas do **estator** e o que gera o movimento do **rotor** é a força eletromagnética gerada pelas mesmas (Hughes e Drury, 2013).

Os motores sem escovas utilizam três cabos conectores em seu acionamento e no controle da rotação. Segundo Hughes e Drury (2013) em motores de indução trifásicos comuns (também chamados de assíncronos) há apenas uma pequena faixa de velocidade (dependente da carga sob o eixo do motor) dada uma frequência da corrente. Outras desvantagens desse tipo de motor podem ser citadas como a necessidade de um circuito de partida (para evitar as altas correntes de ligação direta) e a performance ruim em situações transientes (Hughes e Drury, 2013). Essas desvantagens foram parcialmente superadas com o advento da eletrônica de potência, permitindo a construção de circuitos inversores que são capazes de fornecer correntes de frequência variável, ampliando a faixa de utilização desses motores. Ainda assim, os motores assíncronos têm, intrinsecamente, uma taxa de ‘escorregamento’ do campo magnético gerado pelo estator, girando sempre com defasagens em relação à rotação do campo magnético gerado.

Para superar o ‘escorregamento’ do rotor, os motores de indução síncronos têm sido cada vez mais usados nas diversas aplicações, por sua precisão em velocidades variáveis e principalmente por manter uma faixa constante de torque transmitido em diferentes rotações (Hughes e Drury, 2013). Este tipo de motor recebe inúmeros nomes pelos autores da área, que podem gerar certas confusões como motor *brushless* DC (ou BLDC - “*Brushless DC motor*”), apesar de não usar corrente contínua (Hughes e Drury, 2013). Outros nomes como, máquina síncrona, motor de ímã permanente, servo motor de ímã permanente, também são usados e

todos se referem ao mesmo tipo de motor. A Figura 10 mostra um motor síncrono trifásico sem escovas, o circuito esquemático do estator e os ímãs permanentes do rotor.

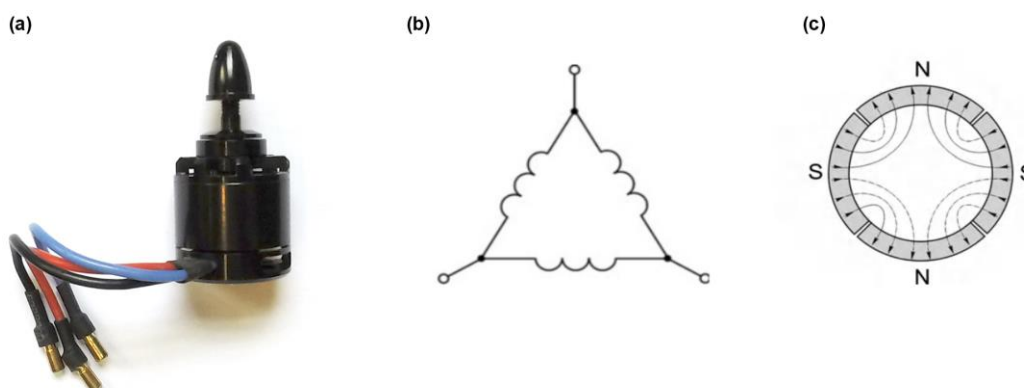


Figura 10: Motor de Indução, esquemas do estator e do rotor.

(7a) Motor Sunnysky X2212-13 (7b) Ligação ‘Delta’ do estator, (7c) Rotor com 4 polos (Hughes e Drury, 2013).

Comercialmente existem inúmeros motores *brushless* de variados fabricantes. Para o projeto foram avaliados os seguintes aspectos: rotação máxima por volt (KV – unidade utilizada pelos fabricantes para representar [rpm/V] como pode-se observar no anexo A), peso, potência (máxima potência contínua) e força de propulsão (usando configurações de bateria e hélices que são discutidas mais a frente).

A seleção dos motores deve levar em conta, principalmente, a força de propulsão. Como o drone depende unicamente da força dos motores (e especialmente dos efeitos de rotação dos mesmos) para manutenção do seu voo e para a realização de manobras, esse deve ser o primeiro ponto de análise. Contudo, não se pode estimar a propulsão necessária sem saber, por exemplo, o peso total da aeronave. Portanto, a escolha dos motores segue um padrão de previsão-revisão, onde o projetista deve estimar (baseado em conhecimentos prévios e dados de projeto) os pesos parciais para se iniciar a análise das características dos rotores. Feita a análise preliminar, o projeto continua para os outros componentes e, na fase de integração, são feitos os devidos ajustes, caso necessários.

2.3 CONTROLADOR ELETRÔNICO DE VELOCIDADE

Para se controlar a rotação de um motor trifásico é necessário um circuito de potência que contenha inversores, sensores e um circuito que seja capaz de controlar os acionamentos. A Figura 11 mostra um circuito utilizado para um motor ligado à rede elétrica convencional.

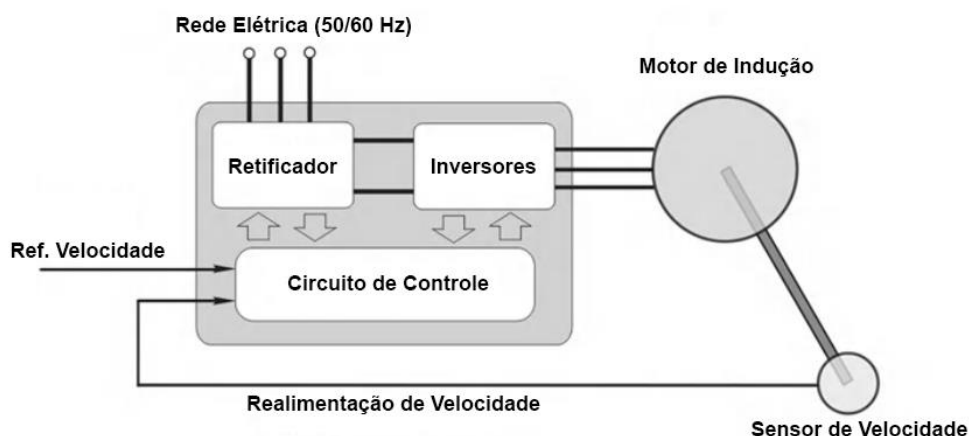


Figura 11: Controlador Eletrônico de Velocidade para motor de indução ligado à rede elétrica. (Hughes e Drury, 2013).

Em um drone, como são utilizadas baterias, elimina-se a necessidade da seção de retificação do circuito, já que as baterias fornecem corrente contínua. O circuito restante (sem o motor) é idêntico ao mostrado na Figura 11 e é chamado de Controlador Eletrônico de Velocidade ou ESC (*Electronic Speed Controller*).

Uma das formas de se fazer a medida da velocidade do motor é medir a intensidade do campo magnético, mais especificamente, da força eletromotriz (EMF - *Electromotive Force*) nas bobinas (Hughes e Drury, 2013). Em um motor *brushless* isso pode ser feito a cada ciclo de acionamento, utilizando o cabo que, naquele ciclo, está inativo. Este método de medida também chamado de contra-EMF ou CEMF é amplamente utilizado em ESCs comerciais por apresentar valores comerciais mais baixos e não requerer, por exemplo, um sensor acoplado à armadura do motor.

Finalmente, para se completar o ciclo de retroalimentação do ESC falta apenas a referência de velocidade, ou, mais precisamente, os dados de entrada (I - *input*) que serão convertidos em informação de saída (O - *output*). Essa referência, em VANT, é fornecida pelo

controlador de voo, dados os seus cálculos, para ajustar as velocidades de cada motor, fazendo a estabilização da aeronave. Nesse sentido, o controlador de voo, envia um sinal digital que é ajustado por Modulação de Largura de Pulso (PWM - *Pulse Width Modulation*).

Segundo Hughes e Drury (2013) o PWM é o controle da largura de pulsos que, em frequências altas, pode gerar sinais de maiores ou menores voltagens. Ao enviar sinais de ativação com maiores tempos nas fases ‘ligado’ o PWM impõe uma voltagem maior na saída, e, ao enviar sinais com maiores tempos nas fases ‘desligado’ a voltagem será menor. Os inversores do ESC têm, como foi discutido anteriormente, a capacidade de inverter o sinal da voltagem de suprimento, sendo possível, então, controlar voltagens positivas e negativas. A Figura 12 mostra como um ESC consegue, dado um suprimento de voltagem DC, fornecer uma onda senoidal.

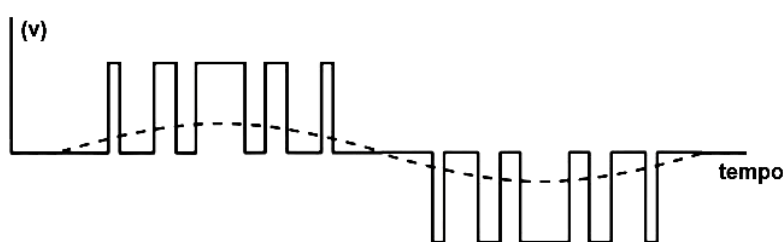


Figura 12: Onda Senoidal gerada por PWM. (Hughes e Drury, 2013).

Feitas essas considerações, para se escolher um ESC comercial, deve-se levar em consideração alguns aspectos importantes, como, por exemplo, qual é a qualidade da execução do seu PWM de saída, em outras palavras, o quanto os seus inversores são precisos em realizar o que será solicitado deles pelo controlador de voo. Este tipo de característica, também chamada de ‘resolução’, é usualmente fornecida pelos fabricantes e está diretamente ligada à qualidade de fabricação dos componentes e do *firmware* do controlador.

Segundo Oliveira e Andrade (2006) o *firmware* é o conjunto de instruções programadas diretamente no *hardware* de um sistema eletrônico. Em um ESC, o *firmware* é responsável pela interpretação dos sinais de entrada em respostas ou saídas para o motor (Oliveira e Andrade, 2006). Apesar de alguns fabricantes instalarem portas para que seja possível atualizar o *firmware* (operação chamada de *flashing*, por ser a atualização de dados

na memória do tipo *Flash* do dispositivo) de seus ESC, este tipo de programa está, geralmente, fixo em um componente do circuito e não pode ser trocado.

2.4 HÉLICES

As hélices de um VANT multirotor são os componentes que trabalham sob as mais severas condições. Sob as hélices atuam: O torque dos motores e a força de arrasto aerodinâmico da propulsão do ar (Johnson, 1980). As hélices ainda sofrem acelerações e desacelerações rápidas para manter a estabilidade do voo do drone, por esses motivos, elas precisam ser componentes resistentes e duráveis, sem, contudo, serem caras, pois são, também, componentes com alto índice de quebra em acidentes.

Diferente do que acontece na maioria dos helicópteros comerciais e até uma parcela dos aeromodelos disponíveis, as hélices de multirotores, geralmente, têm um passo fixo. O passo está associado ao ângulo de seção (β) da hélice, que indica o quanto a hélice está inclinada em relação a seu eixo intrínseco (eixo longitudinal central) naquela seção transversal (Barros, 2016), hélices de helicópteros de passageiros, por exemplo, possuem pás planas e portanto com um β constante. Hélices de multicóptero, usualmente, possuem um β variável ao longo da pá.

O passo, indica o quanto essa hélice seria deslocada realizando um giro completo, essa é uma medida teórica, que não leva em conta, por exemplo, o arrasto aerodinâmico nem a compressão do ar. A Figura 13(a) mostra o nome das partes de uma hélice e a Figura 13(b) mostra os seus ângulos principais.

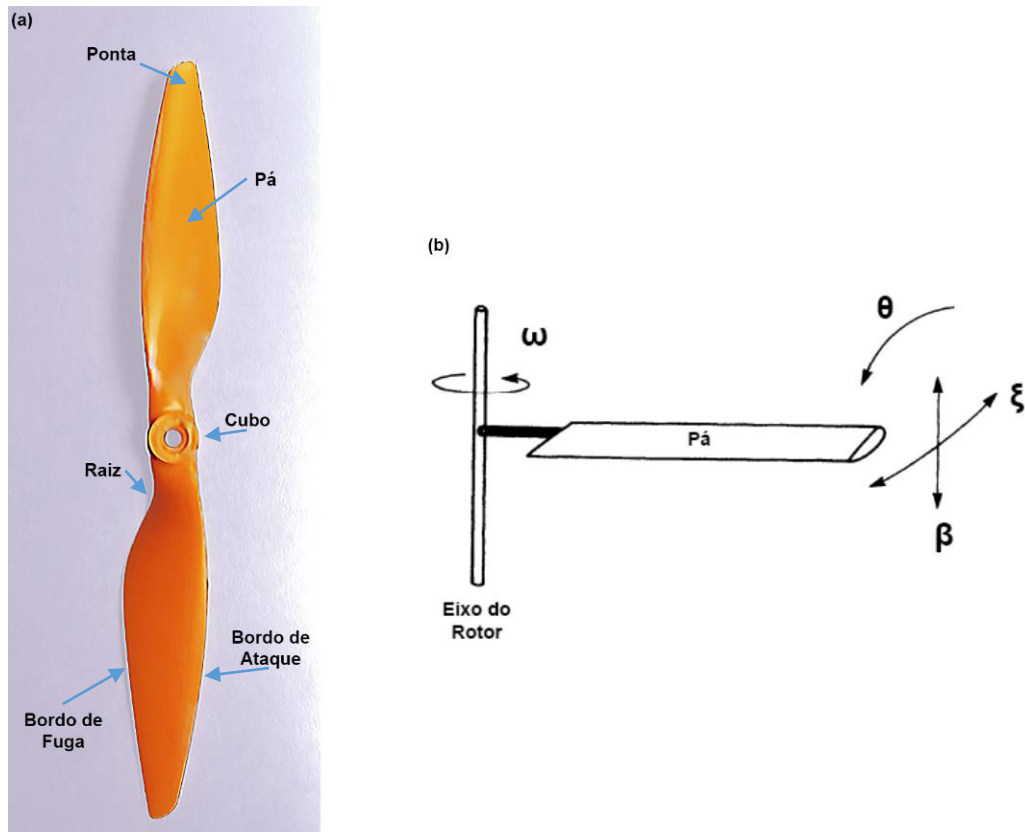


Figura 13: Características construtivas de uma hélice.

(13a) Partes principais da hélice. (13b) Ângulos de interesse (Johnson, 1980).

Hélices comerciais são fabricadas de diversos materiais e são designadas por 2 parâmetros principais, o diâmetro e o passo da hélice. Como exemplo, uma hélice 10x4,5 (mostrada na Figura 13(a), Do Autor, 2016) possui 10 polegadas de diâmetro e 4,5 polegadas de passo teórico. Um passo maior gera propulsões maiores, mas isso vai exigir mais torque do motor, elevando as correntes envolvidas em seu acionamento (Hughes e Drury, 2013). Na próxima seção será feita uma proposta de método de seleção de hélices utilizando o software eCalc para se fazerem simulações.

2.5 CONTROLADOR DE VÔO

Segundo Magni (1997) a principal função de um sistema de controle de voo (FCS - *Flight Control System*) é contribuir para a operação segura e econômica da aeronave. Inicialmente, as aeronaves possuíam sistemas mecânicos, que envolviam cabos, pistões e

alavancas, que se conectavam diretamente aos sistemas responsáveis pela dinâmica de voo. Com o advento da eletrônica e das técnicas de controle, cada vez mais estão sendo aplicados dispositivos mecatrônicos de apoio à pilotagem, desde atuadores eletromecânicos até sistemas robóticos complexos capazes de realizarem pousos e decolagens de aeronaves comerciais, sejam elas de carga ou de transporte de passageiros.

Em um multirotor, a dinâmica de voo pode ser bastante complexa e a sua operação em um modo totalmente manual é impraticável. Isto se dá devido às inúmeras variáveis envolvidas como, diferenças entre os motores, desbalanceamento de hélices, vento, turbulências, vibrações mecânicas e até mesmo falhas elétricas e mecânicas. Neste sentido, o advento dos multirotores só foi possível com o avanço das tecnologias de sistemas embarcados. Microcontroladores cada vez mais rápidos e eficientes têm chegado ao mercado com preços mais acessíveis (Sun, 2012) e essa disponibilidade permitiu os desenvolvimentos do Controladores de Voo Automáticos (AFCS - *Automated Flight Control System*), também chamados de ‘piloto-automático’ ou *autopilot*. A Figura 14 mostra três exemplos de pilotos-automáticos.

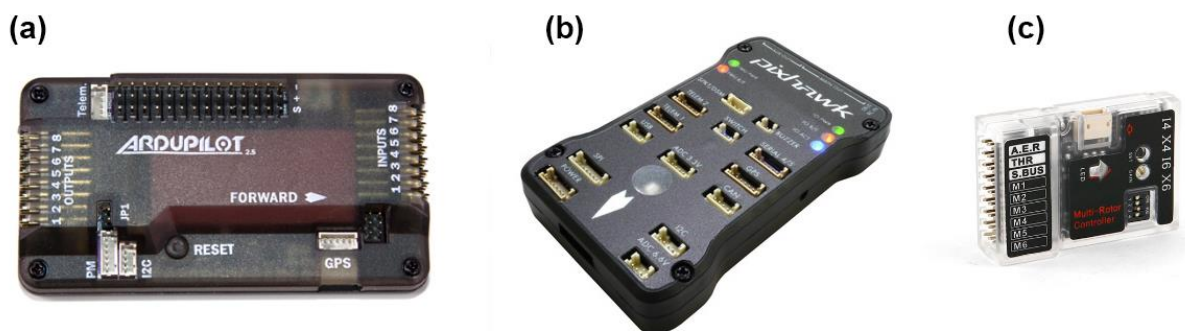


Figura 14: Exemplos de Controladores de Voo: Ardupilot, Pixhawk e Thunder QQ (Ardupilot, 2016, Pixhawk e Hobbyking, 2015).

O piloto-automático de um VANT é responsável, durante a decolagem, o voo e a aterrissagem, por realizar os cálculos da dinâmica da aeronave e responder a todas as mudanças de forma a manter o voo, por exemplo, estabilizado (Artale et al., 2012). Este tipo de sistema de percepção da situação atual do drone (através de sensores) e a concepção de respostas adequadas (através de cálculos pré-programados) é chamada de política ou ‘lei’ de controle (Pratt, 2000). Em diversas situações, o piloto, e até mesmo o AFCS, podem decidir por mudar o **modo de voo**, mudando, assim essa política de controle. Controladores de voo atuais (Pixhawk, 2015) possuem configurações ajustáveis pelo usuário, permitindo, por

exemplo, a definição de diferentes parâmetros (Que formam a política de controle) para customizar os modos de voo do VANT. Em aplicações como fotografia ou filmagem o piloto pode preferir um voo mais estável e suave, enquanto que em uma competição de corrida o piloto pode se voltar para uma política mais ‘agressiva’ de respostas mais rápidas, mesmo que isso gere um modo de voo mais instável ou menos seguro.

A maior parte dos controladores de voo mais modernos como o Pixhawk e o Ardupilot já têm incorporado em suas arquiteturas uma unidade de medidas inerciais (IMU - *Inertial Measurement Unit*). A IMU é um circuito eletrônico dotado de acelerômetros, giroscópios e, algumas vezes, de uma bússola (Magnetômetro) que fornecem informações sobre o posicionamento do VANT para o controlador de voo (Pixhawk, 2015). De acordo com política de controle em ação, o AFCS, usa as informações da IMU para coordenar as respostas dos motores. Controladores como os citados anteriormente, contam, ainda, com sistemas de respostas às falhas ou “*failsafe*”, do inglês, que tentam reagir a possíveis falhas do sistema ou do rádio, por exemplo (Ardupilot, 2016). Esses sistemas são ativados por gatilhos que também podem ser customizados e adaptados para as mais diversas condições.

Algumas características importantes que serão avaliadas para a seleção final do controlador de voo são: A quantidade de entradas e saídas de dados, a capacidade de processamento, a capacidade de voo autônomo, os tipos e especificações de métodos de segurança, tipos de sensores que podem ser acoplados e preço.

2.6 SENSORES E ACESSÓRIOS

Um dos dispositivos importantes no funcionamento de um VANT é o rádio controle, também denominado enlace de rádio. A maioria dos rádios comerciais opera em uma faixa de banda próxima dos 2.4GHz, a mesma faixa que operam o *Wi-Fi*, telefones sem fio, *bluetooth* e, curiosamente, fornos à micro-ondas. Estes dispositivos operam na faixa de banda industrial, científica e médica, conhecida como ISM (*Industrial, Scientific and Medic*) que foi definida em 1985 pela União Internacional de Telecomunicação (ITU) na Suíça (ITU, 2012).

A banda ISM é o conjunto de frequências (Não só as próximas de 2.4GHz) que não são reguladas, seu uso é livre e gratuito, por isso existem tantas aplicações que preferem utilizar essas faixas (ITU, 2012). Em função dessas faixas de banda terem se tornado tão ‘povoadas’, radiotransmissores para controles de drones tendem a ter performances ruins

próximos de ambientes com muitas casas ou muitos dispositivos emissores de ondas da mesma banda.

Rádios modernos para controles de drone utilizam as mais diversas técnicas e protocolos de transmissão para se tornarem mais estáveis, confiáveis e seguros. Uma das maiores fabricantes de rádio do mundo, a Spektrum, é a detentora de uma tecnologia de transmissão de dados via rádio chamada DSMX (Spektrum, 2016). Neste protocolo de transmissão, o próprio transmissor busca por canais livres na banda ISM e fixa o seu receptor nesses canais, desta forma ele pode transmitir com mais **ganho** (uma propriedade de ondas em geral) que aplicações comuns, evitando interferências (Spektrum, 2016). Além deste fabricante pode-se citar outros como Futaba, Turnigy e FlySky. A Figura 15 mostra um transmissor e um receptor Spektrum.

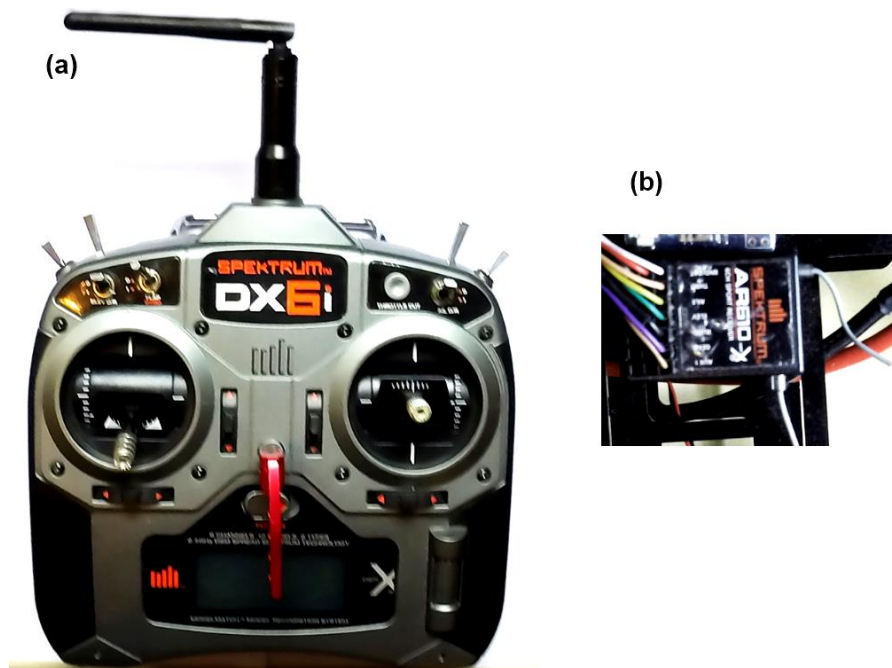


Figura 15: Transmissor DX6i e Receptor AR610X Spektrum (Do Autor, 2015).

Um bom transmissor de rádio é capaz de transmitir informações em mais de uma frequência dentro da banda ISM, cada frequência diferente que o transmissor usa é chamada de **canal**. Para o uso de um drone multirrotor, são necessários, no mínimo quatro canais que serão responsáveis pelos movimentos básicos de rolagem, arfagem, guinada e aceleração dos motores (translação vertical). O transmissor mostrado na Figura 15 transmite em 6 canais DSMX.

Além de todos os componentes já discutidos até aqui, um VANT pode contar com outros dispositivos que podem ser: sensores auxiliares do voo, sensores para reconhecimento/mapeamento do ambiente, câmeras, iluminação, paraquedas, armas, transmissores de vídeo em tempo real, e praticamente qualquer carga que não exceda as limitações de peso da aeronave. Para o presente trabalho são descritos alguns sensores e acessórios que podem servir à pesquisa e à possíveis trabalhos futuros.

Para auxiliar o posicionamento de um drone um sensor que é importante é o módulo de posicionamento global (GPS). Esse sistema trabalha com o sinal de satélites e fornece um posicionamento tridimensional com precisões que podem chegar a menos de 2m (Pilz, et al. 2011). O Sinal de GPS, entretanto, não é muito viável para ambientes fechados, onde se torna impreciso e pode não fornecer um posicionamento correto. Ainda se tratando de posicionamento, sensores como altímetros, barômetros, e ultrassom são ferramentas bastante utilizadas por serem de preços relativamente baixos e de respostas com considerável precisão até em ambientes fechados.

O estado da arte dos sistemas de posicionamento, entretanto, é representado pelos módulos de mapeamento a laser, que podem, em poucos segundos, sondar um ambiente e recriar um mapa tridimensional em seu hardware (Mcfarlane, et al., 2013). Segundo Mcfarlane (et al., 2013) os sistemas de mapeamento à laser (LiDAR) já vêm sendo usados em pesquisas científicas para se avaliar estabilidade de cavernas e até para a contagem de morcegos.

Outro importante sistema, usualmente encontrado em drones, é a telemetria. Os módulos de telemetria podem usar rádio, *bluetooth* e até *Wi-Fi* (Banda ISM) para enviarem a uma estação de solo (Geralmente plugada a um computador) as informações sobre a situação do drone em tempo real. Este tipo de módulo trabalha em conjunto com o controlador de voo, recebendo o máximo de informações possíveis e as repassando ao controle de solo. A telemetria pode dar informações vitais para o piloto como, por exemplo, estado atual das baterias e tempo restante estimado de voo.

Além de informações sobre o estado do drone, alguns módulos especiais de telemetria possuem capacidade de transmitir vídeos em tempo real. Este tipo de módulo pode auxiliar em um resgate aéreo (permitindo o reconhecimento de regiões e pessoas em perigo, por exemplo) assim como permite que o piloto tenha uma visão como se estivesse embarcado na aeronave (Visão em primeira pessoa, do inglês FPV - *First Person View*). Sistemas de FPV têm se tornado cada vez mais confiáveis e robustos, permitindo, por exemplo, a competição

internacional de corrida de drones (Droneworlds, 2016), organizada empresa Rotor Sports, líder mundial em entretenimento com corridas de drones (Rotorsports, 2015).

2.7 BATERIAS

O último grupo de **componentes ativos** de um VANT a ser estudado nesse projeto consiste nas baterias. Como visto anteriormente, na seção de motores e controladores de velocidade, um drone é um dispositivo que opera com correntes altas, neste sentido há uma grande exigência das baterias que fornecem energia para tal. Os multirotores atuais são frutos de desenvolvimentos em diversas áreas, como foi visto, por exemplo, nos controladores de voo, porém, é inegável que as baterias se destacam entre os componentes que mais avançaram.

Desde a década de 70 se fala sobre as ‘baterias plásticas’, que seriam revolucionárias por utilizarem plásticos secos como eletrólito. Apesar desse interesse datar de tantos anos, as baterias tomaram um rumo, desviado do intuito inicial, mais prático. No fim dos anos 90, com o crescimento das baterias de íons de lítio (Li-ion), foi possível criar um tipo de bateria que usa os mesmo íons de lítio, porém separados por uma camada de polímero com poros micrométricos, embebida em um solvente orgânico que servia de eletrólito (Vincent e Scrosati, 1997).

Usando processos de fabricação mais modernos, e melhores técnicas de polimerização, foi possível criar filmes microscópicos de lítio, eletrólito (polímero + solvente) e o anodo de um material compósito, a Figura 16 mostra essas camadas. Esses filmes passaram então a formar novas células de baterias que se tornaram o que hoje se conhece como bateria de LiPO (lítio + polímero) (Vincent e Scrosati, 1997).

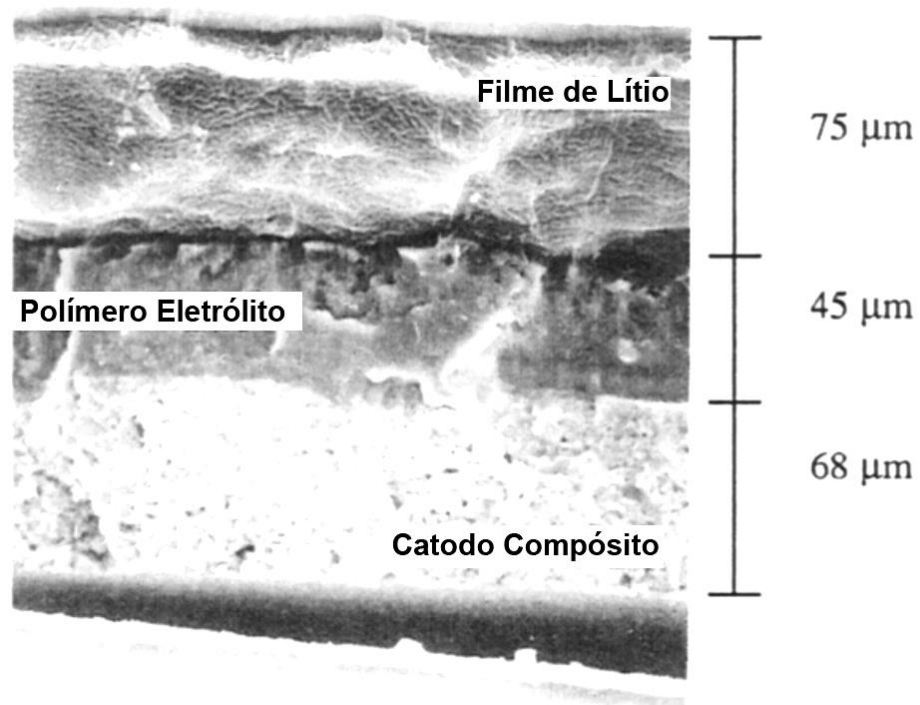


Figura 16: Camadas da bateria de LiPO. (Vincent e Scrosati, 1997)

As baterias de LiPO atuais são as líderes em utilizações de aeromodelos e VANT pelo mundo. Entre as características que as tornaram tão comuns, destaca-se a versatilidade e a variabilidade de modelos, existem baterias que vão, desde cargas baixas como 30 ou 50mAh, até 30000 mAh (Gens Ace, 2016), para uma comparação rápida, um smartphone comum tem uma baterias de li-ion com 1500mah em média. Entre os fabricantes principais pode se citar a Thunder Power, a Gens Ace e a Zippy.

As principais características de uma bateria que se deve levar em consideração, no momento do projeto de um drone, são: Carga, taxa de descarga, número de células e peso. A carga mede, especificamente, a quantidade de energia armazenada nas células eletroquímicas da bateria, a unidade de medida é o Ampere-hora equivalente a 3600 Coulomb. A taxa de descarga, mede o quanto de corrente a bateria é capaz de fornecer e é tratada pelos fabricantes pela designação C, por exemplo, uma bateria de 1000mAh e 2C seria capaz de fornecer uma corrente máxima de 2000mA (2 x 1000) (Hobbyking, 2015). Algumas baterias são de altas descargas e podem chegar a fornecer 80, e até 100C (Gens Ace, 2016). O número de células (S) define quantos grupos de pequenas baterias existe no conjunto comercial vendido, cada grupo ou célula é definido como uma bateria de LiPO de 3,7V, quando descarregadas (limite de descarga de 80% da capacidade total) e 4,2V quando totalmente carregadas. Por exemplo,

a bateria mostrada na Figura 17 é de 3S e 30-40C, com carga total de 3300mAh, para essa bateria a descarga máxima seria 132A e as voltagens mínima e máxima seriam, respectivamente, 11,1V e 12,6V.



Figura 17: Bateria Turnigy Blue – 3300mAh, 3S, 30-40C.

Fonte: Do Autor, 2016.

2.8 CONECTORES, MATERIAIS CONSUMÍVEIS

Finalmente, para a complementação da construção de um drone são necessários alguns componentes consumíveis e conectores, que, algumas vezes, são desprezados pelo usuário amador, mas que podem representar grandes custos quando não bem selecionados.

O primeiro material consumível importante é a solda. Apesar de haver uma tendência dos fabricantes de oferecerem produtos já acoplados aos seus respectivos conectores, muitos componentes são vendidos em sua forma mais ‘crua’, exigindo, por exemplo, que o usuário

solde os próprios conectores. Essa necessidade de se ‘modificar’ os produtos oferece vantagens e desvantagens, por exemplo, isso livra o usuário de ter que adaptar o seu projeto às especificações de conectores do fabricante, mas, por outro lado, representa um trabalho adicional no momento da montagem.

A principal solda utilizada para componentes eletrônicos é uma liga de Estanho (Sn) e outros materiais. No passado, a solda mais utilizada era SnPb, uma liga com concentrações próximas de 40% Estanho e 60% Chumbo, mas como o chumbo é tóxico e poluente, os fabricantes tem escolhido usar ligas com Ouro, Prata, Alumínio e até Carbono (Multicore, 2016). Ligas com menos Chumbo usualmente possuem pontos de fusão mais altos e são mais trabalhosas de se utilizar. Para auxiliar o usuário, os fabricantes vendem alguns fios de solda (sem chumbo) com núcleos ‘recheados’ com um fluxo de resina ou lubrificantes que protegem a solda e os contatos elétricos (Multicore, 2016), e facilitam a soldagem.

Outros importantes componentes são os conectores dos motores para os ESCs e o conector da Bateria. Esses conectores podem ser de diversos tipos e existem variados fabricantes. Para o presente trabalho são usados os conectores do tipo “*bullet*” de 3,5mm para os motores e o conector T ou “*Deans*” para a bateria. A Figura 18 mostra um conjunto de conectores “*bullet*” e “T”.

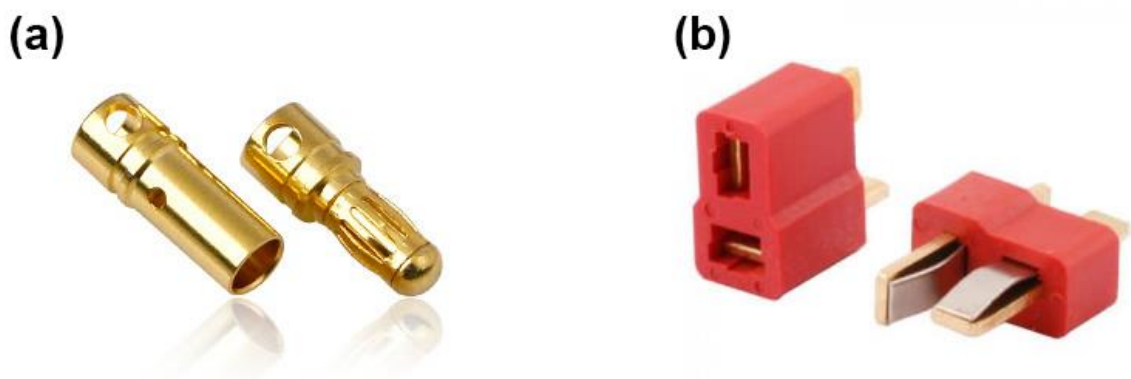


Figura 18: Conectores “Bullet” 3.5mm foleado a ouro e plug “Deans”.

(Helibuy e Robomart, 2016).

Finalmente, o último componente importante na integração de um circuito de VANT é uma unidade de distribuição de energia (PDU - *Power Distribution Unit*). Apesar de se poder

soldar todos os componentes diretamente uns nos outros, é melhor criar pontos de conexão intermediários que permitam, por exemplo, a troca de componentes que venham a sofrer algum dano. Para facilitar este tipo de troca os ESCs não são soldados entre si, eles serão soldados à conectores “T” que serão então ligados a uma PDU fixada em uma parte central do drone. A Figura 19 mostra uma PDU comercial.

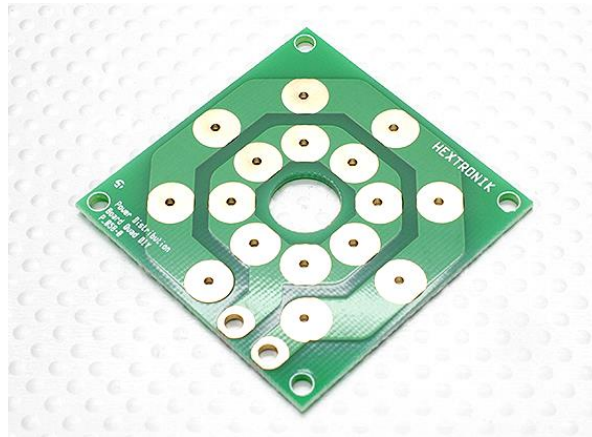


Figura 19: Unidade de Distribuição de Energia sem os conectores. (Hobbyking, 2015).

3 PROJETO E SIMULAÇÃO DA ESTRUTURA

Tendo visto os componentes fundamentais, é possível, então, passar à fase de seleção geral e integração dos resultados. Para realizar a avaliação da estrutura foi utilizado o software SOLIDWORKS 2016, que é capaz de executar o método os elementos finitos (MEF). As dimensões aproximadas foram extraídas de *frames* comerciais, e os braços foram definidos com 320mm e a diagonal da placa central (hexagonal) com 180mm. O material escolhido foi o polímero PC-ABS, uma mistura de policarbonato (PC) com acrilonitrila butadieno estireno (ABS, do inglês “*acrylonitrile butadiene styrene*”), esse polímero é um dos utilizados em impressoras 3D, o que facilita a fabricação, por eliminar outras operações como, por exemplo, de usinagem.

Para se iniciarem as simulações, foi feito um teste básico com a geometria mostrada na Figura 20. Nesse teste, um perfil retangular foi desenhado, de forma a contar um chanfro na base (que seria presa à estrutura central) para, deliberadamente, concentrar tensões. Esse teste serve para se ter uma margem do quão altas podem ser as tensões dado uma condição extrema e se o material escolhido pode suportar as tensões às quais vai ser submetido.

Para o braço de perfil retangular (35x20mm) a simulação-teste retornou uma deformação máxima de 1,8mm para uma força vertical de sustentação de 12N e 2,7mm para a força máxima de 18N. Ambos os resultados apresentam uma deformação aceitável e as tensões numa margem admissível em todo o corpo da peça ($\sigma_{\text{máx}} < 2,5 \times 10^6$ Pa). A Figura 20 ilustra a distribuição de tensões e a deformação máxima da peça.

Segundo Krache e Debbah (2011), o PC-ABS com 30% de PC (que apresenta os menores valores de tensão de ruptura entre outras composições) possui um σ_r de, aproximadamente, 30MPa, doze vezes maior que a tensão encontrada, permitindo assim, que o perfil seja mais leve sem se perca a segurança de projeto. Foi definido um coeficiente de segurança (CS) igual a 6 e, conseqüentemente, uma tensão máxima admissível (σ_{adm}) de 5Mpa (Beer e Johnston, 1995).

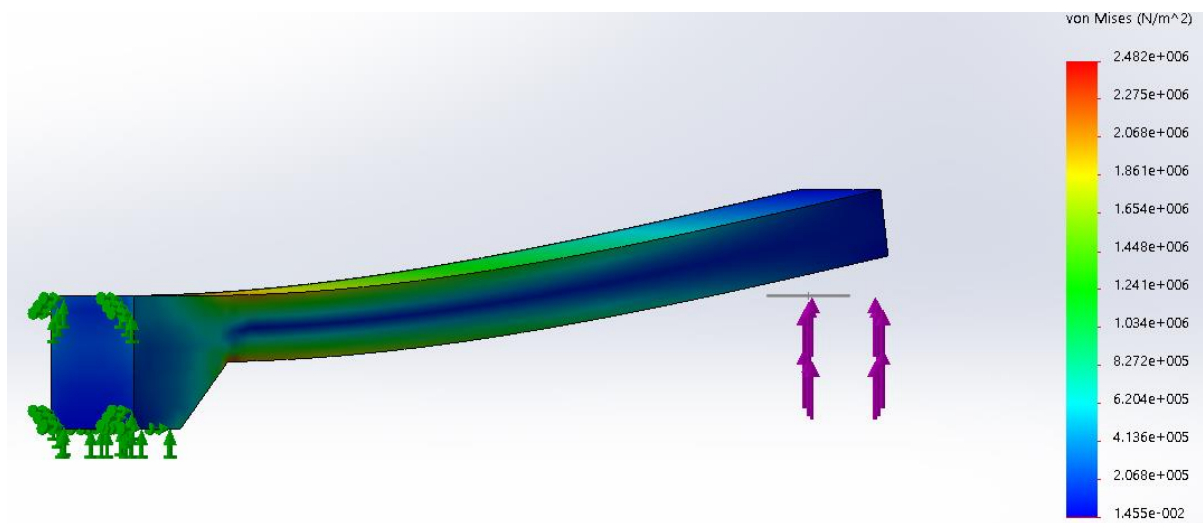


Figura 20: Simulação-Teste do braço de perfil retangular com a força de 18N.

Fonte: Do Autor, 2015.

Em seguida foram projetados um braço de perfil tubular quadrado de 30x30mm com 2,5mm de parede, outro perfil tubular quadrado (25x25x2,5), e perfis tubulares circulares com diâmetros de 25, 20, 15 e paredes de 3mm. Foram feitos ainda dois perfis especiais, um com um perfil tubular quadrado (30x30x5) com furos quadrados em toda a sua extensão e outro com um perfil retangular (20x30x2). A Tabela 4 mostra os valores das tensões, dos deslocamentos máximos para cada força e o valor da massa de cada perfil.

Tabela 4: Comparação entre as simulações de perfis de braços.

Perfil	Massa [g]	Força de 12N		Força de 18N	
		$\sigma_{\text{máx}}$ [MPa]	$\Delta_{\text{máx}}$ [mm]	$\sigma_{\text{máx}}$ [MPa]	$\Delta_{\text{máx}}$ [mm]
Teste com Chanfro	261,15	1,65	1,8	2,5	2,7
Quadrado 30x30x2,5	88	2,04	1,59	3,06	2,38
Quadrado 25x25x2,5	72	3,05	2,86	4,58	4,28
Circular 25x2	96,5	1,08	0,65	1,62	0,98
Circular 20x2	76,4	1,99	1,29	2,99	1,93
Circular 15x3	81	2,44	2,33	3,66	3,5
Quad. Furado 30x30x5	99	2,16	1,94	3,25	2,9
Retangular 20x30x2	63	3,2	2,55	4,82	3,83

Fonte: Do Autor, 2016.

Como todos os perfis apresentaram tensões e deslocamentos bastante reduzidos, a massa foi o critério mais importante na seleção de um perfil, por esse parâmetro o perfil retangular foi o selecionado. Com uma massa de 63g, a estrutura com 6 braços passa a ter 378g até então. A Figura 21 mostra o resultado da simulação.

Os deslocamentos máximos de 3,83mm não representam grandes problemas para a estabilidade do voo dado que o próprio controlador de voo vai contrabalancear estes pequenos movimentos com a mudança das velocidades dos motores. Um controlador de voo avançado pode chegar a taxas de atualização dos parâmetros de velocidade de até 50Hz, tornando os deslocamentos de estrutura desprezíveis.

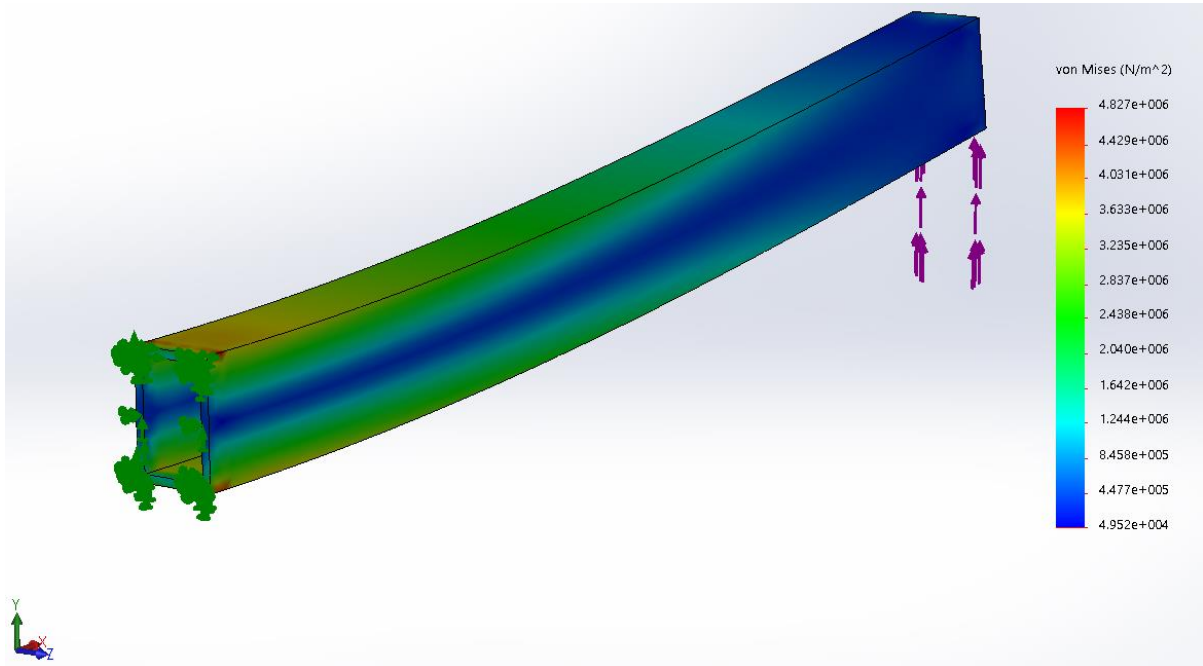


Figura 21: Simulação do braço de perfil retangular.

Fonte: Do Autor, 2016.

Como o braço selecionado tem um perfil retangular não serão necessários suportes para os motores, eles podem ser aparafusados diretamente à estrutura. A última parte da estrutura consiste nas placas centrais. Para simplificar o projeto, foram selecionadas placas centrais hexagonais com furos para a fixação dos outros componentes. A Figura 22 mostra a montagem do drone, que possui 71,72g em cada placa central, como tem-se uma superior e outra inferior, a massa total da estrutura torna-se 521,44g. O preço das peças da estrutura, obtidas por uma impressão 3D, foi estimado pelo site Cammada (2016) resultando em R\$67 para cada placa central e R\$58 para cada braço.

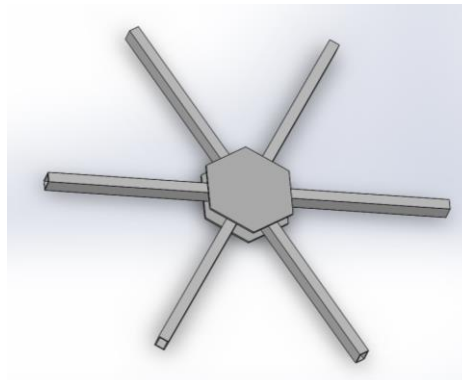


Figura 22: Montagem da Estrutura do Drone. (Do Autor, 2016.)

4 SELEÇÃO DE COMPONENTES ELÉTRICOS E DE AVIÔNICA

Feitas as considerações sobre a estrutura, o próximo passo é a seleção de motores. Utilizando informações de lojas como a Hobbyking (2015), Helibuy (2016) e Robomart (2016) e pesquisas rápidas por sites de compra e venda online, foi possível extrair as informações de cada motor e a montagem das Tabelas 5 e 6, que mostram a comparação entre os motores avaliados.

Tabela 5: Comparação entre os motores.

Motor	Fabricante	KV [rpm/V]	Potência [W]	Massa [g]	Preço médio [R\$]
MT4108	Quantum	700	560,6	108	162,30
MT3110	Quantum	470	386	83	140,70
X2826	Sunnysky	880	900	171	191,50
V3508	Sunnysky	580	280	107	134,23
Multistar 3525	Turnigy	650	250	58	106,50
Multistar 3508	Turnigy	580	340	102	202,92

Fonte: Do Autor, 2016.

Tabela 6: Comparação de forças de propulsão por motor.

Motor	Propulsão Média por Tipo de Bateria + Hélice [N]			
	5s + 1045	5s + 1047	6s + 1045	6s + 1047
MT4108	9,98	10,17	13,41	13,64
MT3110	5,25	5,41	7,33	7,49
X2826*	14,14	14,37	18,49	18,75
V3508	7,21	7,35	-	-
Multistar 3525	7,80	7,93	-	-
Multistar 3508	7,50	7,41	8,70	8,51

Fonte: Do Autor, 2016.

Na Tabela 6 os motores V3508 e Multistar 3525 não podem operar com uma bateria 6S, essa operação excede o limite de corrente estipulado pelo fabricante e poderia queimar os

motores. Por outro lado, o motor X2826, marcado com um asterisco, precisou de um ESC com maior capacidade para ambas as baterias, isso se justifica por sua potência ser tão alta.

Observando-se as informações das Tabelas 5 e 6 o motor selecionado foi o Quantum MT4108. Apesar dele ser o segundo motor mais pesado da lista, ele apresentou as melhores forças de propulsão com todas as configurações analisadas (excluindo o X2826 que, além de mais pesado, requer um ESC mais potente para operar).

Feita a consideração dos motores, ficam também definidas as configurações de baterias e ESCs. Para as análises realizadas acima foram feitas simulações no software eCalc e os parâmetros definidos foram:

- ESC para 30A.
- Hélices 10x4,5.
- Bateria LiPO de 6S, 35-50C e com carga próxima de 6000mAh.

A Tabela 7 mostra os dados avaliados na seleção dos ESCs.

Tabela 7: Comparação dos ESCs.

ESC - Fabricante	Firmware	BEC	Massa [g]	Preço [R\$]
30A Afro	SimonK	Opto	26,5	49,96
Turnigy Multistar 30A	BLHeli	SBEC	35	36,16
Turnigy Plush 30A	*	LBEC	25	47,70

Fonte: Do Autor, 2016.

O ESC selecionado foi o Turnigy Multistar 30A, por apresentar um bom “*firmware*”, um bom BEC e ser o mais barato. Apesar de ele ser mais pesado que os outros, o aumento em 60g totais adicionais não supera suas outras características.

As principais hélices comerciais disponíveis são as de plástico, fibra de vidro e fibra de carbono. Como se trata de um drone para aplicações de pesquisa, que podem envolver acidentes e necessidade de troca de componentes danificados, a escolha é pelas hélices de plástico. A grande desvantagem dessas hélices é que não se garante um bom balanceamento

de fábrica, o que pode exigir um trabalho extra para o usuário. Porém, nesse contexto, prezou-se pela segurança e a limitação de orçamento.

As baterias comerciais disponíveis estão especificadas na Tabela 8.

Tabela 8: Comparação de Baterias.

Bateria - Fabricante	Capacidade De Carga [mAh]	Capacidade de Descarga [C]	Massa [g]	Preço [R\$]
Zippy Compact	5800	25	843	353,11
Turnigy	5800	25	914	348,81
Gens Ace	5300	30	800	564,96
XLS Xtron	5300	30	870	498,32

Fonte: Do Autor, 2016.

A bateria selecionada foi a Zippy Compact de 5800mAh por ter apresentado a menor massa e o segundo menor preço.

A aviãoica compreende os componentes de eletrônica embarcada que trabalham com as informações de voo e executam a navegação, gerenciamento, controle (Controlador de Voo), a comunicação (Rádio) e o sensoriamento (Sensores). Apesar de terem sido feitas considerações sobre os sistemas de rádio e sensores, estes componentes estão intimamente ligados às propostas de utilização do drone e devem, apenas, serem especificado com foco nos objetivos de uma aplicação prática. Por exemplo, sensores de proximidade de outras aeronaves são dispositivos que podem apresentar custos elevados e que só devem ser considerados em um sistema que vá interagir com outras aeronaves.

Neste capítulo são discutidas as propostas de seleção de controlador de voo, especificados nas Tabelas 9 e 10.

Tabela 9: Preços, massas e processadores dos Controladores de Voo

Controlador	Processador	Massa [g]	Preço [R\$]
Ardupilot	Atmega 2569	38	409,00
Pixhawk	ARM Cotex M4	38	1395,00
Open CC3D	ARM STM 32bits	11	129,99
DJi Naza	Não divulgado	25	419,00

Fonte: Do Autor, 2016.

Tabela 10: Detalhamento dos Controladores de Voo.

Controlador	Sensores*	Cap. Voo Autônomo	Modos de Voo	Observações
Ardupilot	IMU de 6 graus de liberdade, Barômetro.	Apenas com a definição de missão pela estação de solo.	Customizáveis	-
Pixhawk	IMU de 6 graus de liberdade, giroscópio e acelerômetros auxiliares, Barômetro.	Modo missão, definição pela estação de solo e em caso de falhas críticas.	Customizáveis	Coprocessador (ARM STM 32bits) para lidar com falhas.
Open CC3D	IMU de 6 graus de liberdade.	Incapaz	Modo de voo fixo, definido pela estação de solo.	-
DJi Naza	IMU de 6 graus de liberdade.	Apenas com a definição de missão pela estação de solo.	Ajustáveis.	-

*O Campo dos Sensores se refere à sensores que estão embutidos no controlador.

Fonte: Do Autor, 2016.

Entre os controladores de voo poderia haver divergências na seleção, se esta estivesse orientada a uma pesquisa específica, no caso de uma pesquisa que apenas requer o voo, talvez se optasse por um controlador mais barato como o Open CC3D. Como o objetivo deste trabalho é desenvolver uma plataforma robusta e generalista, optou-se pela Ardupilot por ser um hardware aberto, com uma ampla capacidade e recursos variados. Com os componentes avaliados e selecionados até esta parte do projeto já é possível construir um VANT.

A Figura 23 mostra um esquema de integração de todos os componentes e as conexões que devem ser feitas para o funcionamento do VANT.

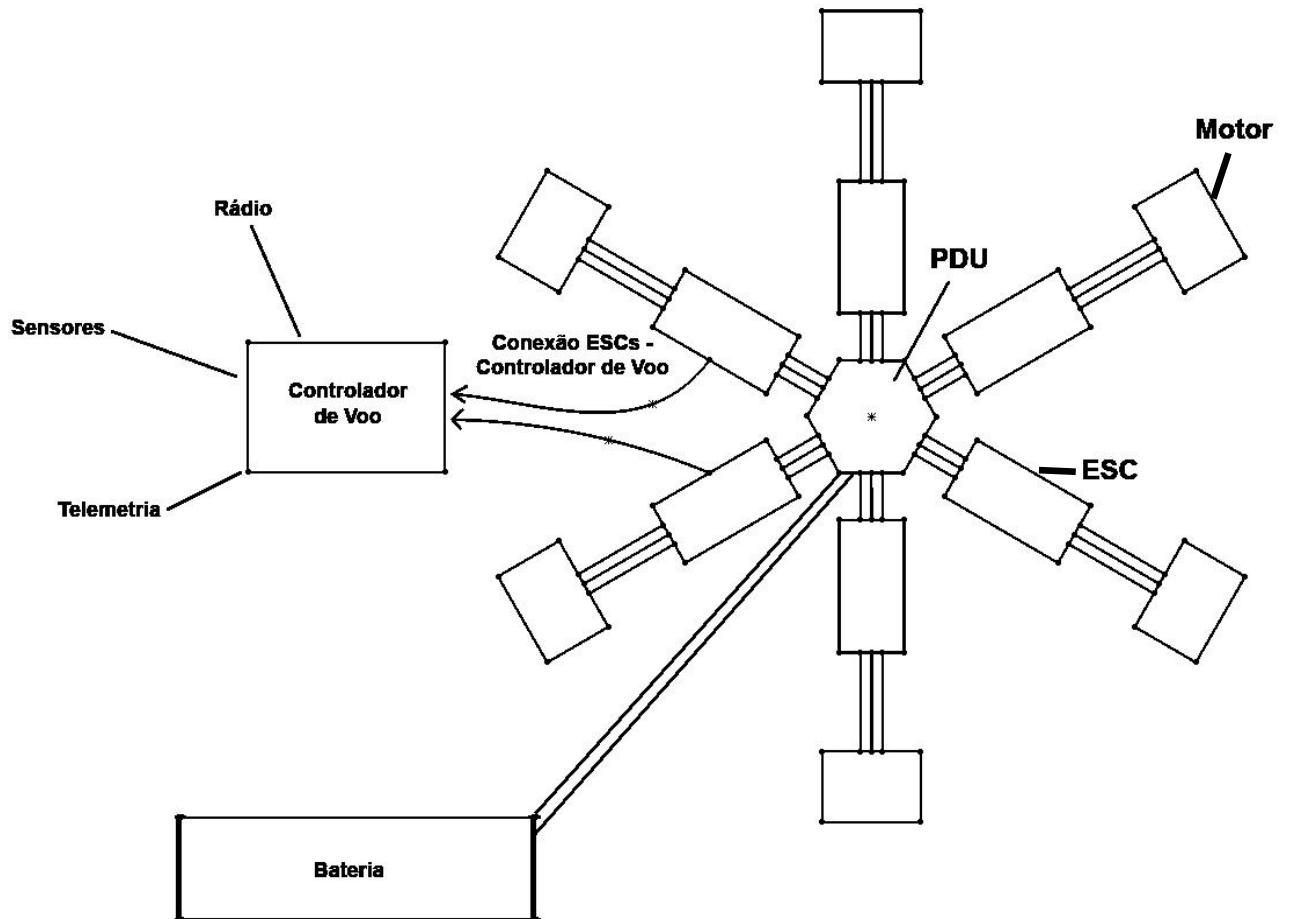


Figura 23: Integração dos componentes selecionados.

Fonte: Do Autor, 2016.

5 AVALIAÇÃO DE CUSTOS

Como resultado foi gerada a Tabela 11 de custos gerais, com os componentes selecionados e uma estimativa de preço para os materiais consumíveis e conectores. O valor final do drone também é indicado.

Tabela 11: Relação de Massas e Preços.

Componente	Quantidade	Massa Un. [g]	Massa total [g]	Preço Un. [R\$]	Preço Total [R\$]
Placa Central	2	71,72	143,44	67	134
Braço	6	63	378	58	348
Motor	6	108	648	162,3	973,8
ESC	6	35	210	36,16	216,96
Bateria	1	843	843	353,11	353,11
Cont. de Voo	1	38	38	409	409
Hélice	6	5	30	7,49	44,94
Consumíveis	1	50	50	60	60
		Massa Total:	2340,44	Preço Total	2539,81

Fonte: Do Autor, 2016.

Os preços discutidos até aqui não levam em conta o trabalho de engenharia do projeto nem a mão-de-obra do trabalho de montagem do equipamento. Um drone deste tipo pode levar de 15 a 20 horas de homem-hora de trabalho desde a separação das peças e soldagens iniciais até a finalização da montagem.

Para se realizar uma comparação dos custos de um drone com a mesma classe de operação e as mesmas características de voo, foi feita uma pesquisa de modelos comerciais prontos para voar (RTF, *Ready to Fly*). Os modelos foram escolhidos com base em sites de lojas, com o objetivo de aproximar características como carga máxima, carga da bateria, controlador de voo e preço. A tabela 12 mostra uma comparação entre três modelos comerciais e o drone proposto pelo trabalho. Uma forma de se comparar os drones foi a

relação de preço por carga [R\$/kg], esta unidade dá uma aproximação do custo por quilograma dado o custo total do drone.

Tabela 12: Comparação com modelos comerciais

Modelo	Bateria [mAh]	Controlador	Preço [R\$]	Carga Útil [kg]	R\$/kg
Proposto	6000	Ardupilot	2539,81	4,5	564,40
DJi F550	5500	DJi Naza	6418,30	3,8	1689,03
Tali H500	5400	Walkera	7349,64	2,7	2722,10
DJi S900	16000	A2	25360,20	5,8	4372,45

Fonte: Do Autor, 2016.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Os drones têm crescido em utilização nas mais diversas áreas e apresentam inúmeras possibilidades de pesquisa e desenvolvimentos. Há uma comunidade de usuários amadores e profissionais que utilizam os VANT se apoiando em experiências próprias e no conhecimento disseminado pela internet, sem, geralmente, contar com dados científicos a respeito desses dispositivos.

O amadorismo e o empirismo do “*faça você mesmo*” tem uma aplicação educativa importante que não pode ser descartada como na metodologia do “*hands-on*”, porém, há hoje uma necessidade de estudos teóricos mais avançados no projeto e especificação de drones. Essa necessidade se mostra nas crescentes iniciativas de governos e grupos de pesquisa em se criarem normas e regulações para que haja consenso entre o que vem sendo desenvolvido pelo mundo.

Empresas de fabricantes como a 3DR e de entretenimento como a Rotorsports representam a vanguarda de um tipo de tecnologia que protagoniza, cada vez mais, desenvolvimentos científicos em grandes áreas da engenharia como a Mecânica, a Aeronáutica e a Mecatrônica. Essas áreas sempre tiveram uma grande interação, que agora se torna mais próxima e dá resultados promissores.

Neste trabalho mostrou-se que o projeto de um drone leva em conta inúmeros parâmetros, desde a capacidade de carga de baterias até a dinâmica de rotação de uma hélice acoplada a motores elétricos de alta potência. Esse conjunto de informações multidisciplinares exhibe a complexidade deste tipo de projeto.

O Hexacóptero se mostrou um dispositivo robusto e capaz de sustentar cargas severas, com 2,3kg de massa própria, com até 5,8kg de carga adicional. Essa ‘folga’ de carga representa uma infinidade de possibilidades de trabalhos futuros, desde o acoplamento de dispositivos para imagens, sensores e até equipamentos para pesquisa de aerodinâmica.

Para uma ferramenta tão robusta e que serve de base para diferentes aplicações seria de se esperar um valor elevado, o que não se comprova pelo trabalho. O preço final de R\$2539,81 é considerável, porém se mostra muito abaixo do valor comercial de um drone deste tipo, que pode ultrapassar, facilmente, R\$8000 para cargas próximas de 2kg e mais de R\$15000 para cargas próximas de 5kg.

O projeto poderia ainda ter levado em conta a fabricação artesanal de componentes da eletrônica de potência, e até buscar materiais e métodos diferentes para a fabricação da estrutura, representando, ainda mais, um compêndio de inteligência no projeto de drones. No escopo do que foi proposto, no entanto, o trabalho se desenvolveu de forma satisfatória e alcançou o seus objetivos principais de detalhar um projeto de um drone, fornecer referências e métodos de estudo e seleção de seus componentes.

Este trabalho visa, ainda, ser uma referência para a construção de um drone hexacóptero completo, desde a seleção dos componentes comerciais que devem compor o produto final até a fabricação da estrutura que foi projetada e simulada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 3D ROBOTICS, “Updated ArduCopter Kits”, disponível em: <https://3dr.com/updated-arducopter-kits/>, acesso em 15 de Dezembro de 2015.
- ANAC, “Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial”, RBAC-E no 94, 2015.
- ARDUPILOT, Site Oficial do Ardupilot Mega, disponível em: <http://http://www.ardupilot.co.uk/>, acesso em 11 de Janeiro de 2016.
- ARTALE, V., MILAZZO, C., RICCIARDELLO, A., “Mathematical Modeling of Hexacopter”, Applied Mathematical Sciences, Vol.7, no. 97, 4805-4811, 2013.
- BARROS, J. E. M., “Notas de aula da disciplina Propulsão I”, Engenharia Aeroespacial, Universidade Federal de Minas Gerais, disponível em: http://www.mautone.eng.br/lectures_notes.htm, Acesso em 19 de Fevereiro de 2016.
- BEER, F. P., JOHNSTON, E. R., “Resistência dos Materiais”, Pearson Makron, 1995.
- CAMMADA, “Sua impressão 3D acontece aqui”, Site Oficial, disponível em: <http://cammada.com/>, acesso em: 08 de Março de 2016.
- DHL, Site oficial da empresa, disponível em: <http://www.dhl.com/en.html>, acesso em 20 de Março de 2016.
- DJI, “Flame Wheel Arf Kit”, disponível em: <https://www.dji.com/product/flame-wheel-arf?www=v1>, acesso em 15 de Dezembro de 2015.
- DRONEWORLDS, “2016 World Drone Racing Championships”, disponível em: <http://droneworlds.com/>, acesso em 3 de Março de 2016.
- GENERAL ATOMICS, “Grey Eagle UAS”, disponível em: <http://www.ga-asi.com/gray-eagle>, acesso em 20 de Março de 2016.
- GENS ACE, “Multicopter Batery”, disponível em: <http://www.gensace.com/multicopter-battery>, acesso em 4 de Março de 2016.
- HELIBUY, Site oficial da loja, disponível em: <http://www.helibuy.com/>, acesso em 27 de Janeiro de 2016.
- HOBBYKING, Site oficial da loja, disponível em: <http://www.hobbyking.com/>, acesso em 10 de Novembro de 2015.
- HUGHES, A., DRURY, B., “Electric Motors and Drives”, 4^a ed., Elsevier, Waltham, 2013.
- ISO, International Organization for Standardization - ISO/TC 20/SC 16 Unmanned aircraft systems, disponível em: www.iso.org/iso/technical_committee?commid=5336224, acesso em Novembro de 2015.

ITU, “Radio Regulations Articles”, vol. 1, International Telecommunication Union, Geneva, 2012.

JOHNSON, W., “Helicopter Theory”, Dover Publications, New York, 1980.

KEANE, J. F., CARR, S. S., “A Brief History of Early Unmanned Aircraft”, Johns Hopkins APL Technical Digest, V32, N3, 2013

KRACHE, R., DEBBAH, I., “Some Mechanical and Thermal Properties of PC/ABS Blends”, Materials Sciences and Applications, v. 2, 2011.

LEISHMAN, J. G., “A History of Helicopter Flight”, Universidade de Maryland, 2000.

MAGNI, J. F., BENNANI, S., TERLOU, J (Eds.), “Robust Flight Control: A Design Challenge”, Garteur Action Group, Springer-Verlag, 1997.

MCFARLANE, D. A., BUCHROITHNER, M., LUNDBERG, J. PETERS, C., ROBERTS, W., VAN RENTERGEN, G., “Integrated Three-Dimensional Laser Scanning And Autonomous Drone Surface-Photogrammetry At Gomantong Caves, Sabah, Malaysia”, Proceedings of the 16th International Congress in Speleology, Brno, 2013.

MULTICORE, “Properties of Solders”, disponível em: <http://www.farnell.com/datasheets/315929.pdf>, acesso em: 11 de Fevereiro de 2016.

OLIVEIRA, A. S., ANDRADE, F. S., “Sistemas embarcados: hardware e firmware na prática”, Editora Érica Ltda, 2006.

PILZ, U., GROPPENGIEßER, W., WALDER, F., WITT, J., WERNER, H., “Quadrocopter Localization Using RTK-GPS and Vision-Based Trajectory Tracking”, 4th International Conference, ICIRA 2011, Aachen, 2011.

PIXHAWK, Site oficial do Hardware Pixhawk, disponível em: <https://pixhawk.org/>, acesso em 15 de Dezembro de 2015.

PRATT, R. W. (ed), “Flight Control Systems - practical issues in design and implementation”, IEE & AIAA, Padstow, 2000.

ROBOMART, Site oficial da loja, disponível em: <https://www.robomart.com>, Acesso em 27 de Janeiro de 2016.

ROSKAM, J., “Airplane Flight Dynamics and Automatic Flight Controls”, DARcorporation, Lawrence, 2003.

ROTORSPORTS, “From Esports To Live Events”, disponível em: <http://rotorsports.com/>, acesso em: 24 de Novembro de 2015.

SPEKTRUM, “DSMX® Technology”, disponível em: <https://www.spektrumrc.com/Technology/DSMX.aspx>, acesso em 27 de Fevereiro de 2016.

SUN, Y., “Modeling, Identification and Control Of A Quad-Rotor Drone Using Low-Resolution Sensing”, Universidade de Illinois, Urbana, 2012.

VINCENT, C. A., SCROSATI, B., “Modern Batteries”, 2^a ed., Butterworth-Heinemann, London, 1997.

WATTS, A. C., AMBROSIA, V. G., HINKLEY, E. A., “Unmanned Aircraft Systems in Remote Sensing and Scientific Research: Classification and Considerations of Use”, Remote Sens, vol. 4, 1671-1692, 2012.

XTIM, “My Bionic Bird”, disponível em: <http://www.mybionicbird.com/>, acesso em: 27 de Fevereiro de 2016.

Anexos

A – Especificação dos Motores

Especificação do Motor Quantum MT4108 – 700KV

6/03/2016

Quantum MT Series 4108 700KV Brushless Multirotor Motor Built by DYS

Quantum MT Series 4108 700KV Brushless Multirotor Motor Built by DYS



Quantum MT series motors are Spec built by DYS, well known in the industry for their quality and performance.

The MT line uses quality NMB bearings, high pole counts for torque and smooth operation and all have standardized universal mountings in their given size. Quantum has spec'd the motors with N42sh magnets and .2mm laminations for optimal efficiency. The MT's also have ample motor wire length for a cut to fit installation, with included bullet connectors and shrink tube. Another great feature is that Quantum spec'd all the motors to come with mounting hardware in various lengths, as well as both hub and direct mount propeller options, so installation is a snap.

Each Quantum motor is QC checked for balance, wind, performance and mechanical tolerance. The DYS brand is well

known for their BE series and the new spec built MT line will set new standards of value vs performance.

Features:

- High Power N42sh magnets
- Precision NMB bearings
- .2mm laminations for optimal efficiency
- Ample cut to length motor wires for a clean install
- Direct mount propeller or Hub style compatible
- Multi-length mounting hardware included

Specs:

KV(RPM/V): 700KV

Lipo cells: 4-6S

Max Power: 560.6W

Max Amps: 30.3A

No Load Current: 1.7/18.5V

Internal Resistance: 0.41ohm

Number of Poles: 22

Dimensions(Dia.xL): 46*27mm

Motor Shaft: 4mm

http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__67033__Quantum_MT_Series_4108_700KV_Brushless_Multirotor_Motor_Built_by_DYS.html sbhkaifg: c6omm/mho bCbWyk inpgr/ostpor

Weight: 108g

15/03/2016 Quantum MT Series 4108 700KV Brushless Multirotor Motor Built by DYS bolt

hole spacing: 25*32 M3, M2.5

Lamination thickness: 0.2mm

Magnets: 42SH

Wire: 18AWG

Connector: 3.5mm bullet

PRODUCT ID: 573000063-0
http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__67033__Quantum_MT_Series_4108_700KV_Brushless_Multirotor_Motor_Built_by_DYS.html 2/2

Especificação do Motor Turnigy Multistar 3805 – 580KV

6/03/2016

3508-580KV Turnigy Multistar 14 Pole Brushless Multi-Rotor Motor With Extra Long Leads

3508-580KV Turnigy Multistar 14 Pole Brushless Multi-Rotor Motor With Extra Long Leads



Looking for the ultimate power system for your next Multi-rotor project? Look no further! The Turnigy Multistar [outrunnerS](#) are designed with one thing in mind - maximizing Multi-rotor performance! They feature high-end 45SH magnets, high quality NMB bearings and High Poles counts for less noise, smooth and responsive power and increased efficiency. They have custom motor mounting and all are precision balanced for smooth running, these motors are engineered specifically for multi-rotor use and are not based on airplane motors.

The 3508-580KV MultiStar is almost too nice to fly! The workmanship and detail in this motor is at a whole new level. It's fitted with shimmed and pre-loaded NMB bearings and has 570mm long high grad silicon wires. It has dual prop mounting, either a bolt on 6mm shaft prop hub or the 12mm spacing bolt threw prop attachment with a precision upper thrust washer for an unlimited range of props. And with 14P12S pole count its smooth efficient and has loads of torque.

Multistar is simplifying the world of Multi-Rotors with their purpose built product line and taking the guess work out of your setup.

Specs:

KV(RPM/V): 580

Lipo cells: 3-4s

Max current: 340w

Max Amps: 26A

No Load Current: 0.4A/10v

Internal Resistance: .106ohm

Number of Poles: 14P12S (14poles 12 stators)

Dimensions(Dia.xL):42 x 26mm

Motor Shaft: 4mm prop shaft: 6mm bolt on hub or 12mm hole to hole for bolt threw style props **Weight:** 102g

bolt hole spacing: 19mm * 25mm

http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__41616__3508_580KV_Turnigy_Multistar_14_Pole_Brushless_Multi_Rotor_Motor_With_Extra_Long_Leads.ht...

PRODUCT ID: 9392000023-0

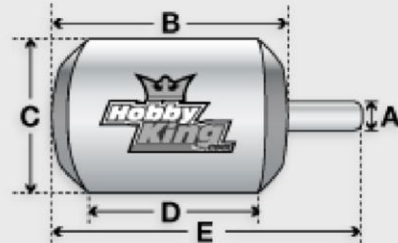
15/03/2016

3508-580KV Turnigy Multistar 14 Pole Brushless Multi-Rotor Motor With Extra Long Leads

Product Config Table

Kv(rpm/v)	580
Weight (g)	102
Max Current(A)	26
Resistance(mh)	0
Max Voltage(V)	0
Power(W)	340
Shaft A (mm)	4
Length B (mm)	26
Diameter C (mm)	42
Can Length (mm)	10
Total Length E (mm)	36

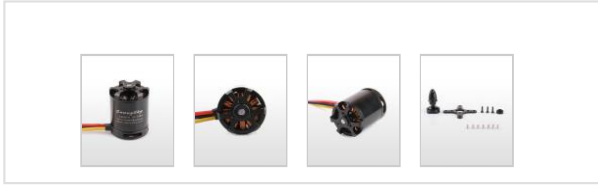
[Update/Add my own data](#)
[Customer Data](#)



COMPARE

http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__41616__3508_580KV_Turnigy_Multistar_14_Pole_Brushless_Multi_Rotor_Motor_With_Extra_Long_Leads.ht... 2/2

Especificação do Motor Sunnysky X2826 – 880KV



X2826

KV550 KV740 KV880 KV1080

Description:

High-load airplane brushless motor 大载重固定翼无刷电机

Product Details X2826-740KV X2826-880KV X2826-1080KV

Specifications	X2826			
Stator Diameter	28mm			定子外径
Stator Thickness	26mm			定子厚度
No. of Stator Arms	12			定子槽数
No. of Stator Poles	14			定子极数
Motor Kv	880			电机KV
No-Load Current (A/10V)	1.4A			空载电流
Motor Resistance	27mΩ			电机电阻
Max Continuous Current	53A/30S			最大连续电流
Max Continuous Power	900W			最大连续功率
Weight	171g			重量 (含长线)
Outside Diameter	35mm			转子直径
Shaft Diameter	5mm			出轴直径
Body Length	48mm			电机长度
Overall Shaft Length	66mm			电机含轴总长度
Max Lipo Cell	3-4S			最大电池节数
ESC	70A			建议使用电调
Recommended Prop(inch)	APC13x6.5	APC13x8	APC12x6	推荐螺旋桨规格
		XDL14x8	APC12x8	
AEROBATIC(适用特技机重量) 1800g (4S APC12x6\APC12x8\APC13x6.5)				
适用3D机重量 1300g-1500g (3s 14x8) (4S APC12x6\12x8\13x6.5\13x8)				

Prop (inch)	Volts (V)	Amps (A)	Thrust(g)	Watts (W)	Efficiency (g/W)	全油门负载温度		
APC13x6.5	11.1	5.2	500	57.72	8.662508663			
		8.7	750	96.57	7.766387077			
		12.5	1000	138.75	7.207207207			
		17.1	1250	189.81	6.585532901			
		22.2	1500	246.42	6.087168249			
		27.9	1750	309.69	5.650812102			
	14.8	33	2030	366.3	5.541905542			
		4.1	500	60.68	8.239947264			
		7	750	103.6	7.239382239			
		10.3	1000	152.44	6.559958016			
		13.7	1250	202.76	6.164924048			
		17.6	1500	260.48	5.758599509			
		22.2	1750	328.56	5.326272218			
		26.9	2000	398.12	5.023610972			
		32	2250	473.6	4.750844595			
		37.3	2500	552.04	4.528657344			
		44.1	2750	652.68	4.213397071			
		52.4	3220	775.52	4.152052816			
APC13x8	11.1	5.5	500	61.05	8.19000819	64°		
		9.1	750	101.01	7.425007425			
		13.6	1000	150.96	6.62427133			
		17.9	1250	198.69	6.291207409			
		23.4	1500	259.74	5.775005775			
		29	1750	321.9	5.436470954			
		36.1	2000	400.71	4.991140725			
		37.9	2090	420.69	4.968028715			
		14.8	4.3	500	63.64	7.856693903	43°	
	7.4		750	109.52	6.84806428			
	10.8		1000	159.84	6.256256256			
	14.4		1250	213.12	5.86524024			
	18.5		1500	273.8	5.478451424			
	23		1750	340.4	5.141010576			
	28.1		2000	415.88	4.809079542			
	33.8		2250	500.24	4.497841036			
	39.9		2500	590.52	4.233556865			
	APC12x6	11.1	46.4	2750	686.72	4.004543336		
54			3000	799.2	3.753753754			
58.5			3210	865.8	3.707553708			
5.4			500	59.94	8.341675008			
9.3			750	103.23	7.265329846			
13.5			1000	149.85	6.673340007			
18			1250	199.8	6.256256256			
23.4			1500	259.74	5.775005775			
25.9			1640	287.49	5.704546245			
14.8		4.9	500	72.52	6.894649752	74°		
		7.5	750	111	6.756756757			
		10.8	1000	159.84	6.256256256			
		14.8	14.4	1250	213.12	5.86524024		
			18.8	1500	278.24	5.391029327		
			23.2	1750	343.36	5.096691519		
			27.9	2000	412.92	4.843553231		
			33.1	2250	489.88	4.592961542		
			42	2700	621.6	4.343629344		
APC12x8	11.1	5.8	500	64.38	7.766387077			
		10	750	111	6.756756757			
		14.8	1000	164.28	6.087168249			
		19.7	1250	218.67	5.716376275			
		25.3	1500	280.83	5.341309689			
	14.8	31.5	1750	349.65	5.005005005			
		5.1	500	75.48	6.62427133			
		7.8	750	115.44	6.496881497			
		11.5	1000	170.2	5.875440658			
		15.8	1250	233.84	5.345535409			
		19.9	1500	294.52	5.093032731			
		25.4	1750	375.92	4.655245797			
		30.5	2000	451.4	4.430660168			
		35.9	2250	531.32	4.234736129			
XDL14x8	11.1	37.4	2500	553.52	4.516548634	59°		
		50	2900	740	3.918918919			
		5.4	500	59.94	8.341675008			
		9.1	750	101.01	7.425007425			
		13.1	1000	145.41	6.877106114			
		17.8	1250	197.58	6.32655127			
		23.5	1500	260.85	5.750431282			
		28.2	1750	313.02	5.59069708			
11.1	34.1	2000	378.51	5.283876252				
	42	2250	466.2	4.826254826				
	47	2480	521.7	4.75368986				
	47	2480	521.7	4.75368986		53°		