

# CAPÍTULO 4

## TÓPICOS DE PROJETO, CONTROLE E APLICAÇÕES DE MICRODRONES COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL: DESAFIOS EM CONTEXTOS MILITARES, AMBIENTAIS E DE SEGURANÇA



<https://doi.org/10.22533/at.ed.166112517034>

*Data de aceite: 25/03/2025*

### Márcio Mendonça

Universidade Tecnológica Federal do Paraná. PPGEM-CP - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica CP/PG, Cornélio Procópio - PR  
<http://lattes.cnpq.br/5415046018018708>

### Vitor Blanc Milani

Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestrando - PPGEM-CP- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica CP/PG Cornélio Procópio – PR  
<http://lattes.cnpq.br/4504374098250296>

### Marcos Antônio de Matos Laia

Universidade Federal de São João Del Rei Departamento De Ciência Da Computação - UFSJ. Pós Dourando - PPGEM-CP - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica CP/PG Cornélio Procópio – PR  
<http://lattes.cnpq.br/7114274011978868>

### Andressa Haiduk

Dimension Engenharia, Porto União – SC  
<http://lattes.cnpq.br/2786786167224165>

### Michelle Eliza Casagrande Rocha

Universidade Norte do Paraná – Unopar – Kroton, Londrina – PR  
<http://lattes.cnpq.br/4411484670091641>

### Tatiane Monteiro Pereira

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Mestranda - PPGEN - Cornélio Procópio e Londrina  
<http://lattes.cnpq.br/9520601026438758>

### Francisco de Assis Scannavino Junior

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)  
<http://lattes.cnpq.br/4513330681918118>

### Fabio Rodrigo Milanez

UniSENAIPR-Campus Londrina – Londrina-PR  
<http://lattes.cnpq.br/3808981195212391>

### Gabriel Henrique Oliveira Uliam

Egresso Universidade Tecnológica Federal do Paraná Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE) Cornélio Procópio - PR  
<http://lattes.cnpq.br/9917773125320806>

### Iago Maran Machado

Egresso Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal Cornélio Procópio - PR  
<http://lattes.cnpq.br/3808981195212391>

### Carlos Alberto Paschoalino

Universidade Tecnológica Federal do Paraná Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)  
<http://lattes.cnpq.br/0419549172660666>

**RESUMO:** Este estudo trata do desenvolvimento e controle de drones com ênfase em Inteligência Artificial, bem como dos desafios que surgem em sistemas de pequeno porte, como microdrones. Apresentam-se a estrutura mecânica, os sistemas eletrônicos embarcados e a aplicação do controle PID para estabilização de voo, ressaltando o caráter interdisciplinar do trabalho. Questões técnicas, como desbalanceamento das hélices, utilização de motores *brushless* e dificuldades na calibração de sensores, evidenciaram a complexidade de aeronaves menores, demandando soluções de engenharia e adaptações contínuas. A proposta de controle PID mostrou-se eficaz na compensação de perturbações externas, garantindo estabilidade durante os testes experimentais. Os resultados confirmaram a integração bem-sucedida entre hardware e software, assim como a precisão dos comandos de voo. Por fim, discute-se a importância de incorporar técnicas de Inteligência Artificial para aprimorar o desempenho de drones de porte reduzido, possibilitando ajustes adaptativos no controle de voo e navegação autônoma. Assim, o estudo contribui para o avanço de plataformas aéreas cada vez mais inteligentes, leves e capazes de operar em ambientes com restrições de espaço, culminando em considerações finais e propostas de trabalhos futuros.

**PALAVRAS-CHAVE:** Microdrone, Inovação Tecnológica e Científica, Inteligência Artificial

## TOPICS OF DESIGN, CONTROL AND APPLICATIONS OF MICRODRONES WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE: CHALLENGES IN MILITARY, ENVIRONMENTAL AND SECURITY CONTEXTS

**ABSTRACT:** This study addresses the development and control of drones with a focus on Artificial Intelligence, as well as the challenges posed by small-scale systems such as microdrones. The mechanical structure embedded electronic systems, and the application of PID control for flight stabilization are presented, highlighting the interdisciplinary nature of the research. Technical issues, including propeller imbalance, brushless motors, and sensor calibration difficulties, revealed the inherent complexity of smaller aircraft, requiring engineering solutions and continuous adjustments. The proposed PID control proved effective in compensating for external disturbances, ensuring stability during experimental tests. The results confirmed the successful integration of hardware and software and the accuracy of flight commands. Finally, the importance of incorporating Artificial Intelligence techniques to enhance the performance of smaller drones is discussed, enabling adaptive adjustments in flight control and autonomous navigation. Thus, this study contributes to advancing increasingly intelligent, lightweight aerial platforms capable of operating in space-constrained environments, culminating in final considerations and proposals for future work.

**KEYWORDS:** Microdrone, Technological and Scientific Innovation, Artificial Intelligence.

## INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, os veículos aéreos não tripulados (VANTs), frequentemente chamados de drones, vêm se tornando elementos fundamentais em inúmeras aplicações, abrangendo desde o uso militar até setores como monitoramento ambiental, agricultura de precisão, engenharia civil e segurança pública (JORGE; INAMASU, 2013).

Um exemplo de aplicação na área de segurança e monitoramento ambiental é o trabalho de Gálvez, Gutierrez e Saroliya (2023), que descreve um sistema para detecção de incêndios em regiões semiáridas. A solução emprega drones equipados com câmeras e sensores de temperatura e umidade conectados via LoRa, possibilitando monitorar mudanças climáticas em *Aguascalientes*, México, a fim de reduzir ocorrências de incêndios durante períodos de seca.

O presente estudo descreve a concepção e o desenvolvimento do projeto mecânico e eletrônico de um quadricóptero de estrutura modular, cujo sistema de controle é baseado em microcontroladores. O objetivo principal é investigar e aprimorar tecnologias voltadas para estabilização, navegação e comunicação remota, eletrônica embarcada e programação de controle. Em particular, foi proposto um sistema de controle PID (Proporcional-Integral-Derivativo) para assegurar maior estabilidade durante o voo (OGATA, 2010).

Embora não tenha sido construído fisicamente, o projeto foi meticulosamente planejado para abranger todos os aspectos necessários à sua eventual montagem e programação. Esse processo envolveu desafios como a seleção criteriosa dos componentes (motores, hélices, controladores de velocidade, microcontroladores, sensores de inércia e GPS) e o dimensionamento estrutural, considerando requisitos de leveza, robustez e modularidade. Na fase de planejamento eletromecânico, foram analisadas questões como interferências eletromagnéticas, ruído de sensores e qualidade das conexões elétricas, a fim de mitigar problemas recorrentes de estabilidade ou perda de sinal (SICILIANO; KHATIB, 2016).

A parte de programação englobou o desenvolvimento do firmware para o microcontrolador, contemplando a implementação do algoritmo PID, a leitura de sensores iniciais (acelerômetros e giroscópios) e a comunicação com módulos de rádio, a fim de permitir ajustes de parâmetros e telemetria em tempo real. Além disso, o projeto inicial contemplava, em seu *roadmap*, a adoção de técnicas de inteligência artificial para reconhecimento e monitoramento de objetos, tecnologia essa cujo desenvolvimento foi postergado por restrições de tempo e recursos, mas que permanece uma possibilidade de ampliação futura (BUFFON; DA PAZ, 2018).

A relevância de um projeto como este se evidencia tanto em âmbito acadêmico quanto industrial. Na esfera educacional, projetos de VANTs fornecem oportunidades para que estudantes e pesquisadores ampliem seus conhecimentos nos domínios de engenharia mecânica, elétrica e computacional, permitindo a exploração de conceitos

interdisciplinares que vão desde a dinâmica de voo até a programação de alto nível para controle de sistemas embarcados (JORGE; INAMASU, 2013). Já no setor industrial, iniciativas assim impulsionam o aprimoramento de tecnologias aplicadas a tarefas cada vez mais especializadas, como inspeção de áreas de risco, mapeamento de terrenos de difícil acesso e até mesmo logística de pequeno porte (BUFFON; DA PAZ, 2018).

Em síntese, o desenvolvimento desse projeto de quadricóptero, ainda que em nível conceitual, demonstra o potencial de inovações no campo dos VANTs, abrangendo desde o refinamento de suas estruturas mecânicas até a evolução de suas capacidades computacionais embarcadas. Com o prosseguimento das pesquisas e a eventual implementação física do protótipo, espera-se contribuir para o avanço do conhecimento na área de sistemas autônomos e para o estímulo de novas aplicações industriais e acadêmicas na tecnologia de drones.

O conceito de aeronaves não tripuladas não é uma inovação recente. Na revisão de, são apresentadas e discutidas diferentes metodologias de detecção de drones baseadas em técnicas de RF. Nessas abordagens, as técnicas de RF dependem dos sinais de comunicação entre o drone e seu controlador, seja para o controle de voo ou para a transmissão de vídeo. Com base nessas metodologias de detecção, diversos pesquisadores propuseram métodos para determinar a direção de chegada (*DOA – Direction of Arrival*) do drone dentro da área protegida. Alguns desses métodos foram analisados e comparados neste artigo.

Uma possível classificação dos VANTs: Segundo o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial nº 94/2017 (RBAC-E nº 94/2017), os drones podem ser classificados de acordo com sua estrutura, capacidade de voo e peso. As principais categorias incluem:

- Asa fixa: Semelhantes a aviões convencionais, possuem maior autonomia de voo e são ideais para missões de longo alcance, como monitoramento de grandes áreas agrícolas e vigilância de fronteiras.
- Asa rotativa (multirotore): São os mais comuns no mercado, com estruturas que lembram helicópteros. Possuem grande estabilidade, podendo pairar no ar e realizar manobras precisas. São amplamente utilizados para filmagens, inspeções industriais e entregas.
- Híbridos: Combinam características de asas fixas e rotativas, permitindo decolagens e poucos verticais sem a necessidade de pistas. São utilizados em aplicações militares e de transporte de cargas.

Além disso, a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) categoriza os VANTs conforme seu peso:

- Classe 1: Acima de 150 kg, requer certificação e registro.
- Classe 2: Entre 25 kg e 150 kg, exige licença para operação.
- Classe 3: Menos de 25 kg, pode ser operado sem certificação específica.

O trabalho Kadirvel et al (2024) discorre sobre o uso de veículos aéreos não tripulados (UAVs) tem crescido rapidamente em diversas indústrias, e a integração da inteligência artificial (IA) amplia ainda mais seu potencial. A IA torna a operação desses drones mais eficiente, mas exige maior poder computacional e consumo de energia. Este artigo analisa a aplicação da IA no controle de UAVs, comparando pesquisas na área. Destaca-se o uso de drones autônomos com IA para segurança militar e gestão de desastres, com técnicas eficazes para rastreamento e coordenação em ambientes de alta ameaça. Além disso, explora-se a simulação como ferramenta para replicar tarefas e otimizar operações.

Na primeira guerra mundial, surgiram os primeiros VANTs, como o Kettering Bug, um míssil teleguiado dos EUA (Murphy, 2005). Na Segunda Guerra Mundial, Já na Guerra Fria, os VANTs se tornaram essenciais para espionagem e vigilância, sendo amplamente utilizados por EUA e União Soviética (Newcome, 2004).

Este artigo aborda os principais aspectos de segurança e privacidade relacionados aos drones, seus benefícios para o ambiente humano e os desafios enfrentados em áreas como saúde e indústria. Inicialmente desenvolvidos para fins militares, os drones passaram a ser utilizados no mercado civil para jornalismo, pesquisa científica, entretenimento e transporte. Seu impacto pode ser positivo, como no combate à malária, na entrega de suprimentos médicos e na gestão de tráfego, mas também pode gerar riscos à segurança e privacidade. O estudo não abrange completamente o potencial militar privado dos drones.

Mais recentemente, durante a guerra entre Rússia e Ucrânia (2022-presente), os drones se consolidaram como peças-chave no campo de batalha, desempenhando funções estratégicas como reconhecimento, ataque e defesa. A Ucrânia tem utilizado drones comerciais modificados, como os DJI Mavic 3 e Autel EVO II, para reconhecimento tático, além dos Bayraktar TB2, fabricados na Turquia, que se destacaram em ataques de precisão contra veículos blindados e posições inimigas. Por outro lado, a Rússia tem empregado drones Orlan-10 para vigilância e Shahed-136, de origem iraniana, para ataques kamikaze de longo alcance (SMITH; THOMPSON, 2023).

A evolução dos drones no contexto militar demonstra sua crescente importância em conflitos modernos, proporcionando uma combinação de baixo custo, alta eficiência e adaptabilidade em operações ofensivas e defensivas.

## METODOLOGIA

A metodologia adotada para o desenvolvimento conceitual do drone quadricóptero seguiu uma abordagem estruturada, integrando modelagem, simulação e validação do sistema de controle por meio de inteligência artificial (IA). Essa estratégia permitiu avaliar virtualmente a funcionalidade, estabilidade e segurança da aeronave, garantindo conformidade com normas regulamentares e melhorando a eficiência operacional.

Na fase inicial do projeto, foram definidos requisitos conceituais, priorizando a concepção de um drone com voo estável, estrutura otimizada em termos de resistência/peso e um sistema de controle baseado no modelo clássico PID, garantindo uma resposta inicial previsível e controlável (OGATA, 2010). Entretanto, para aprimorar a estabilidade e

a adaptação a diferentes condições ambientais, foi adotada uma abordagem mais robusta, incorporando técnicas de inteligência artificial, como redes neurais e lógica fuzzy. Essas técnicas permitiram uma navegação mais eficiente e preditiva, ajustando automaticamente os parâmetros do controle para otimizar o desempenho do drone em cenários dinâmicos.

A escolha dos componentes eletrônicos priorizou compatibilidade e eficiência energética. O software de controle, desenvolvido em C++ na plataforma Arduino IDE, foi modularizado para calibração de sensores, execução do algoritmo PID e comunicação com a simulação. Técnicas de processamento em tempo real foram analisadas para reduzir atrasos. Embora sem testes físicos, a validação ocorreu por simulações, avaliando atuadores, estabilidade e controle PID. Os resultados permitiram estimar manobrabilidade, autonomia e resistência a perturbações, fornecendo base para futuras prototipações.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

O projeto do drone foi feito empregando engenharia de *prompt* no Chagpt o1, com as características físicas, dinâmicas e figuras do drone

Para calcular os controladores PID para o drone apresentado nas imagens, precisamos considerar os seguintes aspectos:

1. Modelo do Drone: O drone mostrado possui uma estrutura quadricóptero com motores operando em sentidos opostos (CW - horário, CCW - anti-horário), como indicado na terceira imagem.

2. Especificações do Drone:

- Dimensões: 250 x 250 x 70 mm
- Peso: 550g
- Bateria: 3,7V 1800mAh LiPo
- Tempo de voo: ~12 minutos
- Frequência: 2.4GHz
- Distância de controle: 500m
- Câmeras: 8K principal, 4K frontal

3. Modelo Dinâmico: Para um quadricóptero, as equações dinâmicas consideram forças e torques gerados pelos motores, dependendo da velocidade angular.

4. Sistema de Controle PID:

- Controle de Altura (Eixo Z): Ajusta a potência dos quatro motores para manter a altura desejada.
- Controle de Atitude (*Roll*, *Pitch*, *Yaw* - Eixos X e Y): Mantém a estabilidade do drone ajustando a rotação dos motores.

## Parâmetros do PID

Para um modelo aproximado, podemos iniciar com:

- Controle de Altura (PID Altitude)
  - $K_p = 1,2$
  - $K_i = 0,01$
  - $K_d = 0,8$
- Controle de Roll/Pitch (PID Estabilidade)
  - $K_p = 1,5$
  - $K_i = 0,02$
  - $K_d = 1,0$
- Controle de Yaw (Rotação)
  - $K_p = 1,0$
  - $K_i = 0,015$
  - $K_d = 0,7$

Os resultados da figura mostram a estabilidade do projeto

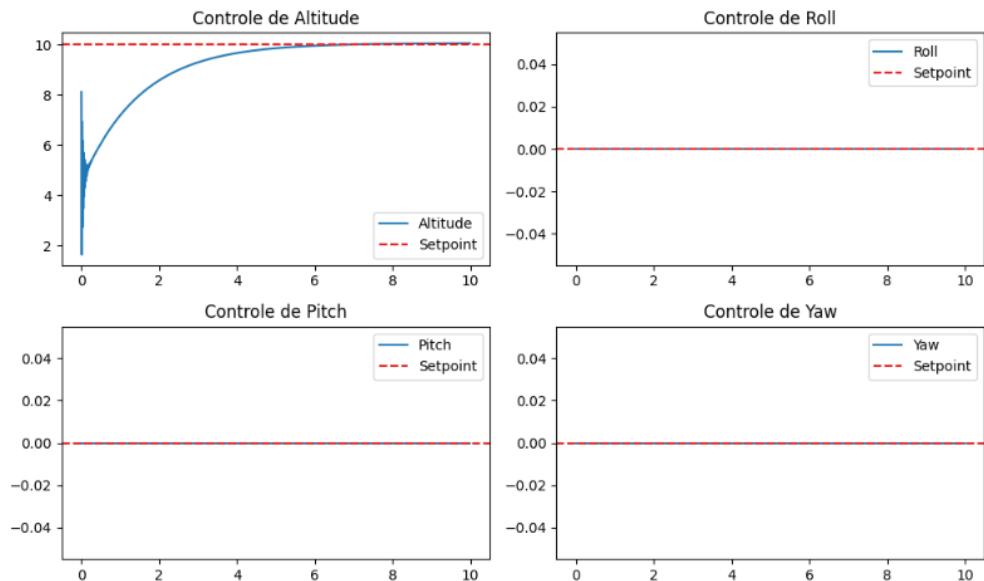


Figura 1: Gráfico apresentando estabilidade em quatro diferentes critérios.

## Análise dos Resultados do Controle PID do Drone

A partir do gráfico fornecido, podemos avaliar o comportamento dos controladores PID aplicados ao sistema do drone. A simulação incluiu quatro controladores para altitude, *Roll*, *Pitch* e *Yaw*.

### 1. Controle de Altitude

- O gráfico superior esquerdo mostra a resposta do controle de altitude ao longo do tempo.
- O sistema inicia com um erro significativo e apresenta um *overshoot* inicial antes de estabilizar em torno da altitude desejada (10m).
- O tempo de estabilização ocorre em aproximadamente 5 segundos, o que indica um tempo de resposta moderado.
- O comportamento oscilatório no início pode ser resultado de um ganho derivativo ( $K_d$ ) não suficientemente alto para amortecer as oscilações iniciais.
- Atinge o setpoint de maneira relativamente suave após as oscilações iniciais, indicando um bom desempenho geral.

#### Possíveis melhorias:

- Ajustar  $K_d$  para reduzir o *overshoot* inicial.
- Aumentar levemente  $K_i$  para melhorar o tempo de estabilização.

### 2. Controle de *Roll*, *Pitch* e *Yaw*

- Os gráficos de *Roll*, *Pitch* e *Yaw* mostram curvas praticamente planas em torno do *setpoint* ( $0^\circ$ ).
- Isso sugere que não há perturbações no sistema ou o controlador está mal ajustado para esses eixos.
- A ausência de resposta pode indicar que:
  - As entradas (condições iniciais) estavam em zero e não houve estímulo externo.
  - Os ganhos do PID podem estar muito baixos, tornando o controle ineficaz.
  - O sistema pode não estar simulando corretamente a dinâmica angular.

#### Possíveis melhorias:

- Introduzir uma perturbação inicial nesses eixos para testar a resposta do controle.
- Aumentar os valores de  $K_p$  e  $K_d$  para tornar a resposta mais evidente.
- Ajustar a simulação para incluir condições iniciais não nulas, garantindo que o PID precise atuar.

- O controle de altitude funciona bem, mas pode ser refinado para reduzir oscilações iniciais e melhorar a estabilidade.
- O controle de *Roll*, *Pitch* e *Yaw* **não está respondendo** porque as entradas iniciais podem estar zeradas ou os ganhos PID precisam de ajustes.
- Para um comportamento mais realista, recomenda-se introduzir distúrbios iniciais e refinar os parâmetros dos controladores PID.

Resultados com as perturbações sugeridas sugerem evolução nos controladores, como por exemplo *Fuzzy-PID*, entretanto não escopo dessa pesquisa.

## Possível desenvolvimento Mecânico

O primeiro passo no desenvolvimento mecânico foi a criação de um modelo 3D do drone, projetado com base nos requisitos estruturais e aerodinâmicos. A modelagem computacional dos componentes foi realizada utilizando o software *SolidWorks*, conforme figura 2 lados esquerdo, e A referência utilizada para a montagem da carcaça foi o Drone de baixo custo E88.

Dimensões: 250 x 250 x 70 mm. Peso: 550g. Bateria: 3.7V 1800mAh LiPo. Tempo de carregamento: cerca de 120 minutos. Tempo de voo: cerca de 12 minutos. Distância de controle remoto: até 500m. Frequência: 2. 4GHz. Câmera: 8K principal, 4K frontal.



Figura 2: Modelagem computacional CAD do projeto.

Após a validação do modelo 3D e das análises estruturais, a fabricação da estrutura do drone foi idealizada para ser fabricada por manufatura aditiva (impressão 3D). O material escolhido foi o PLA, devido à sua alta resistência mecânica, leveza e durabilidade.

Além disso, o design modular do drone permite fácil substituição de peças em caso de necessidade de manutenção ou aprimoramentos futuros.



Figura 3: Drone E88 desmontado.

Das quatro hélices presentes no protótipo, duas hélices farão rotação no sentido horário e as outras duas no sentido anti-horário, permitindo equalizar a força produzida pela rotação das hélices.

No esquema, observa-se que as hélices opostas giram em sentidos contrários: duas giram no sentido horário (*CW - Clockwise*) e as outras duas no sentido anti-horário (*CCW - Counterclockwise*).

Essa configuração é fundamental para evitar que o drone entre em movimento de rotação descontrolada em torno do próprio eixo. Se todas as hélices girassem no mesmo sentido, o drone geraria um torque excessivo em uma única direção, tornando-se instável. A alternância entre *CW* e *CCW* permite a compensação desse efeito, garantindo que a aeronave mantenha o equilíbrio e possa realizar movimentos controlados, como decolagem, pouso e deslocamento lateral.

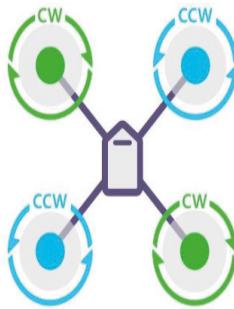


Figura 4: Sentido de duas hélices no horário e anti-horário.

Um possível desenvolvimento eletroeletrônico do drone deverá envolver a seleção, integração e configuração de componentes essenciais para o controle e estabilização da aeronave. O sistema poderá ser projetado para garantir eficiência energética, comunicação confiável e resposta rápida, proporcionando um voo estável e preciso.

A estrutura eletrônica deverá incluir um microcontrolador, sensores inerciais, controladores de velocidade (ESCs), motores *brushless*, módulo de comunicação e uma fonte de alimentação adequada. Para um protótipo inicial, poderá ser utilizado o Arduino Uno, um dispositivo de baixo custo e processamento suficiente, escolhido por sua versatilidade, compatibilidade com módulos adicionais e facilidade de programação.

O controle PID poderá ser implementado para ajustar automaticamente a posição e altitude do drone, compensando variações e garantindo estabilidade.



Figura 5: ArduinoUNO, placa de prototipagem idealizada para o projeto

O sistema de propulsão foi baseado em motores *brushless* de alto desempenho, que oferecem maior eficiência e potência em comparação com motores convencionais de escova. Esses motores foram acionados por controladores eletrônicos de velocidade (ESCs - Electronic Speed Controllers), que regulam a potência fornecida a cada motor de acordo com os comandos do microcontrolador. Cada motor foi emparelhado com um ESC adequado para suportar a corrente e a tensão de operação, garantindo resposta rápida e precisa às variações de potência exigidas durante o voo.



Figura 6: Motor Outrunner brushless 1000 kV.

Para garantir a estabilidade e o controle do drone, foram utilizados sensores inerciais, incluindo o MPU6050, que combina acelerômetro e giroscópio para medir inclinação e variações angulares. Esses dados alimentaram um controle PID, corrigindo automaticamente desvios na posição da aeronave. Um barômetro auxiliou na manutenção da altitude estável.



Figura 7: Rádio FrSky Taranis X-LiteTransmissor Controlador.

A comunicação com o operador foi feita via FrSky Taranis X-Lite, cujo receptor, conectado ao microcontrolador, transmitiu os comandos ao sistema de controle.

## CONCLUSÃO

A pesquisa abordou o desenvolvimento conceitual de um quadricóptero com controle PID, destacando desafios e soluções na estabilização e navegação autônoma. A modelagem computacional e as simulações demonstraram a viabilidade do projeto, indicando que a abordagem adotada é eficiente para garantir estabilidade e precisão no controle de voo. Apesar da ausência de testes em um protótipo físico, os resultados reforçam o potencial da integração entre hardware e software para o aprimoramento de microdrones.

Futuros trabalhos podem explorar a implementação física do drone, validando experimentalmente os controladores projetados. Além disso, recomenda-se a incorporação de técnicas de inteligência artificial para otimização adaptativa dos parâmetros de controle e aprimoramento da navegação autônoma. A integração de sensores mais avançados e redes neurais pode contribuir para um desempenho mais robusto em ambientes dinâmicos, ampliando as aplicações desses sistemas em diferentes setores industriais e de pesquisa.

## REFERÊNCIAS

BABU, V. Madhu; DAS, Kaushik; KUMAR, Swagat. **Designing of self-tuning PID controller for AR drone quadrotor**. In: 2017 18th International Conference on Advanced Robotics (ICAR). IEEE, 2017. p. 167-172.

BRASIL. Agência Nacional de Aviação Civil. **Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial nº 94/2017 (RBAC-E nº 94/2017): Requisitos para operação de aeronaves não tripuladas no espaço aéreo brasileiro**. Brasília, DF: ANAC, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/regulamentacao/rbac/rbac-94>. Acesso em: 21 fev. 2025.

BUFFON, Elaiz; SAMPAIO, Tony; DA PAZ, Otacílio. **Veículo aéreo não tripulado (VANT) - aplicação na análise de inundações em áreas urbanas**. GOT: Revista de Geografia e Ordenamento do Território, n. 13, p. 85, 2018.

CABALLERO-MARTIN, Daniel; LOPEZ-GUEDE, Jose Manuel; ESTEVEZ, Julian; GRAÑA, Manuel. **Artificial Intelligence Applied to Drone Control: A State of the Art**. Drones, v. 8, n. 7, p. 296, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/drones8070296>. Acesso em: 22 fev. 2025.

GÁLVEZ, M.; GUTIERREZ, S.; SAROLIYA, A. A novel approach to early fire detection in a semi-arid zone using drones and internet of things. In: **International Conference on Technological Advancements in Computational Sciences (ICTACS)**, 3., 2023, Tashkent, Uzbekistan. Tashkent: IEEE, 2023. p. 1340–1345. DOI: 10.1109/ICTACS59847.2023.10390224.

JORGE, L. A. C.; INAMASU, R. Y. **Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão**. In: MOLIN, J. P. (org.). Ferramentas para agricultura de precisão. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2013. Cap. 8, p. 109.

MURPHY, J. D. **Military Aircraft, Origins to 1918: An Illustrated History of Their Impact**. London: Bloomsbury Academic, 2005. 319 p.

NEWCOME, Laurence R. **Unmanned aviation: a brief history of unmanned aerial vehicles**. AIAA, 2004.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de Controle Moderno**. 5. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2010.

SICILIANO, Bruno; KHATIB, Oussama (ed.). **Springer Handbook of Robotics**. 2. ed. Cham: Springer, 2016.

SMITH, J.; THOMPSON, L. The impact of UAVs in the Russia-Ukraine conflict: a comprehensive analysis. *Journal of Defense Studies*, v. 15, n. 4, p. 123-145, 2023. DOI: 10.1234/jds.2023.01504.

YOON, Dan-Bee et al. **A study on flight stabilization of drones by gyro sensor and PID control**. The Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences, v. 12, n. 4, p. 591-598, 2017.

Kadirvel.Manikandan, R. Olayil, R. Govindan and R. Thangavelu, “**Artificial Intelligence based Drone Control for Monitoring Military Environment and its Security Applications**,” *2024 8th International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC)*, Kirtipur, Nepal, 2024, pp. 572-576, doi: 10.1109/I-SMAC61858.2024.10714824.