

## DRONE ECONÔMICO CONTROLADO POR SMARTPHONE

GUILHERME F. SILVA<sup>1</sup>, JOÃO V. SILVA<sup>2</sup>, JOSÉ H. B. BORGES<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Automação Industrial, IFSP, Câmpus Sertãozinho, guilherme.faria@aluno.ifsp.edu.br.

<sup>2</sup> Graduando em Automação Industrial, IFSP, Câmpus Sertãozinho, joao.vinicius@aluno.ifsp.edu.br.

<sup>3</sup> Graduando em Automação Industrial, IFSP, Câmpus Sertãozinho, j.borges@aluno.ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.12.03.03-5 Projeto de Estruturas Aeroespaciais

**RESUMO:** Devido o seu pequeno tamanho, boa performance e simples design, o uso de quadricópteros tem se proliferado e detém as mais diversas aplicações, desde militares até relacionadas à área da saúde, entretanto tendo sempre um alto custo. Este trabalho tem como propósito central: apresentar uma pesquisa que foi desenvolvida, com a proposta de fabricar um drone de baixo custo com peças que podem ser encontradas facilmente. Neste estudo, é feito um pequeno resumo sobre como funciona o voo de um drone, é discutido o custo desse projeto e é descrita uma forma de que o controle do voo pode ser feito de forma mais barata, utilizando MOSFETs, PWM, controle por Smartphone via Bluetooth e Arduino. Por fim, é proposta a elaboração de uma PCI (Placa de Circuito Impresso) e a impressão de um frame 3D para o projeto e os resultados obtidos são analisados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Baixo custo; PCI; Bluetooth; Arduino; PWM;

## BUDGET DRONE CONTROLLED BY SMARTPHONE

**ABSTRACT:** Due to its small size, great performance and simple design, the use of quadcopters has grown and has lots of applications, from military to even health, however always having a high cost. This project has as its main purpose: introduce research that is being developed, with the goal to make a low-cost drone with parts that can be found easily. In this research there is a summary of how a drone flies, the cost of the project and how the drone flight can be controlled using cheaper options with MOSFETs, PWM, smartphone control with Bluetooth and an Arduino. Finally, it is proposed the elaboration of a PCB (Printed Circuit Board) and the impression of the frame with 3D printing and the results already obtained are analyzed.

**KEYWORDS:** Low cost; PCB; Bluetooth; Arduino; PWM.

## INTRODUÇÃO

Em 1977, quando surgiram os primeiros modelos de drone como conhecemos hoje, estes veículos eram difíceis de controlar, sendo necessárias 30 pessoas para isso, e buscavam aplicações bélicas. Atualmente, com os avanços tecnológicos, esses veículos foram se tornando mais simples de serem controlados, menores e começaram a ser usados para diversos propósitos comerciais além dos militares, como nos setores agrícola e logístico, facilitando tarefas e agilizando a realização de alguns processos. Vale ressaltar que devido sua alta estabilidade e existência nos mais diversos tamanhos, há inúmeras possibilidades de expansão e novas funcionalidades para estas tecnologias, podendo integrá-los com o uso de inteligências artificiais para maximizar a eficiência de seu uso (Calixto, 2022).

Devido a sua ampla aplicabilidade, mostra-se importante entender e dominar as técnicas por trás desse veículo para, dessa forma, ser atuante nessa nova era de inovações. Um drone comum (quadricóptero) possui 4 braços, podendo conter também 6 ou 8, com um motor e uma hélice em cada um desses braços. Nos modelos mais simples, dois motores giram para o sentido horário e os outros dois giram no sentido oposto e é isso que dá a estabilidade necessária para a aeronave. Apenas controlando a velocidade desses 4 motores e com sensores de aceleração e de giro, é possível realizar todas as manobras necessárias para seu voo e garantir seu equilíbrio. Entretanto, toda esta tecnologia tem um custo consideravelmente elevado, podendo até passar de 20 mil reais.

Portanto, a ideia desse projeto é, além de dominar toda essa ciência que só tende a se proliferar, mostrar que é possível construir um drone estável capaz de executar um voo simples através de equipamentos eletrônicos de baixo custo e demonstrar que os conceitos utilizados na construção deles podem ser utilizados como uma ferramenta didática para o ensino de noções de eletricidade e eletrônica.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os materiais utilizados foram: Bateria 3,7V 1000mAh; Arduino nano; Módulo Bluetooth; Acelerômetro e Giroscópio; Motores 3,7V; 4 Hélices; 4 Mosfets; 4 Resistores de 1K $\Omega$ ; 4 Diodos IN4007; 4 Parafusos para hélice; 4 Engrenagens para conexão do motor com a hélice; 4 Protetores de hélice; Trem de pouso; Switch de Liga/Desliga; Regulador de tensão Step-Up; Filamento para impressora 3D;

Os métodos usados durante a pesquisa foram: Kicad para desenvolvimento do esquema elétrico e PCB; Software 3D para modelagem da carcaça; Impressão 3D da carcaça; Programação de um algoritmo que com o uso do giroscópio mantenha o drone estável (implementação do PID); Programação de aplicativo para smartphone para controle do drone via bluetooth.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, foi pesquisado sobre a teoria de um voo: basicamente, com o aumento da velocidade de rotação das hélices, obtém-se menor pressão sobre elas, surgindo um vetor resultante de força para cima chamada de empuxo (Silva; Cordeiro, 2011).

Um aspecto muito positivo e que faz que os drones tenham uma ampla aplicação é sua simples manobrabilidade, pois apenas com o controle independente da velocidade de rotação de cada hélice, é possível que a aeronave se desloque sob uma ampla variedade de trajetórias. Vale destacar que em um quadricóptero, dois rotores giram no sentido horário, enquanto os outros dois giram no sentido anti-horário, conforme figura 1.

Dessa forma, para velocidades iguais nos quatro rotores, o drone se deslocará verticalmente, dependendo do empuxo para determinar o sentido. Se a velocidade dos rotores R1 e R4 forem maiores que as dos rotores R2 e R3, o drone gira no sentido anti-horário e, caso o contrário aconteça, o drone girará no sentido horário. O voo nivelado para frente ou para trás acontece devido à variação das velocidades de duas hélices vizinhas lateralmente (R1 e R3 ou R2 e R4). Vale destacar que, caso deseje que o drone se mantenha no mesmo plano enquanto realiza estes movimentos, é necessário aumentar a velocidade de dois deles e diminuir a velocidade dos outros, de modo a impedir que o empuxo varie. Todas as outras manobras podem ser realizadas a partir de outras combinações. Tendo esse referencial bibliográfico em mente, começaram as pesquisas sobre projetos caseiros de drones.

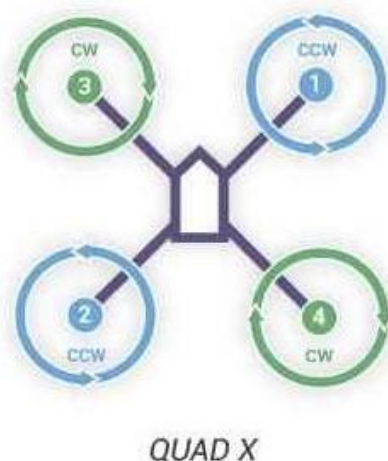


FIGURA 1. Estrutura de um Quadrotor (Romero; Pozo; Rosales, 2014).

A maioria dos projetos de drones caseiros produzidos encontrados nas mais diversas pesquisas realizadas envolviam a utilização de Controladores Eletrônicos de Velocidade (ESCs) para o controle da velocidade dos motores, o uso de rádio transmissor para controlar o movimento do drone e o uso do ESP32 como controlador principal do drone, tecnologias mais sofisticadas, complicadas e de maior custo. Na elaboração e execução desse projeto, optou-se pelo uso de materiais mais baratos e com funcionamento já conhecido, porque, como esses materiais e técnicas eram ensinados durante as aulas, poderia se utilizar da construção do drone como ferramenta didática, ampliando o conhecimento adquirido para além da sala de aula. Com esse intuito, foram utilizados MOSFETs (transistores de efeito de campo semicondutor de óxido metálico) e o conceito de PWM (Modulação por largura de pulso) para controlar a velocidade dos motores, celulares foram usados para controlar o movimento do drone e o ESP32 foi substituído pelo Arduino.

Na compra dos equipamentos, foram escolhidos os materiais que mais se parecessem com os utilizados no projeto-base, o projeto que foi utilizado como modelo para a elaboração do nosso, e que não tivessem um custo tão elevado. Foi muito importante na compra e escolha dos materiais, o peso das peças, buscando que o drone tivesse o menor peso possível. Devido ao fato de não terem sido encontradas todas as peças idênticas às originais, o projeto passou por mais algumas adaptações. Com essas adaptações, o nosso projeto teve um custo de apenas R\$247,38, enquanto o projeto que serviu de inspiração para elaboração do nosso gastou R\$424,80, uma queda de mais de 40% do valor inicial, sendo realmente um drone de baixo custo de acordo com a ideia inicial do projeto (MacaçoTecnó, 2018).

Conforme os equipamentos chegavam, os mesmos eram testados na protoboard isoladamente, de modo que pudéssemos entender o funcionamento de cada um deles. A partir da experiência adquirida com o teste de cada uma das peças junto ao conhecimento conquistado durante o levantamento bibliográfico, foi possível começar a compreender como todo aquele circuito funcionaria em conjunto e como, posteriormente, o drone funcionaria na prática.

O principal circuito do drone é o circuito do controle dos motores (vide figura 2), pois como citado anteriormente, é a partir dele que é possível que o drone realize todas as suas manobras, por isso a maior parte dos testes foram focados nesse circuito. Neste circuito, o Arduino emite um sinal PWM, ou seja, um sinal digital que consegue pela variação da largura da onda quadrada, variar a tensão emitida. Este sinal enviado para o MOSFET gera a tensão *gate-dreno* e, conforme esta tensão aumenta, o MOSFET também gera uma maior tensão *gate-source* para o motor, logo o MOSFET serve como uma chave de controle. Neste circuito, há também um diodo que protege o motor contra corrente reversa, o que acarretaria no mau funcionamento do mesmo. Um problema encontrado nas medições realizadas é que, mesmo definindo o mesmo valor para potência dos motores no Arduino, eles não giravam com a mesma velocidade, pois, por algum motivo não descoberto, eles não recebem a mesma tensão. Portanto, foram realizados alguns testes e mudanças no código para regular as tensões manualmente. Entretanto, esse tipo de controle manual não é ideal, devido ao motivo de que o fator de correção varia, sendo maior ou menor de acordo com a velocidade desejada. Logo, outra maneira possível, porém pouco aprofundada

nesse trabalho, de balancear a velocidade dos motores para que o drone se mantenha estável é com o uso do controle PID (proporcional, integrativo, derivativo). Essa, que é uma das formas mais antigas de controle, funciona simplificada da seguinte forma: com a utilização dos dados do acelerômetro e do giroscópio, pode-se definir o ângulo de inclinação do drone em relação a cada um dos eixos x, y e z e, com o erro encontrado, é calculado um fator de correção a partir de uma equação matemática que consiste em 3 partes: a parte proporcional, derivativa, integrativa e seus respectivos ganhos. Esse fator de correção é aplicado no sinal PWM emitido pelo Arduino, dessa forma, balanceando devidamente o drone. Vale destacar que para cada um dos eixos é definido um diferente fator de correção (Masoud et al., 2016).

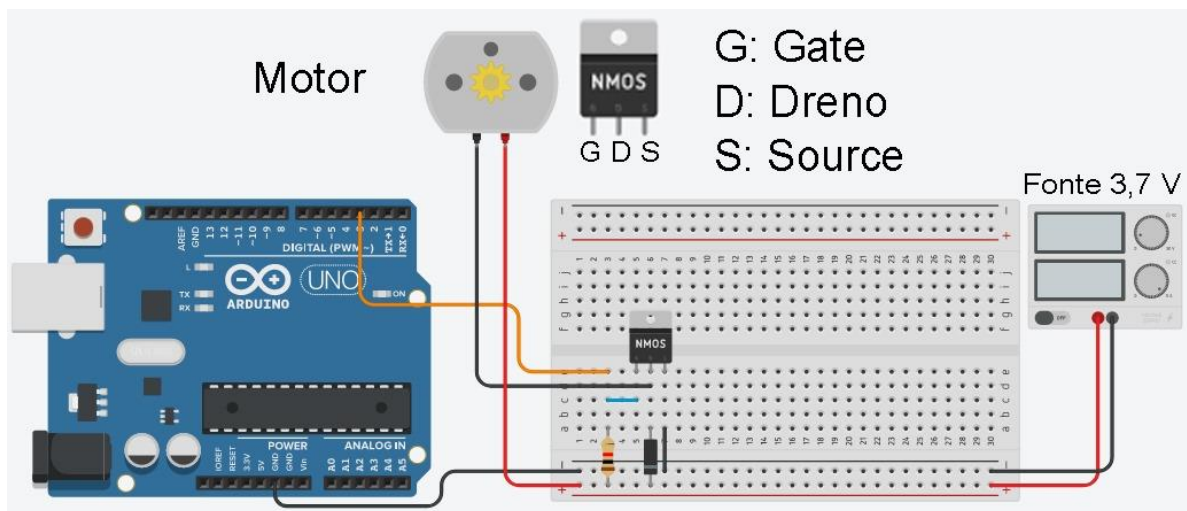


FIGURA 2. Circuito do controle do motor feito no software Tinkercad.

Nesta figura, os fios vermelhos representam os positivos, os pretos os negativos, o amarelo envia o sinal PWM do Arduino e o azul o transmite para o MOSFET.

Houveram alguns experimentos envolvendo os sensores e o que poderia futuramente vir a ser um controle PID: nestes ensaios, utilizava-se da leitura do giroscópio e do acelerômetro para definir a aceleração do drone e, a partir dela, definir quais motores deveriam aumentar ou diminuir sua potência, logo, quando o drone era inclinado para a esquerda, por exemplo, os motores da esquerda aumentavam sua potência para que, dessa forma, o drone fosse para a direita, buscando sempre a estabilidade da equipamento no plano. Vale ressaltar que essa é uma aplicação simples e que um controle PID completo apresenta uma complexidade superior e exige um tempo maior para realizar os testes necessários para sua aplicação, por isso não houve a execução completa desse tipo de controle durante o projeto.

Outro problema encontrado durante os testes dos componentes elétricos foi que a bateria adquirida não apresentava uma taxa C (*C-Rate*) adequada, ou seja, ela não tinha a capacidade de carga e descarga adequada e, com isso, a bateria não era capaz de fazer todos os motores girarem em sua potência máxima, pois o consumo deles nessa situação é relativamente elevado, utilizando de mais de 3 Amperes de corrente. Devido a esse empecilho encontrado, a maioria dos testes foram realizados com o uso de uma fonte de bancada, configurada em 3,7 Volts.

Com os componentes e os circuitos já testados, no início deste ano, foi elaborada uma placa de circuito impresso (PCI) - ou, no inglês, *Printed Circuit Board* (PCB), o software KICAD foi utilizado para confeccionar a mesma. Como normalmente é feito na realização de PCIs, primeiramente o esquema elétrico foi desenhado e depois foi realizado o *layout* do circuito impresso.

Com a ajuda do professor Ferdinando, a PCI foi confeccionada na escola. Inicialmente, houve a tentativa de utilizar a prototipadora para confeccionar a PCI, entretanto como nossa placa apresentava certo grau de complexidade e a máquina estava com defeito, o método caseiro foi utilizado para a realização da PCI: o *layout* da placa foi impresso, depois o desenho foi transferido para a placa de fenolite com o ferro de passar, após isso o cobre da placa foi corroído com o uso de percloroeto de ferro, restando ao fim apenas o cobre protegido pelo papel, ou seja, apenas as trilhas da placa.

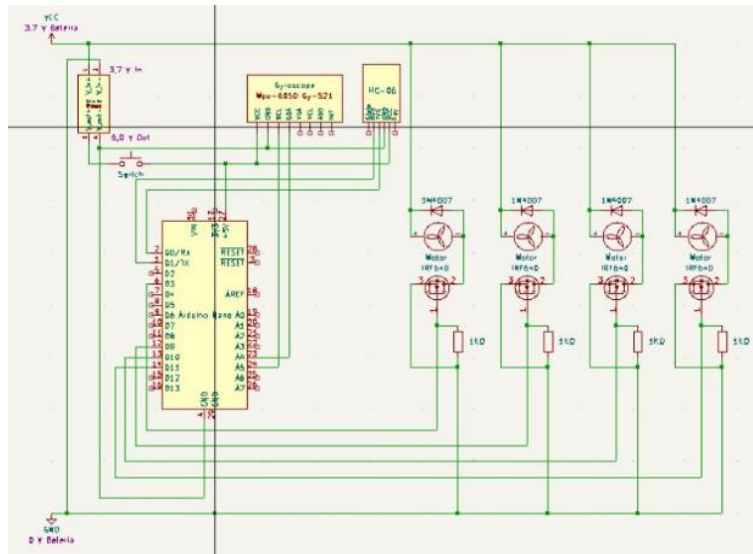


FIGURA 3. Circuito elétrico feito no software KICAD.

Com a placa já pronta, os dispositivos foram soldados nela e, após isso, também foi testada a continuidade das trilhas e se os circuitos estavam funcionando como esperado.

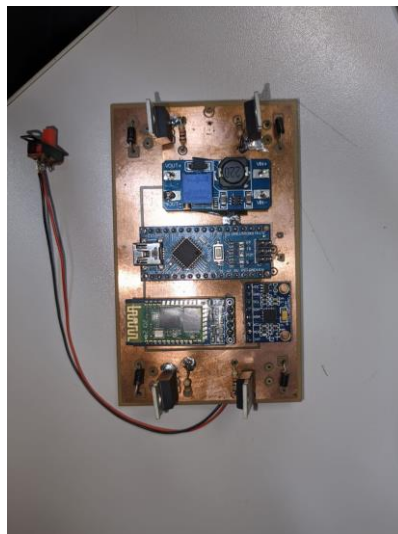


FIGURA 4. Placa de circuito impresso pronta com dispositivos soldados.

Por fim, após a fabricação da placa e a certificação de seu bom funcionamento, com o auxílio do nosso orientador e professor João Paulo e utilizando o software Fusion, foi elaborado um frame bem simples, de forma que o mesmo tenha uma boa aplicabilidade, além de ter o menor peso possível. O frame foi feito pela impressora 3D, com a melhor escolha de preenchimento de modo a garantir robustez e menor massa, e demorou oito horas de impressão, entretanto após pronto, foi notado que o protótipo ainda precisaria de algumas adaptações ao projeto, porém este modelo inicial já foi bem eficaz para a realização da maioria dos testes.

O outro frame já foi impresso nesta última semana, porém ainda não foi possível a realização de testes nesse novo protótipo devido à sua impressão ainda recente, logo todos os testes citados que necessitavam de uma carcaça para sua realização foram feitos na primeira versão impressa dela.

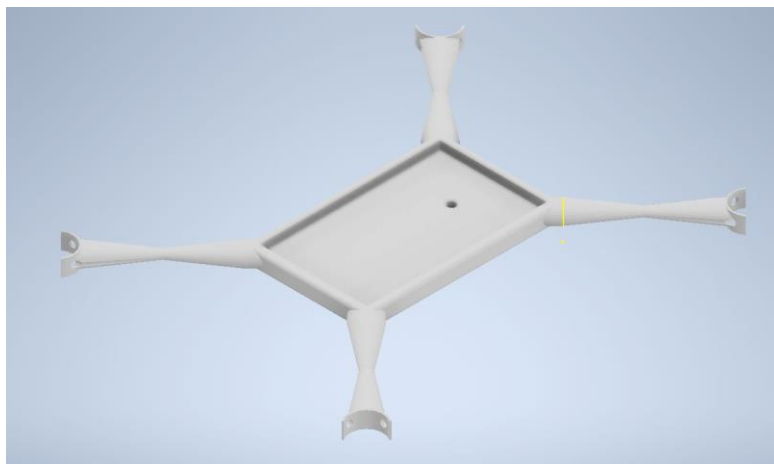


FIGURA 5. Protótipo do primeiro frame feito no Fusion.

Com a placa eletrônica e a carcaça mecânica prontas, a programação e os testes em relação aos movimentos do drone puderam ser realizados. Dessa forma, além da programação necessária para o controle dos movimentos do drone que foi realizada, foi criado um aplicativo de celular bem simples para testar a execução das seguintes manobras básicas: ir para frente, ir para trás, ir para direita, ir para a esquerda, girar à esquerda, girar à direita, subir e descer. Toda a programação e execução das manobras funcionou perfeitamente, ou seja, quando o botão “ir para frente” era pressionado, por exemplo, os motores da parte traseira aumentavam sua potência e os motores dianteiros diminuía sua potência, exatamente como necessário para que o drone possa executar tal movimento. Entretanto, quando a função “subir” passou por testes, por mais que os motores aumentem sua potência, assim como desejado, o empuxo gerado não é suficiente e, dessa forma, o drone não sobe.

Algumas hipóteses para a não-realização do voo foram elaboradas, entre elas: o mal balanceamento dos motores, que não giram com a mesma velocidade, o desbalanceamento das peças, podendo haver maior peso em alguma parte, a falta de estabilidade das hélices, pois, como elas não apresentavam um bom encaixe com o frame inicial, elas vibravam muito ou os motores não teriam potência suficiente para fazer o protótipo subir.

## CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, nota-se que o projeto cumpriu parcialmente seus objetivos, pois os autores apresentam certo domínio sobre o funcionamento teórico e prático de um drone, as peças apresentaram um custo menor do que o esperado e os conceitos aprendidos na construção dele, como PWM e controle PID, facilitaram o entendimento nas aulas de eletrônica, elétrica, instrumentação e outras matérias técnicas, além de expandi-lo para outras áreas muito importantes na inovação da indústria, como prototipagem de PCBs e impressão de peças em 3D .

Apenas um objetivo inicial da pesquisa não foi cumprido: a realização de um pequeno voo. Houveram algumas tentativas da execução de um voo, porém nenhuma delas foi efetiva e o projeto necessitaria de melhorias em etapas que apresentam problemas para que esse voo seja efetivamente realizado.

A programação do Arduino e do aplicativo de celular também apresentaram um bom funcionamento e, caso o drone conseguisse subir, com algumas implementações, o smartphone seria totalmente capaz de realizar o controle do drone. Com isso, mostra-se que, apesar que, devido à alguns problemas, o drone não seja capaz de voar, ele demonstra fortes indícios que, com algumas melhorias e mais tempo, sua decolagem seria possível, além de ter sido realizado com um baixo custo e com muitas peças fabricadas na própria instituição, se apresentando como uma excelente ferramenta didática no futuro.

## CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Todos os autores contribuíram com todas as partes da pesquisa e da elaboração do projeto, além de participarem da escrita e revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

## REFERÊNCIAS

CALIXTO, Felipe. História dos drones: como surgiram? Para que servem? **ITARC**, 2022. Disponível em: <<https://itarc.org/historia-dos-drones/>>. Acesso em: 28 de out. de 2023.

MACAJOTECNO. Drone Bluetooth Arduino, Drone Casero y Económico(Tutorial Paso a Paso). YouTube, 27 de ago. de 2018; Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Sn5-6SDTLS8>>. Acesso em: 29 de out. de 2023.

MASOUD, M.; JARADAT, Y.; FARHOOD, M.; ALMEDALALEH, A.. **On Implementing a Low Cost Quadcopter Drone with Smartphone Control**. Amman, Jordan: Al-Zaytoonah University of Jordan, 2014. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/301787539\\_On\\_Implementing\\_a\\_Low\\_Cost\\_Quadcopter\\_Drone\\_with\\_Smartphone\\_Control](https://www.researchgate.net/publication/301787539_On_Implementing_a_Low_Cost_Quadcopter_Drone_with_Smartphone_Control)>. Acesso em: 29 de out. de 2023.

ROMERO, L. E.; POZO, D. F.; ROSALES, J. A. Quadcopter stabilization by using PID controllers. **Revista Científica Maskana**, Cuenca, v. 5, p. 175-186, 2014.

SILVA, L. P.; CORDEIRO, C. S.. Quadricóptero, Aspectos Gerais e Análises da Propulsão Elétrica. **VIII SEGeT - Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**, Resende/RJ, 2011.