



TÉCNICO EM MECATRÔNICA

ALESSANDRA CRISTINA MÜLLER CHIEREGATTI
FABIANO CRISTIAN VITORIO ROSA
GIOVANNA MAZUTTI SILVA
JENNIFER DOS SANTOS SANTANA
JOEFFERSON SAMPAIO DA SILVA

DRONE ARDUINO

**SÃO CARLOS – SP
DEZEMBRO 2023**

**ALESSANDRA CRISTINA MÜLLER CHIEREGATTI
FABIANO CRISTIAN VITORIO ROSA
GIOVANNA MAZUTTI SILVA
JENIFFER DOS SANTOS SANTANA
JOEFFERSON SAMPAIO DA SILVA**

DRONE ARDUINO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Etec Pedro Paulino Botelho, do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, como requisito parcial para a obtenção da habilitação profissional de Técnico de Nível Médio em Mecatrônica sob a orientação do Professor Claudio Torres Gonçalves de PTCC.

**SÃO CARLOS – SP
DEZEMBRO 2023**

Alessandra Cristina Müller Chieregatti
Fabiano Cristian Vitorio Rosa
Giovanna Mazutti Silva
Jennifer dos Santos Santana
Joefferson Sampaio da Silva

DRONE ARDUINO

Aprovada em : _____ / _____ / _____

Conceito: _____

Banca de Validação:

Professor Claudio Torres Gonçalves
Etec Paulino Botelho
Orientador

Professor Anderson Ângelo Beluco
Etec Paulino Botelho

Professor Evandra Maria Raymundo
Etec Paulino Botelho

SÃO CARLOS – SP
2023

DEDICATÓRIA

Dedicamos esse trabalho a cada participante do projeto, por termos nos fortalecido para chegarmos até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos professores pelos ensinamentos e orientações durante o aprendizado. Aos nossos familiares pelo apoio em todo processo.

EPÍGRAFE

Permita-se voar em direção aos sonhos.

Carla Loureiro de Almeida.

RESUMO

A construção de drones controlados por Arduino é uma área em crescimento que envolve tecnologias avançadas em eletrônica, controle de voo e programação. Este trabalho tem como objetivo construir um drone utilizando a plataforma Arduino, permitindo o controle de componentes eletrônicos e o desenvolvimento de programas para o voo autônomo do drone. A metodologia envolve o planejamento do hardware e software, a montagem e integração dos componentes, o desenvolvimento do código-fonte e a realização de testes e ajustes. A revisão teórica abrange conceitos relacionados aos drones, Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) e multirotores, incluindo teorias de voo e dinâmica de um quadrotor. A construção do drone controlado por Arduino oferece a oportunidade de explorar tecnologias avançadas e aplicá-las em áreas como agricultura, inspeção de infraestrutura, mapeamento e monitoramento ambiental.

Palavras-chave: Drones. Arduino. VANTs.

ABSTRACT

The construction of Arduino-controlled drones is a growing field that involves advanced technologies in electronics, flight control, and programming. This project aims to build a drone using the Arduino platform, enabling the control of electronic components and the development of programs for autonomous flight. The methodology involves hardware and software planning, component assembly and integration, source code development, and conducting tests and adjustments. The theoretical review covers concepts related to drones, Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and multirotors, including flight theories and quadrotor dynamics. Building an Arduino-controlled drone offers the opportunity to explore advanced technologies and apply them in areas such as agriculture, infrastructure inspection, mapping, and environmental monitoring.

Keywords: Drones. Arduino. UAVs.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Classificação dos Multimotores	16
FIGURA 2 – Forças, torques e ângulos de um quadrotor.....	17
FIGURA 3 – Dinâmica de voo de um quadrotor.....	18
Figura 04 – Motores XXD A2212 1000KV.....	20
Figura 05 – ESC sem escova de 30ª.....	21
Figura 06 – Bateria de Lipo Zeee	22
Figura 07 – MPU-6050	23
Figura 08 – Arduino Uno R3	25
Figura 09 – Hélices	26
Figura 10 – Frame	27
Figura 11 – Placa de distribuição	28
Figura 12 Código de calibração das ESC	29
Figura 13– Arduino Uno R3	31
Figura 14 Roll (Aileron): Responsável por movimentar o drone para a direita ou esquerda.	32
Figura 15 Pitch (Elevator): Responsável por movimentar o drone para frente ou para trás.....	33
Figura 16 Throttle (Acelerador): Responsável pela aceleração conjunta de todos os motores, resultando na subida ou descida da aeronave.....	33 e 34
Figura 17 – Código de calibração das ESC	35 e 36

SUMÁRIO

1. INTRUDUÇÃO.....	11
2. FUNDAMENTOS TEORICOS	12
3. METODOLOGIA.....	16
4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	30
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	32

1. INTRODUÇÃO

A construção de drones é uma área fascinante e em constante crescimento que envolve tecnologias avançadas em eletrônica, controle de voo e programação. O uso de drones tem crescido rapidamente em diversas áreas, desde a agricultura até a segurança pública e o entretenimento.

O modelo de drone atualmente foi patenteado pelo engenheiro espacial Abraham Karem, fundador da tecnologia UAV (“Unmanned Aerial Vehicle”) ou em português VANT (Veículo Aéreo Não-Tripulado). Antes da sua chegada nos Estados Unidos em 1.977, o Drone precisava de trinta pessoas para controlá-lo. Após sua chegada, Abraham projetou um novo modelo com melhorias onde passou a ficar cinquenta e seis horas de voo sem precisar recarregar sua bateria, e três pessoas operando o mesmo.

Sua chegada no Brasil foi em 1983, fabricado pela indústria CBT (Companhia Brasileira de Tratores). Sua primeira aparição foi marcada pela BQM1BR, o primeiro VANT registrado no país. Mas começou a se popularizar em meados de 2013, principalmente em atividades relacionadas à fotografia e videografia aérea. No entanto, o uso comercial de drones no país só foi regulamentado em maio de 2017, quando a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) publicou a norma regulamentadora RBAC-E 94, que estabelece as regras para operação de aeronaves não tripuladas no espaço aéreo brasileiro. Desde então, o uso de drones tem se expandido em diversas áreas, como agricultura, inspeção de infraestrutura, mapeamento, monitoramento ambiental, entre outras.

Nesse contexto, este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo a construção de um drone utilizando a plataforma Arduino, que é uma plataforma aberta de prototipagem eletrônica. Com a utilização do Arduino, é possível controlar diferentes componentes eletrônicos do drone, como motores, sensores e câmeras, e desenvolver programas para controlar o voo do drone de forma autônoma. O trabalho envolve a construção do chassi do drone, a escolha dos componentes, o desenvolvimento de um controlador de voo e a programação do Arduino.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Neste estudo, será apresentado um fundamento teórico abrangente, abordando as principais teorias e conceitos relacionados ao tema em questão. A revisão da literatura busca explorar as contribuições existentes, identificar as lacunas no conhecimento atual e fornecer uma base sólida para a investigação proposta.

2.1 Drone

O termo "drone" é utilizado para se referir a robôs autônomos que executam tarefas com pouca intervenção humana, enquanto estão geograficamente distantes. Esses robôs são comparados às abelhas que trabalham sob o comando de uma rainha distante. Eles possuem um alto nível de automação e são capazes de realizar atividades complexas que seriam desafiadoras para os humanos que não estão presentes fisicamente no local. Essas atividades incluem percorrer superfícies acidentadas, manter a estabilidade durante o voo e navegar em águas profundas. Essas três formas de automação são classificadas como Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs ou UAVs), de acordo com Baichtal (2015).

2.2 Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs)

Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), popularmente conhecidos como drones, abrangem uma ampla variedade de robôs móveis autônomos. Eles são classificados com base em sua massa de decolagem máxima, altitude máxima de operação e tempo de autonomia. Além disso, também podem ser classificados de acordo com o mecanismo de sustentação, como asa fixa, asa rotativa, foguetes e balões. Os VANTs de asa fixa tiveram seu desenvolvimento inicial durante a Primeira Guerra Mundial, com o objetivo de substituir bombas voadoras por torpedos aéreos. O controle desses VANTs foi possibilitado pelo uso de giroscópios desenvolvidos por Elmer Sperry (Silveira, 2014).

2.3 Multimotores

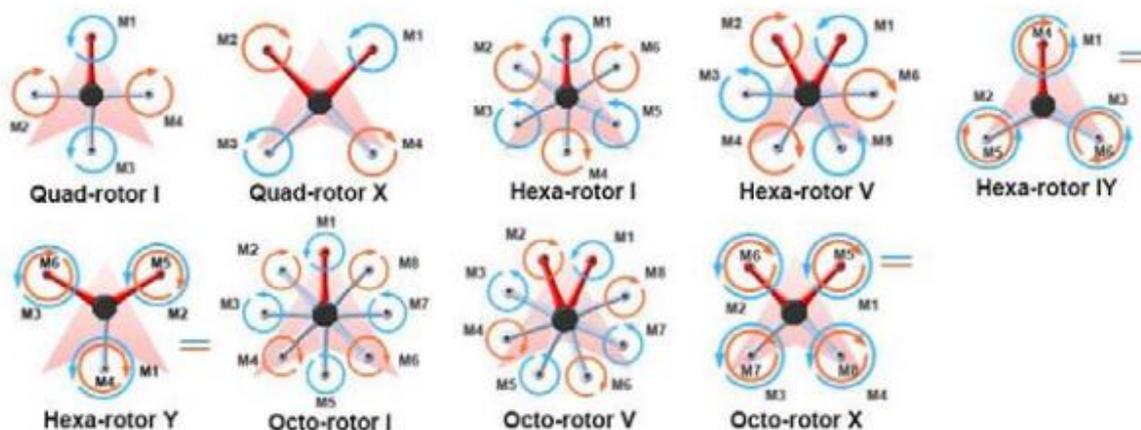
A nomenclatura "multirotores" é usada para descrever aeronaves de asa rotativa que possuem mais de um rotor e utilizam esses rotores para sustentação em voo. No entanto, aeronaves de grande porte desse tipo, que não são capazes de voar de forma não tripulada, são comumente chamadas de helicópteros ou tiltrottores.

Os primeiros registros de produção e voos de multirotores remontam a 1922, quando o engenheiro russo Dr. George E. Bothezat desenvolveu uma aeronave com quatro rotores em uma estrutura em forma de X. Essa aeronave tinha baixa potência, falta de responsividade, mecânica complexa e dificuldade para manter o voo estável. Entre 1922 e 1923, esse modelo realizou cerca de 100 voos, atingindo alturas de aproximadamente cinco metros.

O desenvolvimento dos multirotores teve início para solucionar problemas de estabilidade encontrados em projetos que usavam apenas um rotor para sustentação, no entanto, o voo de um multirotor era difícil de ser controlado por pilotos humanos devido à falta de avanços em computação mecânica. A solução para a estabilidade das aeronaves com um único rotor foi a variação do ângulo das pás do rotor e a adição de um rotor na cauda para direcionar a aeronave com estabilidade e controlar o torque do rotor principal.

Conforme a Figura 01, os multirotores atuais são classificados quanto ao seu número de rotores e a disposição dos motores em sua estrutura principal.

Figura 01 – Classificação dos multimotores



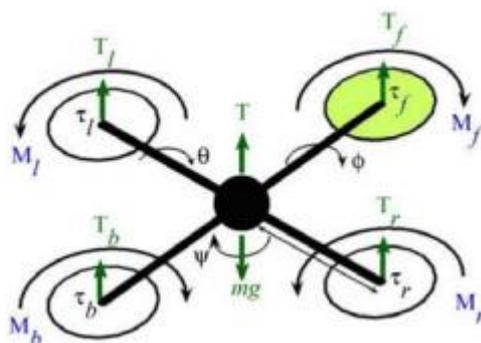
fonte: DJI (2015)

2.3.1 Teoria de voo de multimotores

O voo de multirotores requer sustentação, que é gerada pelo movimento rotacional de conjuntos de hélices acopladas a motores. Esse movimento, imerso em um fluido compressível, gera uma força de empuxo que sustenta a aeronave, bem como uma força de arrasto. No entanto, devido à força de arrasto gerada pela hélice, o motor é submetido a um torque que pode fazer a base da aeronave girar, a menos que seja equilibrada por um torque igual e de sentido oposto.

Na Figura 02, é apresentado um esquema de um quadrotor e as forças que atuam em seus motores. As letras T , τ , θ , ϕ e Ψ representam, respectivamente, as grandezas de força, torque, ângulo de arfagem (pitch), ângulo de rolagem (roll) e ângulo de guinada (yaw). Os subíndices f , l , r e b indicam os motores dianteiro, esquerdo, direito e traseiro, respectivamente.

Figura 02 – Forças, torques e ângulos de um quadrotor



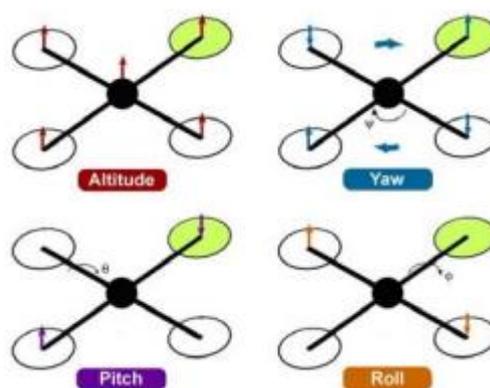
fonte: Casolo (2010)

Na Figura 02, é ilustrado um voo estabilizado nos três eixos, em que a soma dos torques e das forças é igual a zero. Isso é possível devido às rotações dos motores dianteiro e traseiro serem em sentido oposto às rotações dos motores esquerdo e direito, a fim de equilibrar os torques.

Para gerar uma força de direção diferente da força peso, os multirotores precisam inclinar o plano de rotação de suas hélices, o que requer a modificação dos ângulos de arfagem e rolagem. Quando a direção da força de sustentação difere da direção da força peso, a força resultante possui duas componentes: uma horizontal, utilizada para o deslocamento do multirotor, e outra vertical, que equilibra a força peso.

Além disso, o multirotor precisa alterar seu ângulo de guinada para realizar uma curva coordenada. Para efetuar as mudanças nos ângulos de arfagem e rolagem, o multirotor segue a mesma lógica. Por exemplo, aumentando a rotação do motor traseiro e reduzindo proporcionalmente a rotação do motor dianteiro, a soma dos momentos na estrutura do multirotor resultará em um momento que o inclinará para frente (movimento de arfagem ou pitch). Da mesma forma, para obter um movimento de rolagem (roll), procede-se de maneira similar, conforme ilustrado na Figura XZ.

Figura 03 – Dinâmica de voo de um quadrotor



fonte: Casolo (2010)

O movimento de guinada em um multirotor ocorre quando há uma modificação na rotação dos pares de motores. Por exemplo, ao aumentar a rotação dos motores dianteiro e traseiro e reduzir na mesma proporção a rotação dos motores direito e esquerdo, a soma dos torques não será mais zero, resultando em uma rotação horizontal da estrutura do multirotor no sentido oposto à rotação dos motores com aumento de rotação, conforme ilustrado na Figura 03.

De forma mais intuitiva do que os movimentos descritos anteriormente, o aumento da altitude é alcançado ao aumentar simultaneamente a rotação de todos os motores a partir de um estado de referência (com altitude nivelada). Nesse momento, a força de sustentação resultante será maior do que a força peso, permitindo o ganho de altitude.

3. METODOLOGIA

O objetivo primordial deste projeto é aplicar os conhecimentos adquiridos durante o curso de técnico em mecatrônica, proporcionando uma aplicação prática e integrada dos conceitos teóricos e habilidades práticas desenvolvidas.

3.1 Equipamentos e sistemas do drone

3.1.1 Definição do Design:

A estrutura, denominada "frame", em drones exhibe variações significativas em termos de design e material, sendo adaptada para atender a diversas necessidades e aplicações específicas. A seguir, apresentam-se alguns modelos comuns de frames em drones:

- Frames em X: Este tipo possui uma configuração de braços dispostos em formato de "X". A disposição específica dos braços é projetada para uma distribuição uniforme de carga, resultando em uma estabilidade aprimorada durante o voo.
- Frames em H: Caracterizados pela sua configuração em forma de "H", esses frames proporcionam uma harmoniosa combinação entre estabilidade e espaço disponível para a montagem de componentes. Essa versatilidade torna-os uma escolha destacada para diversas aplicações.

No contexto deste estudo, propõe-se o desenvolvimento de um design abrangente para o drone, elegendo o formato "X" com quatro rotores. Essa escolha específica é motivada pela intenção de atender aos requisitos particulares delineados pelo projeto, buscando otimizar não apenas a estabilidade, mas também a distribuição eficiente de carga e o espaço destinado à montagem dos componentes essenciais.

3.1.2 Especificação da Moldura:

Selecionamos um frame fabricado com fibra de vidro, cujos braços sustentadores são confeccionados em poliamida nylon, visando proporcionar uma combinação ideal de leveza e resistência estrutural.

Para a montagem dos componentes eletrônicos, empregou-se uma placa de suporte central, quatro braços e quatro suportes de motor, destinados a conectar cada motor às extremidades dos respectivos braços. Os materiais utilizados foram fibra de

carbono e MDF. O uso predominante do alumínio se justifica pela sua leveza, rigidez e custo acessível. No entanto, é importante ressaltar que, em comparação com as fibras de carbono, o alumínio não absorve vibrações tão eficientemente.

3.1.3 Especificação dos Rotores:

Os motores desempenham um papel crucial no contexto de um drone, sendo responsáveis por gerar a força necessária para impulsionar as hélices. Essa força não apenas sustenta o drone no ar, mas também permite seu controle, possibilitando ajustes precisos na altitude, direção e inclinação durante o voo. A escolha e configuração adequadas dos motores têm um impacto direto na estabilidade e manobrabilidade do drone, sendo fatores essenciais para o seu funcionamento e desempenho otimizados.

Nesse contexto, optamos por utilizar motores XXD A2212 1000KV outrunner, detalhando minuciosamente as especificações cruciais, tais como KV, eficiência, capacidade atual, entre outros. Essa escolha estratégica visa assegurar um desempenho confiável e eficiente, alinhado com os requisitos específicos do projeto de construção do drone.

Figura 04 – Motores XXD A2212 1000KV



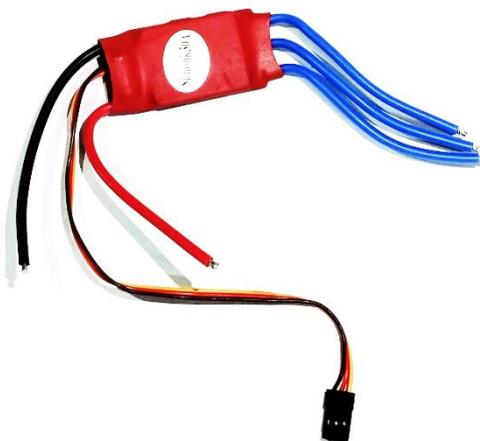
fonte: Alunos

3.1.4 Especificação do ESC (Controlador Eletrônico de Velocidade):

A função primordial da Electronic Speed Controller (ESC) em um drone é controlar a velocidade e direção dos motores. Atuando como intermediária entre o controlador de voo e os motores, a ESC desempenha um papel crucial ao traduzir os sinais do controlador, regular a rotação dos motores e proporcionar uma frenagem eficiente. Adicionalmente, exerce um papel vital na proteção contra sobrecargas, contribuindo significativamente para a estabilidade e segurança durante o voo.

No contexto específico do nosso projeto, optamos pelo ESC sem escova de 30^a. Essa escolha levou em consideração fatores como saída contínua, explosão, tensão de entrada, BEC, velocidade máxima e outras configurações relevantes, visando garantir um desempenho ótimo e seguro do sistema.

Figura 05 – ESC sem escova de 30^a



fonte: Alunos

3.1.5 Especificação da Bateria:

A bateria em um drone desempenha um papel crucial ao fornecer energia essencial para os motores e componentes eletrônicos, viabilizando o voo. A sua capacidade tem um impacto direto na autonomia, estabilidade e controle do drone.

Além disso, a escolha cuidadosa da voltagem e corrente é imperativa para garantir um desempenho eficiente e seguro do sistema.

No âmbito deste projeto, decidiu-se adotar a bateria Zeee, considerando detalhes precisos como voltagem, capacidade, taxa de descarga, configuração, tipo de conector, entre outros fatores que exercem influência direta sobre o desempenho do drone. Essa escolha estratégica visa assegurar um fornecimento de energia confiável e otimizado, alinhado às especificidades do projeto.

Figura 06 – Bateria de Lipo Zeee



fonte: Alunos

3.1.6 Potenciômetro:

Foi utilizado um potenciômetro rotativo de 5K ohms para controlar a velocidade dos motores no drone. Esse, possui três terminais, sendo os terminais 1 e 3 as extremidades e o terminal 2 o central. Conectado o terminal central a um pino analógico no Arduino, como o A0.

No código do Arduino, foi implantado a função `analogRead` para ler os valores do potenciômetro. Os valores lidos são mapeados para uma faixa adequada, levando em consideração as especificações dos ESCs (controladores de velocidade) que

foram utilizados. Por exemplo, se os ESCs aceitam pulsos PWM de 1000 a 2000 microssegundos, serão mapeados os valores lidos do potenciômetro para essa faixa.

Foram realizadas conexões elétricas entre o potenciômetro e o Arduino com atenção, garantindo que os terminais estejam corretamente conectados. Não foi necessária uma fonte de alimentação externa para o potenciômetro, pois ele é alimentado diretamente pela placa Arduino.

Ao ajustar a posição do potenciômetro, foi necessário o Monitor Serial para monitorar os valores lidos. Isso ajuda a garantir que a leitura analógica está funcionando conforme o esperado. Além disso, foi seguido as orientações do fabricante dos ESCs para realizar a calibração adequada, garantindo um controle suave dos motores.

Figura 07 – Potenciômetro



fonte: Alunos

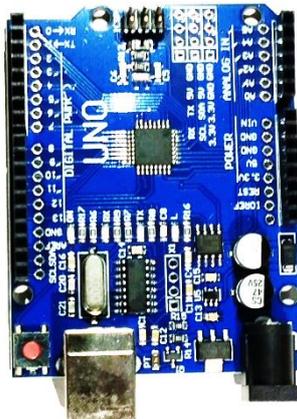
3.1.7 Especificações do Arduino Uno:

O Arduino Uno desempenha diversas funções cruciais em um drone, especialmente quando utilizado como controlador de voo. Abaixo, destacam-se algumas das suas principais atribuições:

- Controle de Voo: O Arduino Uno atua como o cérebro do drone, recebendo informações dos sensores, como giroscópios e acelerômetros. Ele toma decisões para ajustar os motores, assegurando o equilíbrio e estabilidade durante o voo.
- Processamento de Dados: O Arduino Uno realiza o processamento dos dados oriundos dos sensores e outros módulos. Essa função é essencial para calcular parâmetros fundamentais, como orientação, velocidade angular e aceleração, imprescindíveis para o controle de voo.
- Controle de Motores: Emitindo sinais para os ESCs (Controladores Eletrônicos de Velocidade), o Arduino Uno controla a velocidade dos motores do drone. Essa funcionalidade é crucial para ajustar a posição e altitude do drone conforme os comandos do usuário ou requisitos do sistema.
- Integração de Componentes: O Arduino Uno atua como uma plataforma central para integrar e controlar diversos componentes eletrônicos, incluindo sensores, módulos de comunicação, câmeras e outros dispositivos utilizados no drone.
- Comunicação: Facilitando a comunicação entre os diversos componentes do drone, o Arduino Uno viabiliza a troca de informações entre o controlador de voo, módulos de GPS, transmissores de dados e outros dispositivos conectados.
- Programabilidade: Como uma plataforma programável, o Arduino Uno permite que desenvolvedores criem e modifiquem o código para adaptar o drone às necessidades específicas. Essa característica oferece flexibilidade e personalização no desenvolvimento de funcionalidades e comportamentos do drone.

Em síntese, o Arduino Uno desempenha um papel central no controle de voo e na integração de componentes em um drone, possibilitando um funcionamento coordenado e eficiente do sistema.

Figura 08 – Arduino Uno R3



fonte: Alunos

3.1.8 Hélice:

Foi considerado as hélices como as "asas" vitais do drone. O movimento rotativo delas é fundamental para proporcionar sustentação e manter o drone no ar. Ao construir um drone, observamos cuidadosamente as características do motor utilizado, o sentido de giro e o tamanho da hélice recomendada. As dimensões são sempre expressas em polegadas, representando o comprimento da hélice e o valor de passo. Por exemplo, uma hélice 11×4.7 tem 11 polegadas de comprimento e um passo de 4,7 polegadas, o que significa que a cada giro completo, essa hélice se desloca 4,7 polegadas no ar.

Para compreender melhor esse conceito, pode ser feito uma analogia com um parafuso: o passo da hélice representa o quanto esse parafuso enrosca na madeira a cada volta. Em relação ao sentido de giro, seguimos a lógica do motor: o motor que gira no sentido horário necessariamente utiliza uma hélice do tipo CW (clockwise, em português "sentido horário"), enquanto o motor anti-horário utiliza uma hélice CCW (counter clockwise, em português "sentido anti-horário"). É crucial seguir essa lógica, pois, do contrário, o drone nem mesmo sairá do chão. Somente ao compreender e aplicar esses princípios, conseguimos garantir o desempenho eficaz e seguro do nosso drone.

Figura 09 – Hélices



fonte: Alunos

3.2 Projeto e montagem do drone

3.2.1 Montando a Estrutura do Drone:

Nesta etapa, foi realizada a montagem da estrutura do drone. Junto com a estrutura, foi feita a colocação dos motores e sua conexão com o ESC. Portanto, seguiu-se os passos abaixo para preparar a moldura:

- Nos acessórios da moldura, recebeu-se duas placas que necessitavam conectar entre os braços da moldura. Dessas duas placas, pegamos a maior. Foi observado almofadas de solda na placa com sinais positivos e negativos. Essa placa é a placa de distribuição de energia do drone.

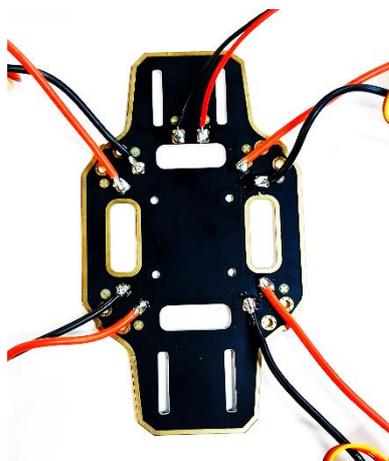
Figura 10 – Frame



fonte: Alunos

- Então, a placa de distribuição de energia e foi fixada as quatro pernas da estrutura à placa, apertando-as com parafusos. Antes de colocar a segunda placa, também é necessário concluir algumas outras etapas.
- Tendo o ESC, foi e removido o conector que estava conectado aos fios de alimentação do ESC. Identificou-se isso observando o número de fios conectados a esse conector e o tamanho do conector. Assim que o conector foi removido, utilizamos o ferro de solda para conectar o fio vermelho do ESC à almofada com o sinal "+" e o fio preto à almofada com o sinal "-".
- Repetiu-se o processo com todos os quatros ESCs e depois a bateria foi conectada LiPo de maneira semelhante, mas através de um interruptor que liga e desliga quando preciso.

Figura 11 – Placa de distribuição



fonte: Alunos

- Agora, posicionados os ESCs sob os braços do drone com a ajuda de braçadeiras e colocada a placa superior da estrutura.
- Como os ESCs estão conectados, agora necessita dos motores nos seus devidos lugares, ou seja, na extremidade dos braços do drone, e apertá-los com parafusos. Feito isso, é observado que três fios saem do motor BLDC. É necessário conectar esses três fios aos três fios que saem do ESC.
- Tendo o fio do meio do motor, ou seja, o fio amarelo, é o conectado ao fio do meio do ESC. Conectado os outros dois fios conforme necessário, são ajustados posteriormente. Se repete a mesma etapa para todos os quatro motores, lembrando de não conectar as hélices neste momento.

3.2.2 Calibrando os Controladores Eletrônicos de Velocidade

Figura 12 – Código de calibração das ESC

```
1  #include <Servo.h>
2
3  #define pinESC1 7
4  #define pinESC2 8
5  #define pinESC3 9
6  #define pinESC4 10
7
8  Servo esc1;
9  Servo esc2;
10 Servo esc3;
11 Servo esc4;
12
13 void setup() {
14     esc1.attach(pinESC1);
15     esc2.attach(pinESC2);
16     esc3.attach(pinESC3);
17     esc4.attach(pinESC4);
18 }
19
20 void loop() {
21     // Defina a velocidade desejada (em microssegundos)
22     int velocidade = 1500; // Exemplo: 1500 é a posição central
23
24     esc1.writeMicroseconds(velocidade);
25     esc2.writeMicroseconds(velocidade);
26     esc3.writeMicroseconds(velocidade);
27     esc4.writeMicroseconds(velocidade);
28
29     // Aguarde por um curto período antes de repetir
30     delay(1000);
31 }
```

fonte: Software Arduino IDE 2.2.1

Nesta etapa, é crucial realizar a calibração dos ESCs (Controladores Eletrônicos de Velocidade). Durante esse processo, estabelecemos os limites máximo e mínimo nos quais os ESCs operarão. A calibração dos ESCs desempenha um papel essencial na prevenção de problemas, como a não inicialização simultânea dos motores ou divergências na velocidade entre eles. Essas questões podem ser evitadas por meio de uma calibração cuidadosa dos ESCs.

O código fornecido é um exemplo simples de calibração para um sistema de drone com quatro motores e quatro ESCs conectados a um Arduino. No entanto, é importante observar que esse código não incorpora funcionalidades avançadas, como sensores de giroscópio/acelerômetro (por exemplo, o MPU-6050) ou controle PID

(Proporcional, Integral e Derivativo). Além disso, o código presume a utilização de um módulo Bluetooth HC-06 para controle, possivelmente por meio de um aplicativo dedicado em um dispositivo móvel para o controle de quadricópteros.

A análise detalhada do código está apresentada abaixo:

- **Inclusão de bibliotecas:** Esta linha importa a biblioteca “*Servo.h*”, necessária para controlar os servomotores no Arduino.
- **Definição de pinos:** Essas linhas definem os pinos aos quais os quatro ESCs estão conectados.
- **Instância de objetos Servo:** Quatro objetos Servo, representando cada ESC, são criados.
- **Função `setup()`:** A função “*setup()*” é executada uma vez durante a inicialização do Arduino. Nela, os objetos Servo são inicializados e associados aos pinos específicos.
- **Função `loop()`:** A função “*loop()*” é executada continuamente. Neste caso, ela define a velocidade desejada (velocidade) em microssegundos e a aplica a todos os quatro motores usando “*writeMicroseconds()*”. Após isso, há um atraso de 1000 milissegundos (1 segundo) antes de repetir o processo. Este código básico mantém todos os motores a uma velocidade constante (1500 microssegundos), proporcionando uma configuração inicial para a calibração e teste dos motores e ESCs. O controle de velocidade real seria implementado por meio do aplicativo no celular, utilizando o módulo Bluetooth HC-06 para enviar comandos ao Arduino.

Após a calibração dos motores, verificamos o sentido de rotação. Para isso, selecionamos a parte frontal do drone. Certificamo-nos de que o motor esquerdo da parte frontal e o motor diagonalmente oposto (lado direito da extremidade traseira) giram no sentido horário, enquanto os outros dois motores giram no sentido anti-horário. Podemos ajustar o sentido de rotação trocando os dois fios, exceto o fio de sinal intermediário do motor.

Figura 13 – Arduino Uno R3



fonte: Alunos

3.2.3 Controle e programação

Antes de iniciar a programação, é crucial compreender os princípios fundamentais do voo e controle dos drones. A teoria subjacente ao voo dessas aeronaves assemelha-se à dos helicópteros, nos quais a sustentação é gerada pelo movimento rotativo das hélices, que desempenham o papel de asas e são denominadas Asas Rotativas.

A necessidade de hélices girando em sentidos contrários é crucial, pois os drones, assim como os helicópteros, têm a tendência de girar junto com os motores. Nos helicópteros, essa tendência é anulada pela pequena hélice na cauda, conhecida como anti-torque. Nos drones, a compensação é alcançada pelas hélices girando em sentidos opostos, mantendo a frente da aeronave sempre alinhada.

No desenvolvimento do controle para o nosso drone, nos deparamos com uma limitação na comunicação via Bluetooth. Diante desse desafio, optamos por ajustar o projeto, concentrando-nos exclusivamente no aumento de altitude e utilizando o

potenciômetro como dispositivo de controle. Mesmo diante da complexidade da programação e da ausência da estabilidade ideal, buscamos uma solução que permitisse o controle preciso da altitude por meio do potenciômetro.

Este programa em Arduino foi desenvolvido para controlar a velocidade de quatro motores de um drone por meio de um potenciômetro. Utilizando a biblioteca Servo.h para simplificar o controle dos motores, o código define os pinos associados aos motores, ao potenciômetro e a um jumper, que permite uma configuração específica dos motores durante a inicialização. No loop principal, o código realiza a leitura do valor do potenciômetro, mapeando esse valor para uma faixa de 35 a 157, e utiliza essa informação para controlar a velocidade de todos os motores simultaneamente.

Figura 17 – Código de calibração das ESC

```
void setup() {
  esc1.attach(pinESC1);
  esc2.attach(pinESC2);
  esc3.attach(pinESC3);
  esc4.attach(pinESC4);

  pinMode(pinPot, INPUT);
  pinMode(pinJumper, INPUT_PULLUP);

  if (digitalRead(pinJumper)) {
    esc1.write(154);
    esc2.write(154);
    esc3.write(154);
    esc4.write(154);
    delay(5000);
    esc1.write(34);
    esc2.write(34);
    esc3.write(34);
    esc4.write(34);
    delay(5000);
  }
}

void loop() {
  int valorLido = analogRead(pinPot);
  int velocidade = map(valorLido, 0, 1023, 0, 180);

  esc1.write(velocidade);
  esc2.write(velocidade);
  esc3.write(velocidade);
  esc4.write(velocidade);
}
```

Carregado.

Figura 18 – Drone Arduino



fonte: Alunos

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O presente estudo teve como objetivo a construção de um drone utilizando a plataforma Arduino, explorando as nuances da mecatrônica e integrando os conceitos teóricos apresentados na seção de fundamentos. A realização deste projeto permitiu uma análise detalhada dos componentes, da metodologia de montagem e das implicações práticas associadas ao desenvolvimento de um drone quadcopter.

4.1. Escolha dos Componentes e Desafios Orçamentários:

A escolha criteriosa dos componentes, como os motores XXD A2212 1000KV outrunner, o ESC sem escova de 30A, a bateria de Lipo Zeee e o módulo Bluetooth HC-06, foi fundamental para garantir o desempenho esperado do drone. Entretanto, é importante mencionar que, apesar da eficácia desses componentes, a disponibilidade financeira pode representar um desafio significativo para alguns entusiastas. Os custos associados a motores de alta qualidade, baterias e outros componentes podem limitar o acesso a essa tecnologia para certos segmentos da comunidade.

4.2. Estrutura e Montagem:

A estrutura em formato "X" adotada para o drone demonstrou ser eficaz, proporcionando uma distribuição de carga equilibrada e uma estabilidade aprimorada durante o voo. A escolha de materiais como fibra de vidro para a estrutura e poliamida nylon para os braços contribuiu para uma combinação ideal de leveza e resistência estrutural. No entanto, a dificuldade enfrentada durante a montagem, especialmente para aqueles com pouca experiência prática ou acesso limitado a recursos técnicos, destaca a necessidade de considerar a acessibilidade na elaboração de projetos futuros.

4.3. Dificuldades na Programação:

A programação do drone, implementada através do Arduino Uno, apresentou desafios significativos para alguns participantes. A complexidade dos códigos, a necessidade de compreender os princípios de controle PID e a calibração minuciosa dos ESCs demandaram um entendimento avançado de programação. Esta dificuldade pode representar uma barreira para entusiastas menos experientes, sugerindo a importância de materiais didáticos mais acessíveis e orientados para iniciantes na área.

4.4. Limitações e Possíveis Melhorias:

É importante mencionar que o projeto não incorporou o uso do sensor de giroscópio e acelerômetro MPU-6050, e o controle PID não foi implementado. Isso pode impactar a precisão em relação à estabilidade do drone. Para melhorias futuras, a adição desses componentes pode ser considerada para aprimorar a estabilidade e a capacidade de resposta durante o voo, tornando, ao mesmo tempo, a programação mais acessível para uma gama mais ampla de entusiastas.

4.5. Considerações sobre Usabilidade:

A integração do módulo Bluetooth HC-06 para comunicação sem fio possibilitou a utilização de um aplicativo de controle remoto. A simplicidade de emparelhamento e a configuração inicial rápida contribuíram para a usabilidade do drone. A ausência de recursos avançados, como sensores de distância para evitar obstáculos, abre perspectivas para futuras expansões e aprimoramentos do sistema, mas também

destaca a necessidade de abordagens mais amigáveis para a programação dessas funcionalidades adicionais.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho de construção do drone utilizando a plataforma Arduino não apenas evidenciou a aplicação prática de conceitos teóricos, mas também destacou desafios enfrentados, especialmente em relação ao custo dos componentes e à complexidade da programação. Essas observações são essenciais para orientar futuros projetos, visando não apenas a eficácia técnica, mas também a acessibilidade e a usabilidade para uma variedade mais ampla de entusiastas.

REFERÊNCIAS

SANTOS, David Felipe Alves Dos. **Processo de Fabricação de um Drone**. Trabalho de Graduação em Engenharia Aeronáutica pela Universidade de Taubaté, 2019. Orientador: Prof. Me. Paulo de Tarso de Moraes Lobo.

DEMOLINARI, Humberto Cascardo. **Projeto de Construção de um Drone Hexacóptero**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Mecânica, Universidade Federal Fluminense, 2016. Orientador: Profa. Fabiana Rodrigues Leta.

FAXINA, Lucas. **Projeto de Drone de Baixo Custo para Monitoramento em Áreas Agrícolas**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Biosistemas, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - Campus Avaré, 2021. Orientador: Prof. Edvaldo Guedes Junior. Co-Orientador: Prof. Demétrio Zacarias.