

## PROJETO DE UM DRONE DE BAIXO CUSTO: ESTUDOS E DESENVOLVIMENTO

PEDRO PAULO SURERUS SARMENTO<sup>1</sup>, EDUARDO OLIVEIRA FONSECA<sup>2</sup>, JULIANA HANSEN BASDAO<sup>3</sup>, MÁRIO SÉRGIO DIAS DE SOUZA<sup>4</sup> e VINÍCIUS TEIXEIRA DE FREITAS DA CONCEIÇÃO<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia Elétrica – Robótica e Automação Industrial, UFJF, Juiz de Fora - MG, pedro.surerus@engenharia.ufjf.br;

<sup>2</sup>Graduando em Engenharia Elétrica – Robótica e Automação Industrial, UFJF, Juiz de Fora - MG, fonseca.eduardo@engenharia.ufjf.br;

<sup>3</sup>Graduanda em Engenharia Elétrica – Robótica e Automação Industrial, UFJF, Juiz de Fora - MG, juliana.hansen@engenharia.ufjf.br;

<sup>4</sup>Graduando em Engenharia Elétrica – Energia, UFJF, Juiz de Fora - MG, sergio.dias@engenharia.ufjf.br;

<sup>5</sup>Graduando em Engenharia Elétrica – Robótica e Automação Industrial, UFJF, Juiz de Fora - MG, vinicius.teixeira@engenharia.ufjf.br

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC  
Palmas/TO – Brasil  
17 a 19 de setembro de 2019

**RESUMO:** A partir da popularização dos veículos autônomos não tripulados, tanto como *hobby*, quanto em setores acadêmicos, científicos e industriais, o grupo do Programa de Educação Tutorial da UFJF do curso de Engenharia Elétrica (PET Elétrica – UFJF) iniciou um projeto para desenvolver um *drone* de baixo custo capaz de realizar algumas aplicações definidas pelo grupo e para agregar conhecimento sobre essa nova tecnologia. O artigo tem como objetivo descrever o desenvolvimento do projeto, os desafios e os resultados encontrados na construção de um *drone* feito totalmente pelos discentes do PET Elétrica.

**PALAVRAS-CHAVE:** *drone*, Programa de Educação Tutorial, Engenharia Elétrica, veículos autônomos, quadricóptero.

### DESIGN OF A LOW-COST DRONE: STUDIES AND DEVELOPMENT

**ABSTRACT:** Due to the autonomous unmanned vehicles popularization both as a hobby and in academic, scientific and industrial sectors, the group of Tutorial Education Program at UFJF of the Electrical Engineering course (PET Elétrica - UFJF) started a project to design a low-cost drone which can be used for some applications defined by the group and to aggregate knowledge about this new technology. This paper aims to describe the development of the project, the challenges and the results of building a drone made entirely by the group.

**KEYWORDS:** drone, Tutorial Education Program, Electrical Engineering, autonomous vehicles, quadricopter.

### INTRODUÇÃO

Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) foram criados no início do século XX e rapidamente ganharam popularidade no âmbito militar (AFXENTIQU, 2018) por não colocar em risco a vida de tropas, devido ao fato de não necessitar de tripulantes. Após um longo período sendo utilizados apenas como poderio militar, em 2006 os *drones* entraram no mercado a partir de uma liberação da *Federal Aviation Administration* (FAA), entidade governamental dos Estados Unidos responsável por

regulamentar a aviação civil. Assim, essa tecnologia se popularizou e tornou-se mais comum em outros setores, como no monitoramento e estudo de terreno e de atmosfera (GIONES & BREM, 2017).

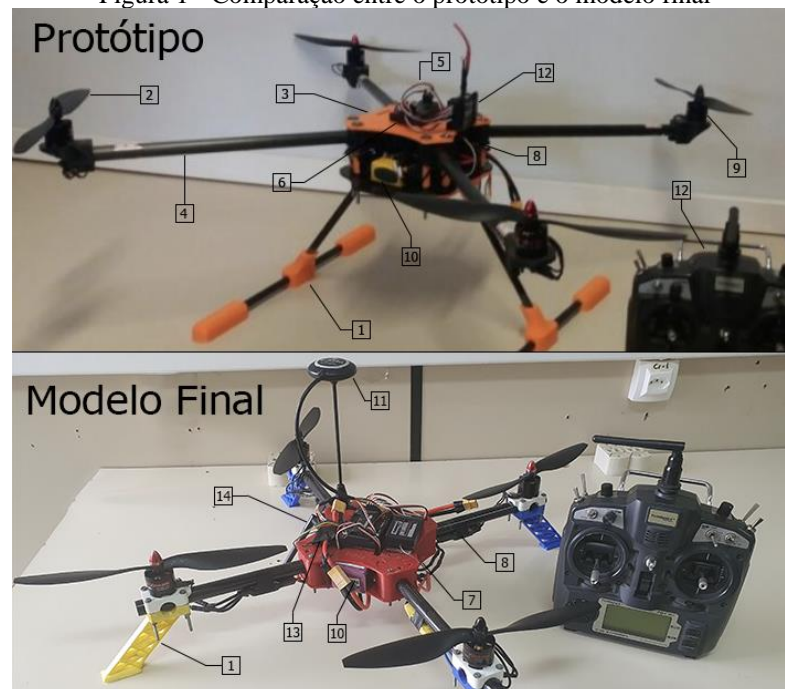
Motivados pelos avanços dessas tecnologias, o grupo PET Elétrica iniciou, em 2016, um projeto com a intenção de realizar estudos e pesquisas referentes a quadrotoros (OLIVEIRA et al., 2016). Os quadrotoros são um tipo de veículo aéreo não tripulado caracterizados por conter quatro motores (LUUKKONEN, 2011). Entretanto, esse projeto foi descontinuado, consequência do egresso de todos os participantes iniciais e a falta de documentação do que foi realizado. Contudo, em 2018, novos participantes decidiram retomar o projeto com a intenção de utilizar um *drone* para se obter gravações aéreas para material de divulgação do grupo, e também para monitorar níveis de poluição por monóxido de carbono na região da UFJF. O grupo herdou o *drone* que havia sido montado nos anos anteriores, porém esse não se encontrava completo, devido à ausência de algumas peças e componentes. Assim, surgia duas alternativas para prosseguir com o projeto: comprar um *drone* comercial ou utilizar o antigo como base para o desenvolvimento de um modelo novo. A obtenção de um *drone* comercial capaz de atuar nas aplicações citadas envolvia um grande investimento financeiro, cerca de 679,00 USD (NEWATLAS, 2014), algo que o grupo não poderia realizar no momento em questão e, então, como uma solução, foi proposto que o *drone* antigo fosse reconstruído totalmente, partindo de estruturas e componentes básicos.

Para o desenvolvimento do projeto, foi esquematizado um planejamento que definia o progresso de suas atividades e assim, para se chegar nos objetivos finais, foram elaboradas etapas. De uma forma geral, foram definidas duas etapas principais para o prosseguimento do projeto: a primeira consiste na concepção de um protótipo que fosse teleoperado por um piloto. Após a conclusão dessa etapa, o projeto se desenvolveria para uma segunda: a automação do seu voo, para que o quadrotor consiga seguir uma trajetória previamente definida sem a atuação do piloto. O presente artigo irá tratar da evolução dessa primeira etapa e como ela progrediu, descrevendo os resultados, os desafios e os conhecimentos obtidos pelo grupo.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para descrever a construção do *drone* e suas características, é importante apresentar, inicialmente, os seus principais componentes, que podem ser identificados na figura 1:

Figura 1 - Comparação entre o protótipo e o modelo final



- Estrutura:

1. Trem de pouso: utilizado para dar sustentação ao *drone* em uma superfície durante decolagens e aterrissagens;

2. Hélices: geram o empuxo que sustenta o *drone* no ar a partir da rotação dos motores;
3. Base e separadores: responsável pela sustentação dos componentes eletrônicos e de outros componentes estruturais;
4. Braços: eixos que emanam da base e sustentam os motores;
5. Fios e *jumpers*: realizam as conexões elétricas entre os componentes eletrônicos.  
- Eletrônica:
6. *Arduino Pilot Mega* (APM): microcontrolador, inteligência central do *drone*. Responsável por receber e processar os dados vindos dos sensores e emití-los para os atuadores (motores);
7. *Power Distribution Board* (PDB): circuito impresso responsável por distribuir a energia da bateria para os ESC's e para a APM;
8. *Electronic Speed Control* (ESC): realiza a conversão da tensão CC da bateria em sinais CA trifásicos com frequência variável, que controla a velocidade de cada motor;
9. Motor elétrico trifásico *brushless*: são os atuadores do sistema, onde será gerado o trabalho (rotação) para movimentar as hélices;
10. Bateria de polímero de lítio (Li-Po): fonte de alimentação do *drone*;
11. Sensor de *Global Positioning System* (GPS): sensor que estima a posição geográfica do veículo;
12. Rádio Controle e Receptor: realiza o envio e o recebimento de comandos do piloto para o *drone*;
13. *Power Module* (PM): utilizado para alimentar a APM e permitir monitoramento do nível de carga da bateria;
14. Telemetria: responsável por enviar informações do voo e receber comandos de uma *ground station*.

Após estudos iniciais, o drone foi reconstruído, conforme a figura 1. Na parte estrutural, foi utilizada a fibra de carbono para os braços de sustentação dos motores, devido a sua alta resistência e baixa massa específica. Suportes para os motores e as bases do *drone*, onde eram localizados os componentes eletrônicos, foram confeccionados com material PLA, polímero termoplástico comumente utilizado em impressoras 3D, equipamento utilizado para se construir várias das peças presentes no *drone*. Havia dois trens de pouso para auxiliar a decolagem e a aterrissagem do *drone*, feitas principalmente de fibra de carbono. No que se refere aos componentes elétricos e eletrônicos, havia quatro motores, os quatro ESCs referentes a cada motor, a APM, o receptor do rádio, o GPS e a bateria. A distribuição de energia para os motores é realizada pela PDB. Nela, a corrente é distribuída, passando por um regulador de tensão para oferecer diferentes níveis de tensão para os diversos componentes do *drone*.

Após finalizado esse modelo do quadricóptero, iniciou-se uma etapa de testes práticos para colocar à prova o desempenho do projeto feito pelo grupo. Apesar de conseguir levantar voo, o quadrotor apresentava um desempenho muito aquém se comparado com outros *drones* comerciais: alguns componentes não estavam trabalhando em sua condição nominal de operação, as quedas eram frequentes, o tempo de voo era menor, a reposição de alguns componentes era complicada e a operação do *drone* se mostrou insegura em certos momentos. A partir desses problemas, o grupo refez o projeto do quadricóptero, iniciando uma nova etapa de testes. Os defeitos encontrados foram sendo corrigidos e foram obtidas melhorias em sua performance. Finalmente, chegou-se a um resultado final, apresentado na figura 1. As melhorias implementadas estão comentadas a seguir.

Inicialmente, os ESCs encontravam-se dentro da base do *drone*, o que dificultava o seu acesso, a montagem e a sua refrigeração, pois por estarem muito próximos uns dos outros e dos demais componentes e condutores, a passagem de ar e a dissipação do calor eram comprometidas, causando danos aos ESCs. Um dos ESCs apresentou mal funcionamento e, desta forma, julgou-se ser o super aquecimento a principal causa da avaria desse componente que, posteriormente, foi substituído. Para evitar esse problema, foram reposicionados e colocados junto aos braços, otimizando o espaço no *drone* e sua distribuição de peso, aumentando a vida útil dos ESCs e desempenho do *drone*. A bateria foi substituída por outra que supria as reais necessidades do *drone*, visto que a anterior apresentava danos devido ao contínuo uso fora de sua faixa nominal de operação.

O excesso de fios condutores presentes na estrutura, algo que deixava o veículo mais pesado e menos eficiente foi eliminado, reduzindo cerca de 150g da massa total do *drone* e as ligações foram refeitas utilizando fios menores e, conseqüentemente, mais leves. Além disso, outras partes foram remodeladas, conseguindo uma diminuição total de 230g. Uma das principais características de um

veículo que se sustenta no ar é a razão entre o empuxo e o peso da estrutura, o que impacta diretamente no seu voo: quanto mais leve, menor o esforço realizado pelos motores e menos energia é gasta para sustentar o *drone* e, portanto, a duração do voo é maior.

Os trens de pouso, antes confeccionados com fibra de carbono, foram substituídos por peças totalmente feitas em uma impressora 3D, visto que o primeiro modelo era instável e, por serem o principal ponto de contato entre o *drone* e a superfície, sofriam constantes avarias e havia uma contínua necessidade de reposição. Como a fibra de carbono é um material mais caro e menos acessível se comparado ao PLA, a mudança no trem de pouso ajudou na sua reposição, tornando esse projeto mais viável. Ao contrário dos trens de pouso, a utilização da fibra de carbono nos braços se mostrou mais adequada, pois elas nunca chegaram a se danificar.

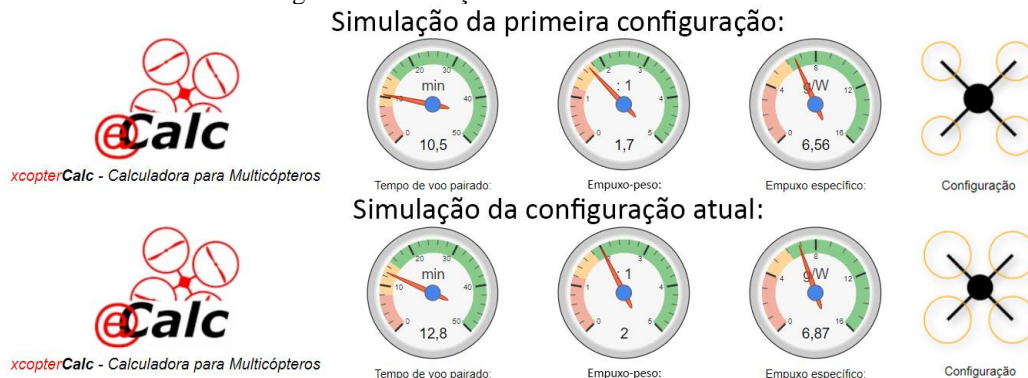
Durante o voo, não era monitorado nenhum parâmetro e caso a bateria atingisse níveis insuficientes para manter o VANT no ar, não era realizado nenhuma ação para prevenir algum tipo de acidente. Para melhorar a segurança do *drone*, foram adicionados dois componentes com o intuito de viabilizar o monitoramento do voo, o *Power Module*, que permitiu mensurar a carga da bateria, e o módulo de telemetria, que possibilitou o envio de comandos e a captação de informações em tempo real durante o voo do *drone* por meio de uma comunicação sem fio. As consequências do uso desses componentes serão detalhadas posteriormente.

Como implementação final, os trens de pouso foram unidos ao suporte do motor, simplificando a estrutura. Peças desnecessárias foram removidas, soldas foram refeitas, parafusos foram reposicionados e, dessa forma, chegou-se ao modelo atual do *drone*. Ao longo de todas essas mudanças, o protótipo, aos poucos, foi se modificando e sua estrutura chegou ao que o grupo considera o melhor resultado encontrado, se comparado a um *drone* comercial.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a reestruturação do protótipo, o modelo final encontrado pelo grupo foi submetido a algumas simulações realizadas no software gratuito eCalc, onde pode-se constatar alguns avanços quanto à autonomia da bateria. O eCalc é um software livre que permite a simulação do desempenho do *drone* a partir de suas características e configurações (ECALC, 2018). Junto às simulações, foram também realizados testes de voo para se analisar o desempenho da nova estrutura feita pelo grupo. É importante ressaltar que, ao longo de todas as mudanças realizadas, testes eram feitos como forma de avaliar a eficácia das alterações, e, de forma resumida, todos os resultados obtidos, assim como todos os dados coletados, serão abordados a seguir.

Figura 2 - Simulações realizadas no software eCalc



A partir destas simulações notou-se aumento no tempo de voo de 10,5 minutos para 12,8 minutos, um ganho de 21,9% de uma configuração para a outra, um acréscimo extremamente alto e uma consequência das mudanças e das melhorias realizadas na estrutura, como a remodelagem de algumas peças e a redução dos fios condutores. Esse aumento no tempo de autonomia também foi sentido durante os testes práticos, pois a bateria durava mais tempo sem que fosse necessário recarregá-la. Quanto à estabilidade do *drone*, sua evolução foi percebida empiricamente, pois durante o voo, notou-se menos oscilações em torno do seu plano horizontal e uma maior manobrabilidade por parte do piloto.

Um outro ponto que também representou um avanço, como já mencionado, foi a questão da segurança do VANT, consequência da inserção de novos equipamentos: o *Power Module* e a telemetria.

Através do PM, a APM recebe informações a respeito do estado atual de carga da bateria e, caso ela atingisse níveis abaixo do recomendado, o *drone* automaticamente entraria em uma rotina de aterrissagem, evitando uma queda. Já a telemetria possibilita obter dados do veículo durante o voo, como o nível da bateria, a velocidade, a altitude e as coordenadas geográficas, mantendo o piloto ciente de detalhes do voo permitindo ações corretivas.

Quanto ao orçamento total para se montar o *drone*, o custo dos componentes usados foi calculado em dólares americanos, evitando-se problemas na conversão para o real. No total, estimou-se um custo aproximado de 300,00 USD para se comprar todos os componentes utilizados na montagem do quadricóptero. Nesse valor, não foram considerados custos como uso de energia elétrica e nem força de trabalho pelos participantes do projeto.

## CONCLUSÃO

Ao comparar o protótipo com o modelo final desenvolvido, é possível concluir que ocorreu uma melhora na performance do *drone*. Além da segurança e da manobrabilidade, o tempo de voo aumentou consideravelmente, cerca de 21,9%. Com esses dados, nota-se uma melhora e um resultado positivo no esforço da equipe nesse projeto. Pode-se concluir o êxito na primeira etapa do projeto, referente ao desenvolvimento de um drone que possa ser teleoperado a partir de um piloto, visto que conseguiu-se construir um *drone* capaz de realizar as aplicações definidas.

Como continuidade do projeto, para se utilizar o *drone* nas aplicações definidas, ainda é preciso tornar o voo autônomo e inserir componentes auxiliares, de acordo com a aplicação em que se deseja realizar, como por exemplo, sensor de temperatura, câmeras, sensor de umidade etc. Além do que já foi comentado, diversas outras aplicações são possíveis. Como exemplo, pode-se utilizá-lo em outro projeto do PET, o *SmartFarm*, que consiste no desenvolvimento de uma plantação inteligente em que seja possível monitorar e controlar o cultivo de plantas, a fim de tornar as condições ambientais mais adequadas para o plantio. O *drone* auxiliaria nesse monitoramento a partir de informações aéreas. Outra aplicação é a medição de temperatura em linhas de transmissão, com o objetivo de encontrar curtos circuitos e faltas na rede. O *drone* é capaz de alcançar locais de difícil acesso, auxiliando a medição em lugares mais afastados dos centros urbanos.

É importante ressaltar que o desempenho do *drone* construído não é o mesmo de um *drone* presente no mercado, porém a decisão de se desenvolver um quadrotor totalmente do zero ao invés de investir em um modelo comercial mostrou-se ter sido uma opção adequada, visto que foi construído um *drone* capaz de realizar as aplicações a que ele foram designadas no início e ainda assim, tendo um investimento financeiro inferior, cerca de 379 dólares a menos, quando comparado ao *Dji Phantom 2*, modelo presente no mercado que mais se assemelha as configurações do *drone* construído. Além disso, deve-se ressaltar, também, todo o conhecimento referente a VANTs que foi agregado à equipe e as habilidades transversais de trabalho em equipe desenvolvidos, já que todo o projeto foi realizado em grupo.

## REFERÊNCIAS

- Afxentiou, A. A history of drones: moral(e) bombing and state terrorism. *Critical Studies on Terrorism*, v.11, n.2, p.301-320, 2018.
- Giones, F.; Brem, A. From toys to tools: The co-evolution of technological and entrepreneurial developments in the drone industry. *Business Horizons*, v.60, n.6, p.875-884, 2017.
- Luukkonen, T. Modelling and control of quadcopter. *School of Science*, 2011.
- Digital Trends. 2018. Disponível em: [www.digitaltrends.com/cool-tech/history-of-drones/](http://www.digitaltrends.com/cool-tech/history-of-drones/). Acesso em: 18 de março de 2020
- ECalc. 2018. Disponível em: [www.ecalc.ch/index.htm](http://www.ecalc.ch/index.htm). Acesso em: 10 de março de 2020.
- Oliveira, A. P. de; Oliveira, D. D. de; Souza, M. B. M. de.; Yung, J. G. R.; Gomes, F. G. 2016. Utilização do PJBL na educação em engenharia: projeto e construção de um drone In: Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. COBENGE 2016, Natal. Anais...Natal, 2016.
- NewAtlas. 2014. Disponível em: <https://newatlas.com/dji-phantom-2-fc40/30397/>. Acesso em: 30 de março de 2020