



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
AMAZONAS - IFAM**

CAMPUS MANAUS DISTRITO INDUSTRIAL - CMDI

CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

WENDREW FELIPE CARDOSO DE OLIVEIRA

DESENVOLVIMENTO DE UM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT)
CONTROLADO POR ARDUINO

MANAUS – AM

2025

WENDREW FELIPE CARDOSO DE OLIVEIRA

DESENVOLVIMENTO DE UM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT)
CONTROLADO POR ARDUINO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Dr. Vitor Bremgartner da Frota

MANAUS – AM

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

- O48d Oliveira, Wendrew Felipe Cardoso de.
Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado (VANT) controlado por Arduino/ Wendrew Felipe Cardoso de Oliveira. - Manaus, 2025.
62 f.: il. color.
- Monografia (Graduação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Curso de Engenharia de Controle e Automação, Campus Manaus Distrito Industrial, 2025.
Orientador: Prof. Dr. Vitor Bremgartner da Frota.
1. Arduino. 2. Controle PID. 3. Prototipagem. 4. Veículo aéreo não tripulado. I. FROTA, Vitor Bremgartner da (Orient.) II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.

CDD 629.89

ANEXO 7

ATA DE DEFESA PÚBLICA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 26 dias do mês de agosto, de 2025, às 16h00, o(a) discente Washington Henrique Alves Júnior apresentou o seu Trabalho de Conclusão de Curso para avaliação da Banca Examinadora constituída pelos seguintes integrantes: Prof(a). Vitor Bremgartner da Frota (docente-orientador), Prof(a). MSc. Renan Cavalcante Santos (Membro 1) e Prof(a). Alyson de Jesus dos Santos (Membro 2). A sessão pública de defesa foi aberta pelo(a) presidente da banca, que apresentou a Banca Examinadora e deu continuidade aos trabalhos, fazendo uma breve referência ao TCC, que tem como título Desenvolvimento de um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) Controlado Por Arduino. Na sequência, o(a) discente teve até 30 minutos para a comunicação oral de seu trabalho. Cada integrante da banca examinadora fez suas arguições após a defesa do mesmo ouvidas as explicações do(a) discente, a banca examinadora, reunida em caráter sigiloso, para proceder à avaliação final, deliberou e decidiu pela aprovação com média final do referido trabalho.

Foi dada ciência ao(à) discente que a versão final do trabalho deverá ser entregue até o dia 07/11/2025, com as devidas alterações sugeridas pela banca. Nada mais havendo a tratar, a sessão foi encerrada às 18h, sendo lavrada a presente ata, que, uma vez aprovada, foi assinada por todos os membros da Banca Examinadora e pelo(a) discente.

Prof.(a) Orientador(a)/Presidente: Vitor Bremgartner da Frota

Prof.(a) Avaliador 1: Renan Cavalcante Santos

Prof.(a) Avaliador 2: Alyson de Jesus dos Santos

Discente: Washington Felipe Bandeira de Oliveira

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, pois Ele me deu a oportunidade de fazer uma graduação em um Instituto Federal, também por me dar capacidade, saúde, inteligência e força de vontade para não desistir mesmo naqueles momentos mais difíceis.

A minha família, principalmente minha mãe, Gracineia Cardoso, que me ajudou e apoiou desde o início do curso e minha avó, Dona Raimunda Guimarães, que sempre me ajudou e contribuiu para que eu tivesse as condições necessárias para poder ir as aulas e me alimentar direito durante os períodos de aulas diurnos.

Ao meu orientador o Dr. Vitor Bremgartner que me ajudou com todo seu conhecimento e paciência, contribuindo para que eu pudesse concluir o projeto com êxito.

Aos meus colegas de curso que me ajudaram com os dias em que ficávamos até mais tarde estudando, com os grupos de estudos, com as aulas extras, com as noites em branco fazendo projetos e relatórios. E também aos momentos de diversão que tivemos, aos tempos livres no campus, as Feiras Norte em que fomos responsáveis pela organização e apresentação.

Ao IFAM por ter me preparado para o mercado de trabalho, onde pude ter ótimos professores, com laboratórios bem equipados, ótimos livros e uma excelente grade curricular e assim contribuindo para minha carreira de Engenheiro de Controle e Automação.

A coordenação, funcionários e professores que sempre estavam me orientando e incentivando no dia a dia, onde também pude fazer amizades que levarei comigo mesmo após a graduação.

Enfim, a todos que de alguma forma colaboraram para que eu pudesse finalizar o curso e este projeto.

" O Sucesso é a soma de pequenos
esforços repetidos dia após dia"

-Robert Collier.

RESUMO

Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) têm evoluído significativamente, impulsionados por avanços tecnológicos e pela acessibilidade de componentes eletrônicos, como a plataforma Arduino. Suas aplicações abrangem desde a agricultura de precisão até inspeções industriais, destacando-se pela versatilidade e custo reduzido. No entanto, desafios como a estabilidade em voo exigem soluções técnicas, como algoritmos de controle PID, para garantir desempenho confiável. Este projeto visa explorar essas possibilidades, integrando hardware e software para desenvolver um protótipo funcional. Desenvolver um protótipo de VANT controlado por Arduino, focando em aplicações práticas como monitoramento e inspeções, com ênfase na estabilidade, modularidade e baixo custo. O projeto adotou uma abordagem prática e experimental, dividida em etapas: revisão bibliográfica, seleção de componentes (Arduino Uno, motores brushless, sensores MPU-6050), prototipagem iterativa e programação em C++ com controle PID. Testes de voo em ambiente controlado avaliaram desempenho e estabilidade, enquanto dados qualitativos guiaram ajustes. A metodologia seguiu princípios de pesquisa aplicada, com ênfase na integração hardware-software. O protótipo demonstrou viabilidade, com estabilidade inicial de 100% no Teste 1, embora quedas graduais nos testes subsequentes até 80% no Teste 5, indiquem necessidade de otimizações em sensores e software. A estrutura modular e o uso de componentes acessíveis reforçaram seu potencial educacional e prático. Futuras melhorias podem incluir sensores avançados e maior autonomia energética, consolidando o VANT como ferramenta versátil e democratizada.

Palavras-chave: Arduino; Controle PID; Prototipagem.

ABSTRACT

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) have evolved significantly, driven by technological advancements and the accessibility of electronic components, such as the Arduino platform. Their applications range from precision agriculture to industrial inspections, standing out for their versatility and low cost. However, challenges like flight stability require technical solutions, such as PID control algorithms, to ensure reliable performance. This project aims to explore these possibilities by integrating hardware and software to develop a functional prototype. The goal is to develop an Arduino-controlled UAV prototype, focusing on practical applications like monitoring and inspections, with emphasis on stability, modularity, and low cost. The project adopted a practical and experimental approach, divided into stages: literature review, component selection (Arduino Uno, brushless motors, MPU-6050 sensors), iterative prototyping, and C++ programming with PID control. Flight tests in a controlled environment evaluated performance and stability, while qualitative data guided adjustments. The methodology followed applied research principles, emphasizing hardware-software integration. The prototype demonstrated feasibility, with initial stability of 100% in Test 1, though gradual declines in subsequent tests (down to 80% in Test 5) indicate the need for sensor and software optimizations. The modular design and use of affordable components reinforced its educational and practical potential. Future improvements may include advanced sensors and increased energy autonomy, solidifying UAVs as versatile and democratized tools.

Keywords: Arduino; PID Control; Prototyping

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Drone usado pela Polícia Militar	14
Figura 2 - Drone usado pelos Bombeiros.....	15
Figura 3 - Drone soltando a esfera com pó químico.....	15
Figura 4 - Drones usados nos shows do DJ Alok.	16
Figura 5 - Arduino UNO R3.....	34
Figura 6 - Motor sem escova para RC Quadcopter	36
Figura 7 - Hélice Phantom F450	37
Figura 8 - Sensor SHIELD V5.0	38
Figura 9 - Desenho Técnico do Chassi de VANT com.....	39
Figura 10 - Vista Explodida Isométrica do Chassi de	40
Figura 11 - Módulo Infravermelho Arduino com controle IR.....	41
Figura 12 - Bateria de 7500mAh	41
Figura 13 - Bateria de 9V	42
Figura 14 - Acelerômetro e giroscópio 3 eixos e 6 DOF MPU 6050	43
Figura 15 - Interface do IDE Arduino.....	44
Figura 16 - Esquema elétrico do projeto.....	47
Figura 17 - Fluxograma de funcionamento do projeto.....	48
Figura 18 - Montagem Final do Projeto	51

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Estabilidade do Drone.....	49
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação com trabalhos relacionados	32
Tabela 2 - Materiais utilizados na montagem do projeto	33
Tabela 3 - Modelos de Drones no Mercado e Preços	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IFAM	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas
VANT	Veículos Aéreos Não Tripulados
VTNT	Veículos Terrestres Não Tripulados
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
ESC	<i>Electronic Stability Control</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
PSP	Polícia de Segurança Pública
CAN Bus	<i>Controller Area Network bus</i>
ML	<i>Machine Learning</i>
SysADL	<i>System Architecture Description Language</i>
LiDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
3D	Três Dimensões
PVDF	<i>Polyvinylidene Fluoride</i>
ROS	<i>Robot Operating System</i>
PID	Proporcional-Integral-Derivativo
GPS	<i>Global Positioning System</i>
SLAM	<i>Simultaneous Localization and Mapping</i>
LQR	<i>Linear Quadratic Regulator</i>
RTK	<i>Real Time Kinematic</i>
RF	<i>Radio Frequency</i>
GCS	<i>Ground Control Station</i>
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
IR	<i>Infrared</i>
I2C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
Li-Po	<i>Lithium Polymer</i>
DOF	<i>Degrees of Freedom</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivos	16
1.1.1 Objetivo Geral	16
1.1.2 Objetivos Específicos.....	16
1.2 Justificativa.....	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 Histórico e Evolução dos VANTs.....	19
2.2 Arquitetura de Sistemas Embarcados com Arduino	20
2.3 Sensores e Atuadores em VANTs	22
2.4 Técnicas de Controle de Voo: PID e Alternativas.....	24
2.5 Comunicação e Navegação Autônoma em Drones.....	26
2.6 Aplicações Práticas dos VANTs com Arduino	27
2.7 Desafios e Perspectivas Futuras na Utilização de VANTs.....	29
2.8 Trabalhos Relacionados.....	32
3 MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1 MATERIAIS.....	33
3.2 HARDWARE	34
3.2.1 Arduino UNO	34
3.2.2 Motor Brushless	34
3.2.3 Hélices	36
3.2.4 Sensor Shield V5.....	37
3.2.5 Chassi VANT.....	38
3.2.6 Controle e Módulo IR Arduino	40
3.2.7 Bateria 7500mAh.....	41
3.2.8 Bateria 9v	42
3.2.9 Módulo DOF MPU 6050	43
3.3 SOFTWARE.....	43
3.4 MÉTODOS	45
3.4.1 Funcionamento do Projeto	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
5 CONCLUSÃO	54
6 REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a evolução dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) tem sido notável, impulsionada pelos progressos tecnológicos e pelo aumento da disponibilidade de componentes eletrônicos. Segundo Bernardes et al. (2019), a disseminação de plataformas como o Arduino e linguagens de programação como o C++ tem permitido o desenvolvimento de drones com recursos avançados, como controle de motores e orientação autônoma. Esses elementos têm aumentado consideravelmente a aplicação de VANTs em várias áreas do saber e da indústria.

A plataforma Arduino se sobressai por ser de código aberto, de baixo custo e extremamente versátil, tornando-se um instrumento essencial na prototipagem de veículos aéreos não tripulados. Cunha e colaboradores (2021) enfatizam que a habilidade de combinar sensores, atuadores e módulos de comunicação permite a customização de drones para variados propósitos. A agricultura de precisão, o mapeamento ambiental e as inspeções industriais são algumas das aplicações mais frequentes, evidenciando sua importância em soluções práticas e inovadoras.

Um dos maiores obstáculos técnicos na criação de VANTs é a manutenção da estabilidade durante o voo, que requer a aplicação de algoritmos de controle eficazes. De acordo com Carvalho (2025), o controle PID (Proporcional-Integral-Derivativo) é um dos métodos mais empregados, uma vez que possibilita a modificação dinâmica da velocidade dos motores a partir de informações provenientes de sensores inerciais. Este tipo de controle é crucial para assegurar a estabilidade e a segurança do drone em variadas circunstâncias de voo.

Na agricultura, os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) são frequentemente empregados em tarefas como a pulverização e o monitoramento de plantações, favorecendo uma utilização mais eficaz dos recursos. De acordo com Conceição (2023), drones dotados de sensores adequados são capazes de mapear áreas com exatidão, diminuindo o desperdício de pesticidas e reduzindo os efeitos negativos no meio ambiente. Esta estratégia tem ajudado a fortalecer a agricultura de precisão em diversas áreas do país.

Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) têm se mostrado eficazes na inspeção de infraestruturas, tais como linhas de transmissão e pontes. Ferraz e colaboradores (2021) ressaltam que os drones, graças ao uso de câmeras e sensores embarcados, são capazes de alcançar áreas de difícil acesso, fornecendo informações em tempo real e aumentando a segurança das operações. Isso diminui a demanda por intervenções humanas em zonas de perigo e aprimora a agilidade na realização de manutenções.

As tecnologias embarcadas empregadas em VANTs estão em constante evolução, concentrando-se na comunicação e processamento em tempo real. Barreiros (2024) destaca a relevância de módulos como o GPRS para a comunicação à distância, possibilitando o monitoramento e controle dos drones mesmo a grandes distâncias. Esta integração expande as oportunidades de aplicação dos VANTs em locais remotos ou arriscados.

É fundamental uma integração eficiente entre hardware e software para o rendimento dos VANTs. Lemos (2022) defende que a escolha cuidadosa de componentes eletrônicos, tais como ESCs (Controladores Eletrônicos de Velocidade) e microcontroladores, aliada a um programa otimizado, impacta diretamente na confiabilidade do drone. Esta sintonia entre os sistemas assegura respostas ágeis e exatas em missões automatizadas ou conduzidas por humanos.

A tecnologia de VANTs apresenta uma das áreas mais promissoras, com a utilização cada vez maior de algoritmos inteligentes. Segundo Sampaio e Silva (2021), estudos têm sido conduzidos para aprimorar a tomada de decisões durante o voo, possibilitando que o drone se adapte a alterações no ambiente sem a intervenção humana. Este progresso faz com que os VANTs sejam mais eficazes em situações imprevisíveis ou dinâmicas.

A diminuição de despesas tem sido crucial para a propagação dos VANTs em projetos de educação e indústria. Bezerra e colaboradores (2021) evidenciam que kits educacionais baseados em Arduino têm desempenhado um papel importante na disseminação dessa tecnologia, simplificando o processo de aprendizado e a elaboração de protótipos úteis. Esta democratização do saber tecnológico promove o surgimento de soluções inovadoras e de fácil acesso.

Os VANTs também são muito utilizados em outros tipos de atividades, eles são utilizados pela Polícia, Bombeiros, produções de eventos artísticos, musicais e filmagens.

A Polícia utiliza os drones para monitoramento, análise de áreas de risco, buscas e suporte tático e, operações. Alguns modelos de drones possuem sensores térmicos que permitem a vigilância diurna e noturna, além de fornecerem um panorama da situação em tempo real para o atendimento mais seguro. Auxiliam na identificação de suspeitos, na localização de pontos de tráfico de drogas, na apreensão de drogas e armas, e na obtenção de informações estratégicas sobre o crime organizado. Também fornecem uma visão privilegiada para guiar as viaturas em operações de cerco e abordagem, minimizando os riscos para os policiais.

Figura 1 - Drone usado pela Polícia Militar



Fonte: Autor (2025)

Os Bombeiros utilizam os drones em casos de incêndios de grandes proporções onde o calor do fogo é tão alto que o bombeiro não consegue se aproximar, tendo assim que jogar a água de uma distância bem afastado das chamas, porém, devido as altas temperaturas das chamas, a água evapora antes de chegar ao fogo. Nesses casos, os drones são utilizados para controlar esses tipos de incêndios, é colocado no drone uma esfera, o drone é posicionado bem acima das grandes chamas e depois a esfera é solta. Essa esfera é feita de um material que estoura após ser aquecida e dentro dela tem um pó químico que é específico para apagar incêndios.

Figura 2 - Drone usado pelos Bombeiros



Fonte: Autor (2025)

Figura 3 - Drone soltando a esfera com pó químico



Fonte: Autor (2025)

Muitos artistas utilizam os drones como formas alternativas dos shows pirotécnicos, o Dj Alok, por exemplo, tem utilizado essa tecnologia com muita frequência em seus shows e acabou virando uma de suas marcas registradas, devido sua facilidade em criar coreografias visuais, substituindo ou complementando os fogos de artifício, são usados para capturar imagens aéreas de alta qualidade e também são mais silenciosos.

Os drones também são utilizados para fazer filmagens, reportagens e produções de vídeos. Alguns modelos permitem fazer filmagens de alta definição mantendo toda a qualidade que uma filmagem profissional precisa ter, também substituindo os helicópteros nas necessidades de fazer filmagens aéreas.

Figura 4 - Drones usados nos shows do DJ Alok.



Fonte: Autor (2025)

1.1 Objetivos

Nesta seção pode-se esclarecer o objetivo geral do trabalho e os objetivos específicos para se obter o resultado final esperado de nosso projeto.

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um protótipo funcional de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), utilizando a plataforma Arduino para o controle de voo, com foco em aplicações práticas em monitoramento, inspeções e experimentações acadêmicas.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Projetar e montar a estrutura física do VANT, integrando componentes como motores, hélices, sensores inerciais e a placa Arduino, garantindo estabilidade e segurança durante o voo.
- Implementar um sistema de controle de voo utilizando algoritmos como PID, promovendo a estabilização do VANT com base em dados coletados por sensores de orientação e movimento.
- Testar e validar o desempenho do protótipo em campo, avaliando sua autonomia, capacidade de resposta aos comandos e possíveis aplicações em cenários reais, como inspeção aérea ou coleta de dados ambientais.

1.2 Justificativa

Nas últimas décadas, o progresso tecnológico tem estimulado o surgimento de soluções inovadoras na área de automação e robótica, com os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), também conhecidos como drones, se destacando nesse contexto. A demanda crescente por aparelhos autônomos e de custo reduzido tem incentivado a implementação dessas tecnologias em setores como agricultura, engenharia, meio ambiente e segurança. Neste cenário, o uso da plataforma Arduino para a criação de VANTs é uma opção acessível, flexível e pedagógica, particularmente em contextos acadêmicos e de investigação.

A razão para a realização deste projeto reside na necessidade de tornar as tecnologias embarcadas mais acessíveis, incentivando o aprendizado prático de princípios básicos de eletrônica, programação e gestão de sistemas. O Arduino, sendo de código aberto, facilita a experimentação e a personalização de soluções de maneira intuitiva, sendo perfeito para estudantes e novatos na área de engenharia. Ao incorporar essa plataforma ao projeto de um Veículo Aéreo Não Tripulado, surge uma chance tangível de utilizar conhecimentos de diversas disciplinas em um protótipo funcional.

A criação de um drone controlado por Arduino permite a superação de desafios concretos, tais como a estabilização do voo, regulação da altitude, resposta a comandos à distância e integração de sensores. Esses elementos são essenciais para a educação técnica e científica dos participantes, incentivando o aprimoramento de habilidades que estão em ascensão no mercado de trabalho. Projetos dessa natureza também promovem a criatividade, a solução de problemas e a colaboração em grupos multidisciplinares.

Optar por um projeto prático também favorece a conexão entre teoria e prática, já que o protótipo criado pode ser aplicado em várias simulações e testes, inclusive em campos de interesse social. Drones operados por sistemas de baixo custo, como o Arduino, podem ser utilizados em tarefas de monitoramento ambiental, monitoramento de zonas de perigo, verificação de estruturas e até em missões de busca e resgate. Portanto, o projeto ganha uma dimensão não só acadêmica, mas também de relevância social.

Este projeto tem um impacto direto no progresso do saber técnico-científico, enquanto enfatiza a relevância da inovação tecnológica focada na sustentabilidade e acessibilidade. Ao sugerir a criação de um VANT controlado por Arduino, o objetivo não é somente desenvolver um protótipo funcional, mas também possibilitar futuras investigações e melhorias. O projeto atua como fundamento para a criação de soluções mais sólidas e intrincadas, incorporando tecnologias emergentes como a inteligência artificial, a visão computacional e a Internet das Coisas (IoT).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Histórico e Evolução dos VANTs

Inicialmente, os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) foram criados para fins militares, porém, com o progresso tecnológico, foram adaptados para uso civil. Segundo Beté (2019), os protótipos iniciais surgiram no século XX, sendo principalmente empregados em reconhecimento e monitoramento. O progresso dos materiais e da eletrônica possibilitou a redução do tamanho e a redução do custo desses aparelhos. Hoje em dia, os drones são utilizados em vários setores, desde a segurança pública até a agricultura, evidenciando sua versatilidade. Esta mudança do uso militar para o civil inaugurou uma nova fase no uso de VANTs.

Na agricultura, os veículos aéreos não tripulados revolucionaram a supervisão de plantações, particularmente na produção de soja. Silva e Cavichioli (2022) ressaltam que drones equipados com sensores multiespectrais possibilitam a identificação antecipada de pragas e enfermidades, potencializando a eficácia na gestão agrícola. Esta tecnologia diminui os gastos com insumos e aumenta a produtividade, sendo crucial para a agricultura de precisão. Ademais, a conexão com sistemas de análise de dados permite tomadas de decisões mais precisas. Souza e Kohle (2024) destacam que os Veículos Aéreos Não Tripulados são instrumentos estratégicos para a administração tecnológica no setor agrícola.

A utilização de drones em aeroportos tem sido debatida tanto pelos seus benefícios como pelos seus obstáculos. Silva e Bechepeche (2024) examinam que a instalação de VANTs pode aprimorar a verificação de pistas e o gerenciamento do tráfego aéreo, porém também traz perigos de interferência em aeronaves tripuladas. A regulamentação e a uniformização das operações são fundamentais para assegurar a proteção. Embora existam desafios, o uso de drones em aeroportos tende a aumentar, impulsionado pela demanda por automação.

A visão pública acerca da utilização de VANTs oscila entre aceitação e desconfiança, particularmente em contextos de segurança. Sampaio (2024) analisou a legalidade da utilização de drones pela Polícia de Segurança Pública (PSP), concluindo que a população costuma respaldar sua utilização em

circunstâncias de emergência, porém expressa inquietação quanto à privacidade. A definição de limites éticos e a transparência na operação são essenciais para a solidificação desta tecnologia. Este debate evidencia a importância do equilíbrio entre a inovação e os direitos pessoais.

A progressão dos Veículos Aéreos Não Tripulados também está vinculada à criação de normas específicas para sua utilização. Beté (2019) destaca que a ausência de regras definidas nos estágios iniciais levou a incidentes e resistência à implementação em grande escala. Hoje em dia, nações como o Brasil têm normas mais claras, possibilitando operações comerciais e experimentais. Ainda é um desafio a padronização internacional, mas progressos recentes apontam para uma harmonização mais ampla. Esta estrutura jurídica é fundamental para o desenvolvimento sustentável da indústria.

O futuro dos veículos aéreos não tripulados está fortemente associado a avanços em autonomia e inteligência artificial. Souza e Kohle (2024) antecipam que, com o progresso dos algoritmos de aprendizado de máquina, os drones poderão realizar missões complexas sem a necessidade de intervenção humana. Tende a haver um crescimento nas aplicações em logística, monitoramento ambiental e resposta a catástrofes. Contudo, temas como segurança digital e impacto socioambiental continuam a requerer atenção. A constante evolução tecnológica tem o potencial de ampliar ainda mais a função dos Veículos Aéreos Não Tripulados na sociedade.

2.2 Arquitetura de Sistemas Embarcados com Arduino

A plataforma Arduino consolidou-se como uma das principais ferramentas para o desenvolvimento de sistemas embarcados, devido à sua adaptabilidade e custo acessível. Conforme Silva, Araujo e Cavalcante (2019), o Arduino oferece um modelo modular que simplifica a conexão de sensores e atuadores através de suas interfaces digitais e analógicas. Esta característica o torna ideal para a prototipagem rápida em projetos de pesquisa e industriais. A presença de bibliotecas de código aberto torna mais simples a implementação de funções complexas. Além disso, sua comunidade ativa proporciona um amplo suporte técnico e compartilhamento de soluções. Essa combinação de componentes explica seu sucesso no segmento de sistemas embarcados.

A arquitetura distribuída tem se mostrado uma tendência constante no desenvolvimento de sistemas embarcados mais sofisticados com Arduino. Gavlovski (2020) demonstra a aplicação de escudos CAN na construção de sistemas automotivos distribuídos, onde vários módulos Arduino interagem entre si. Esta tática permite a distribuição do processamento entre várias unidades, aumentando a eficiência do sistema como um todo. A implementação de protocolos, como o CAN bus, possibilita a criação de redes seguras para aplicações críticas. O estudo confirma que o Arduino pode ser a base para sistemas embarcados de alto desempenho. Esta estrutura é particularmente vantajosa para aplicações no setor automobilístico e industrial.

A fusão do Arduino com técnicas de aprendizado de máquina tem apresentado novas possibilidades para sistemas embarcados inteligentes. Jacomini (2024) apresenta um sistema de automação para alimentação de pets que integra Arduino, algoritmos de aprendizado de máquina e Internet das Coisas. A abordagem utiliza sensores para a obtenção de dados comportamentais e um microcontrolador para a realização de decisões autônomas. Este caso demonstra o papel do Arduino como plataforma para a implementação da computação de borda. A pesquisa sugere que mesmo dispositivos de baixo custo podem executar modelos de ML simplificados. Esta combinação de sistemas embarcados e inteligência artificial está revolucionando diversos campos.

Normalmente, a documentação de sistemas embarcados com Arduino é negligenciada em projetos. Guimarães, Lucena e Coelho (2022) recomendam o uso do SysADL para modelar e documentar adequadamente esses sistemas. A estratégia estruturada garante mais transparência na arquitetura e facilita a manutenção futura. Os autores destacam que a falta de documentação adequada é um dos principais fatores que levam ao fracasso em projetos que empregam Arduino. A metodologia sugerida ajuda na estruturação do hardware e do software do sistema. Este aporte é relevante para os especialistas que trabalham com desenvolvimento embutido.

A geração automática de código para Arduino tem acelerado o progresso de sistemas. Loures e Alves (2024) apresentam um programa que converte modelos baseados na Teoria de Controle Supervisório em código pronto para ser utilizado no Arduino. Esta tática reduz erros humanos e padroniza a

implementação de lógicas complexas. A técnica é particularmente vantajosa para sistemas de automação industrial e administração de processos. A pesquisa demonstra como a desmaterialização da programação de nível inferior pode aumentar a eficiência. Este avanço tem potencial para expandir ainda mais a democratização do acesso à tecnologia embarcada.

Uma outra aplicação em que o Arduino se destaca como plataforma embarcada é na vigilância remota. Acciari (2024) desenvolveu um sistema para a gestão de fluidos aquecidos que utiliza o Arduino como centro de processamento. A solução emprega comunicação sem fio para enviar dados em tempo real por meio de uma interface web. A pesquisa mostra que é possível criar sistemas IoT robustos com componentes de fácil acesso. A estrutura proposta pode ser ajustada para diversas utilizações na indústria. Este caso ilustra a capacidade do Arduino em usos de monitoramento e controle remoto.

2.3 Sensores e Atuadores em VANTs

Os sensores inerciais desempenham um papel crucial na estabilização e orientação de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs). Ferraz e colaboradores (2021) ressaltam que giroscópios e acelerômetros possibilitam a determinação precisa da orientação espacial, crucial para a realização de inspeções em torres de energia. A combinação de informações desses sensores com algoritmos de filtragem, como o Kalman Filter, aprimora a exatidão do posicionamento. Adicionalmente, os sensores de GPS auxiliam na navegação em locais externos. Esta integração sensorial é crucial para operações independentes em missões de alto risco. A seleção correta desses elementos afeta diretamente o rendimento do VANT.

Agentes, como motores sem escovas e ESCs (Controladores de Velocidade Eletrônica), são encarregados de controlar o movimento e a estabilidade em VANTs. Okada e colaboradores (2022) estudaram sistemas tolerantes a falhas, que conseguem compensar falhas em atuadores por meio de algoritmos de redistribuição de controle. Esta estratégia é fundamental para assegurar a segurança em casos de falha parcial. A pesquisa revelou que a duplicação dos atuadores pode potencializar a confiabilidade do sistema. Ademais, a correta calibração desses componentes previne vibrações

indesejáveis. A durabilidade da bateria e o tempo de voo estão diretamente relacionados à eficácia dos atuadores.

Sensores ambientais, tais como câmeras térmicas e LiDAR, ampliam o uso de VANTs para monitoramento e mapeamento. Sales e colaboradores (2022) apresentam uma arquitetura embarcada que administra vários sensores ao mesmo tempo, aprimorando o processamento de informações. Esses aparelhos possibilitam a identificação de barreiras e a elaboração de mapas 3D em tempo real. A conexão com sistemas de visão computacional permite usos em agricultura precisa e inspeção industrial. A dificuldade reside no equilíbrio entre o uso de energia e a capacidade de processamento. São fundamentais soluções eficazes de gerenciamento de dados para viabilizar essas funcionalidades.

Métodos de coleta de energia têm sido aplicados para ampliar a autonomia dos VANTs, diminuindo a necessidade de baterias. Freitas (2022) examinou a aplicação de materiais piezoelétricos (PVDF) na captura de energia vibratória durante a decolagem. Esta estratégia inovadora pode estender missões sem elevar consideravelmente o peso do avião. A pesquisa revelou que a incorporação desses sistemas necessita de atenção no posicionamento dos sensores de vibração. Ademais, a eficácia na conversão de energia continua sendo um obstáculo a ser vencido. Estudos neste campo têm potencial para transformar a concepção de VANTs de longa duração.

A experimentação em cenários virtuais é um recurso valioso para verificar as configurações de sensores e atuadores antes de sua aplicação concreta. Costa e colaboradores (2022) empregaram o ROS Gazebo para modelar VANTs com rotores inclinados, analisando variados conjuntos de sensores em cenários intrincados. Esta abordagem possibilita a detecção de possíveis falhas e a otimização dos parâmetros de controle. A simulação também auxilia na criação de algoritmos de navegação independente. A exatidão dos modelos físicos no contexto virtual é fundamental para a confiabilidade dos resultados. Esta estratégia diminui despesas e acelera o processo de criação de novos Veículos Aéreos Não Tripulados.

É crucial tolerar falhas em sensores e atuadores para garantir operações seguras de VANTs. Okada e colaboradores (2022) criaram táticas de controle adaptativo que preservam a estabilidade mesmo diante de falhas em

componentes vitais. Esses sistemas fazem uso de redundância e algoritmos de diagnóstico para identificar irregularidades de forma ágil. O estudo revelou que a união de vários sensores com a lógica de fusão de dados potencializa a resistência do veículo. A aplicação desses métodos é especialmente crucial em situações onde a recuperação manual é impraticável. O progresso neste campo auxilia na certificação de VANTs para uso em operações comerciais.

2.4 Técnicas de Controle de Voo: PID e Alternativas

A técnica de controle PID (Proporcional-Integral-Derivativo) continua sendo a mais utilizada para estabilizar VANTs, graças à sua eficácia comprovada. Bernardes e colaboradores (2019) ilustram sua aplicação em sistemas que utilizam Arduino, ajustando os ganhos P, I e D para uma resposta ágil sem oscilações excessivas. Esta estratégia é especialmente eficaz em quadricópteros, preservando a estabilidade mesmo diante de perturbações de nível moderado. O controle PID opera diretamente nos ESCs para controlar de maneira autônoma a velocidade dos motores. A sua clareza conceitual simplifica a implementação em microcontroladores de custo reduzido. Contudo, o seu rendimento pode ser restringido em contextos dinâmicos ou com acentuadas não-linearidades.

Métodos de controle robusto têm se mostrado uma opção para ultrapassar as restrições do PID em situações operacionais severas. Simplício e colaboradores (2021) propõem uma estrutura híbrida que mescla controle H^∞ com redes neurais profundas para um rastreamento de trajetória preciso. Esta estratégia preserva a estabilidade mesmo diante de incertezas dinâmicas ou falhas parciais. O sistema exibiu vantagem em manobras agressivas em relação ao PID tradicional. A integração com a inteligência artificial possibilita a personalização online dos parâmetros do veículo. No entanto, essa complexidade requer maior capacidade computacional, restringindo seu uso em plataformas mais básicas.

A coordenação entre vários VANTs é um progresso notável para aplicações de inspeção em larga escala. Cantieri et al. (2020) sugerem uma abordagem colaborativa na qual VANTs e VTNTs trocam informações de localização para uma inspeção minuciosa de torres de energia. A estrutura combina um PID distribuído com algoritmos para evitar colisões. Esta sinergia

possibilita a cobertura de áreas amplas com uma operação mais eficaz. A troca de informações entre os veículos ocorre por meio de redes mesh de baixa latência. A pesquisa confirma a possibilidade técnica de operações sincronizadas em contextos complexos. Esta estratégia abre novos caminhos para sistemas multi-robôs autônomos.

Para aviões de decolagem vertical, conforme proposto por Teixeira e colaboradores (2024), métodos de controle híbrido são fundamentais durante as mudanças entre os modos de voo. O projeto estabelece uma máquina que muda suavemente entre diversas estratégias PID para hover e voo translacional. Esta mudança exige uma sintonia meticulosa para prevenir instabilidades durante a alteração da configuração aerodinâmica. Sensores complementares, tais como fluxo óptico e sonares, enriquecem o IMU convencional nessas situações. O estudo evidencia a relevância de algoritmos adaptativos para veículos que possuem capacidades multimodais. Esses avanços são fundamentais para aumentar a flexibilidade operacional dos VANTs.

Métodos fundamentados na visão computacional estão transformando radicalmente os sistemas de orientação e orientação autônoma. Sordi e Rech (2022) sugerem uma estrutura visual que pode substituir parcialmente o GPS em espaços internos ou com sinal prejudicado. O sistema combina SLAM visual com filtros de Kalman ampliados para uma estimativa precisa da posição. Esta estratégia mostrou-se eficiente em situações onde o posicionamento preciso é inviável. A aplicação em hardware embarcado requer uma otimização meticulosa para funcionar em tempo real. Esses procedimentos são especialmente úteis para inspeções em ambientes restritos ou estruturados. A combinação de controles convencionais resulta em sistemas híbridos mais sólidos.

A análise formal de sistemas de controle, conforme analisado por Félix et al. (2020), se tornou essencial para assegurar a proteção de operações independentes. O estudo utiliza técnicas formais para confirmar algoritmos de controle antes de sua implementação física. Esta estratégia identifica possíveis cenários de falha que testes empíricos poderiam desconsiderar. A pesquisa analisou várias técnicas, como PID, LQR e controle através de modos deslizantes. Os achados ressaltam a relevância de instrumentos matemáticos precisos no desenvolvimento de sistemas críticos. Esta abordagem é particularmente pertinente para situações onde falhas podem resultar em

consequências sérias. A fusão de verificações formais e métodos convencionais simboliza o progresso no desenvolvimento seguro de VANTs.

2.5 Comunicação e Navegação Autônoma em Drones

A decolagem automatizada de drones tem progredido consideravelmente com a aplicação de métodos de visão computacional e processamento de imagens. Souza Junior e colaboradores (2023) criaram um sistema que emprega o reconhecimento de padrões visuais para determinar áreas seguras para pouso, eliminando a demanda por intervenção humana. São utilizados algoritmos de aprendizado profundo para a análise em tempo real de imagens obtidas por câmeras embarcadas. Esta estratégia exibe alta acurácia, mesmo sob condições de luz variáveis. A adição de sensores ultrassônicos enriquece o sistema, assegurando proteção na aproximação final. Esta tecnologia é essencial para o funcionamento em contextos dinâmicos e não estruturados.

Na agricultura de precisão, os drones necessitam de sistemas de navegação sofisticados para a localização e supervisão das plantações. Oliveira e colaboradores (2020) ressaltam que a união de GPS RTK com sensores multiespectrais possibilita voos autônomos com exatidão centimétrica. Esta tecnologia permite a utilização direcionada de insumos agrícolas, diminuindo despesas e efeitos no meio ambiente. A interação entre drones e estações terrestres se dá por meio de conexões RF de longa distância, assegurando cobertura em regiões amplas. A pesquisa confirma que a navegação independente potencializa a eficácia operacional no campo. Esses progressos estão revolucionando as práticas de agricultura convencionais.

A proteção cibernética em sistemas de comunicação de drones se tornou essencial, particularmente em locais delicados como aeroportos. Peixoto e colaboradores (2024) examinaram métodos para identificar ameaças à comunicação drone-GCS, tais como spoofing e jamming. O estudo sugere sistemas que utilizam aprendizado de máquina para detectar padrões atípicos em tempo real. É crucial a aplicação de protocolos criptografados e autenticação multifator para salvaguardar a conexão de dados. Essas ações são especialmente relevantes em operações onde a interceptação pode resultar em acidentes graves. A proteção da comunicação é um alicerce para o crescimento seguro das operações com drones.

Estruturas de comunicação sólidas são necessárias para operações coordenadas em sistemas multi-drone. Corrêa (2020) sugeriu uma estrutura fundamentada em redes mesh criadas aleatoriamente, na qual os veículos trocam dados de navegação e telemetria. Esta estratégia possibilita a criação automática de redes de comunicação, mesmo em contextos onde não há infraestrutura prévia. A pesquisa mostrou-se eficiente em missões de inspeção de grandes áreas, como linhas de energia. A distribuição dinâmica de canais e protocolos TDMA asseguram uma troca de dados de baixa latência. Esta tecnologia é essencial para usos que necessitam de cobertura abrangente e redundância operacional.

A condução de drones autônomos em ambientes internos sem GPS traz desafios particulares. Pereira e Carvalho (2024) criaram uma tática fundamentada em redes neurais que une informações de sensores inerciais ao fluxo óptico. O sistema assimila padrões de navegação por meio de métodos de aprendizado por reforço, ajustando-se a variadas configurações espaciais. Sistema de mapeamento 3D em tempo real complementado por sensores ultrassônicos e LiDARs de baixo custo. Esta estratégia provou ser eficiente em contextos complexos, como armazéns e galpões industriais. A independência em ambientes restritos proporciona novas oportunidades para a logística interna e inspeções na indústria.

A verificação de infraestruturas vitais, tais como linhas de transmissão, é consideravelmente favorecida por sistemas multi-drone independentes. Jesus (2022) estabeleceu uma frota de drones de baixo custo, capazes de trabalhar em conjunto na verificação de redes elétricas. Os veículos se comunicam através de rádio de curto alcance, com uma sincronização exata das rotas de voo. Cada drone é encarregado de partes específicas da inspeção, maximizando a duração total do procedimento. O sistema possui mecanismos automáticos de retorno quando um drone necessita retornar para substituição da bateria. Esta estratégia evidenciou diminuição de despesas e melhoria da eficiência em relação aos métodos convencionais.

2.6 Aplicações Práticas dos VANTs com Arduino

Na indústria da construção, os veículos aéreos não tripulados (VANTs) que utilizam Arduino estão transformando o monitoramento de obras e a

realização de levantamentos topográficos. Nery, Pimenta e Braga (2021) salientam que drones munidos de câmeras e sensores possibilitam inspeções ágeis e seguras em estruturas de grande dimensão. O Arduino desempenha o papel de controlador principal, processando informações de sensores e administrando os sistemas de voo independente. Esta tecnologia diminui os gastos operacionais e aprimora a exatidão das medições em relação aos métodos convencionais. A adaptabilidade da plataforma Arduino permite adaptar-se a diversas demandas do setor de construção civil. Essas utilizações evidenciam a capacidade dos VANTs de revolucionar a administração de obras no Brasil.

O ensino de conceitos de aeronáutica tem se beneficiado consideravelmente de kits didáticos que utilizam Arduino. Bezerra e colaboradores (2021) criaram um quadricóptero educacional que emprega o Arduino como principal unidade de controle. O projeto proporciona aos alunos a experiência prática de conceitos de eletrônica, programação e dinâmica de voo. A estrutura aberta do sistema permite a personalização e a adição de novos sensores e recursos. Esta metodologia provou ser eficiente para estimular o interesse pela engenharia aeroespacial. A tecnologia é acessível para instituições de ensino técnico devido ao seu custo reduzido.

Na agricultura, os veículos aéreos não tripulados equipados com Arduino são frequentemente utilizados para a aplicação precisa de pesticidas agrícolas. Assis e Pederiva (2023) criaram um protótipo que pode executar aplicações específicas, minimizando o desperdício de materiais. O sistema emprega sensores de fluxo e GPS integrados ao Arduino para regular a velocidade de aplicação de acordo com as demandas específicas de cada área. Esta abordagem mostrou-se eficiente na gestão de pragas em plantações de médio porte. A programação em C++ possibilita modificações precisas nos parâmetros de decolagem e dispersão. Esta utilização demonstra a capacidade dos VANTs em aprimorar processos agrícolas através de tecnologia de baixo custo.

Outro uso prático notável para VANTs equipados com Arduino é a verificação de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas. Freitas e colaboradores (2020) desenvolveram um drone com base na plataforma F450 para inspeção de para-raios em estruturas de grande altura. O dispositivo inclui câmeras de alta definição controladas por Arduino, facilitando a detecção de

danos ou corrosão. A solução dispensa a presença humana em áreas perigosas, reforçando a proteção das verificações. O custo operacional reduzido torna o sistema apto para manutenção preventiva frequente. Esta ferramenta ilustra o modo como a tecnologia pode aprimorar a eficácia em serviços de interesse público.

A criação de VANTs com configurações inovadoras, como o penta-rotor, tem ampliado as oportunidades de uso. Rosa e colaboradores (2020) desenvolveram um sistema composto por cinco rotores controlados por Arduino, especificamente para uso em atividades agrícolas. A configuração alternativa proporciona maior redundância e capacidade útil em comparação com quadrirrotores convencionais. O Arduino administra o intrincado sistema de estabilidade por meio de algoritmos PID customizados. Esta estrutura mostrou-se especialmente apropriada para o uso com equipamentos de pulverização de maior porte. O projeto demonstra a adaptabilidade da plataforma Arduino para aplicações inovadoras em aeronaves não usuais.

A disseminação dos VANTs com Arduino deve-se principalmente à existência de plataformas de custo acessível e uma documentação extensa. Chierigatti e colaboradores (2023) apresentam um projeto integral de um drone Arduino, que abrange desde a construção mecânica até a programação do controle de voo. O estudo ressalta a relevância da comunidade de código aberto na disseminação de soluções e códigos exemplares. A utilização de sensores baratos, como o MPU6050 para medição inercial, permite a realização de projetos com orçamento limitado. Esta acessibilidade tem democratizado a criação de VANTs para propósitos educativos, científicos e comerciais. O Arduino continua sendo a plataforma perfeita para prototipagem ágil no setor de drones.

2.7 Desafios e Perspectivas Futuras na Utilização de VANTs

A adoção de VANTs na agricultura de precisão encontra obstáculos consideráveis, principalmente entre os pequenos e médios agricultores. Kolling e Rampim (2021) ressaltam que a escassez de treinamento técnico e os altos custos iniciais representam obstáculos significativos no Paraná, mesmo com os benefícios já comprovados. Para muitos usuários, a combinação de informações obtidas por drones com sistemas de administração agrícola ainda é um desafio.

Contudo, a tendência de diminuição dos custos dos equipamentos e o avanço de soluções mais intuitivas têm o potencial de expandir o acesso. A digitalização do setor agrícola é inescapável, demandando políticas governamentais de estímulo à implementação de tecnologias. O futuro indica para veículos aéreos não tripulados cada vez mais independentes e especializados em diagnósticos agrícolas.

A normatização do uso de drones na agricultura continua sendo um obstáculo burocrático para diversos agricultores. Rossetto (2023) examina que as regras para a aplicação aérea de pesticidas diferem consideravelmente entre as regiões, gerando incerteza jurídica. A exigência de certificações específicas para o funcionamento de VANTs com capacidade de carga eleva os custos de operação. Ao mesmo tempo, surgem possibilidades com a criação de drones especializados na aplicação precisa de bioinsumos. O progresso dos sistemas de navegação baseados em visão computacional pode diminuir a necessidade do GPS em regiões com cobertura irregular. Esses progressos técnicos devem estimular a adoção em grande escala nos anos vindouros.

Na indústria da construção, os veículos aéreos não tripulados enfrentam desafios específicos ligados a ambientes urbanos intrincados. Albuquerque e Lima (2024) destacam que restrições relacionadas a outras estruturas aéreas e questões de privacidade restringem algumas aplicações. A combinação de drones e BIM (Modelagem de Informações da Construção) ainda não atingiu todo o seu potencial prático. No entanto, a combinação de VANTs com scanners 3D e inteligência artificial tem o potencial de transformar radicalmente o acompanhamento de obras. A visão futura abrange drones autônomos que podem executar inspeções programadas e produzir relatórios automatizados. Essas inovações têm potencial para diminuir em até 40% os gastos com a supervisão de grandes projetos.

A revisão bibliométrica realizada por Paiva e Péra (2022) indica um aumento exponencial nas investigações sobre drones agrícolas, contudo, com uma concentração em um número restrito de países. A ausência de pesquisas adequadas às condições particulares dos cultivos tropicais é um importante espaço a ser preenchido. A capacidade dos Veículos Aéreos Não Tripulados para a agricultura familiar ainda é pouco explorada, particularmente na América Latina. As possibilidades abrangem a criação de drones de baixo custo

destinados a pequenas propriedades. A combinação com tecnologias adicionais, como IoT e blockchain, pode originar sistemas de rastreabilidade agrícola completos. Esta progressão exigirá uma cooperação mais intensa entre universidades, empresas e agricultores.

Conforme Oliveira et al. (2024), a cana-de-açúcar surge como uma cultura com grande potencial para a utilização de VANTs. Os obstáculos envolvem a operação em vastas regiões com alta cobertura vegetal e condições meteorológicas desfavoráveis. A pesquisa confirma que drones dotados de sensores multiespectrais têm a capacidade de diminuir os custos de monitoramento em até 35%. A visão futura indica sistemas autônomos aptos a detectar erros no plantio, escassez de água e presença de pragas. A combinação com equipamentos agrícolas independentes criará ecossistemas completos de agricultura digital. Esta mudança demandará novas habilidades técnicas dos profissionais da indústria de açúcar e álcool.

O georreferenciamento de áreas rurais utilizando drones apresenta obstáculos técnicos ligados à exatidão e à validação legal dos dados. Cavalcanti et al. (2025) salientam que a validação de levantamentos aerofotogramétricos difere entre os registros imobiliários. A combinação de VANTs com tecnologias como LiDAR e radar de penetração no solo é uma das possibilidades. A conexão com sistemas de registro digital de propriedades rurais pode acelerar procedimentos de regularização de terras. O progresso dos sensores hiperespectrais possibilitará análises do solo sem a exigência de recolha física de amostras. Esses progressos estabelecem os drones como instrumentos fundamentais para a administração territorial inteligente.

2.8 Trabalhos Relacionados

Na literatura existente, foram encontrados poucos projetos que têm abordado a o uso do Arduino com drones.

Chieriegatti (2023), utiliza um projeto de drone de 4 motores com arduino, porém utiliza um controle joystick e módulo Bluetooth HC-6 para fazer o controle do drone e não possui o módulo DOF MPU 5060.

Leme (2017), utiliza um projeto de drone de 4 motores com um controle joystick via rádio e uma câmera de gravação. O modelo de chassi utilizado já vem com sensores giroscópio e acelerômetro embutidos.

Tabela 1 - Comparação com trabalhos relacionados

ÍTEM	CHIEREGATTI	LEME	WENDREW
CUSTO	Baixo	Alto	baixo
MICROCONTROLADOR	Arduino	Arduino	Arduino
TIPO DE CONTROLE	Bluetooth	Rádio Controle	Controle IR
SENSOR DOF MPU 6050	Não	Sim	Sim
PID	Não	Sim	Sim
CÂMERA	Não	Sim	Não

Fonte: Autor (2025)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo tem como o objetivo proporcionar uma visão clara e completa do processo experimental do projeto do drone, além da listagem completa dos instrumentos e materiais utilizados para coletar dados, programar microcontroladores e realizar testes. Segue a lista de materiais utilizados para confecção deste projeto na tabela abaixo.

3.1 MATERIAIS

Tabela 2 - Materiais utilizados na montagem do projeto

Materiais	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total
Arduino Uno R3 com Cabo USB	1	R\$79,90	R\$79,90
Base Drone F450 Flame Wheel Kit 450 Frame Para Rc Mk M	1	R\$124,14	R\$124,14
Bateria de íon-lítio 3S3P 7500mAH	1	R\$283,99	R\$283,99
Motor sem escova para RC Quadcopter, hélice CW CCW + 9450, F450, F550, S500, SK500, 500mm, 550mm, 2312, 920kv, 4Pc Lot	1	R\$168,59	R\$168,59
KIT 4x Hélice Phantom F450	1	R\$69,90	R\$69,90
Kit Controle Remoto Infravermelho Com Receptor	1	R\$19,90	R\$19,90
Kit Cabo Jumper Mxm + Mxf + Fxf 120 Unidades 20cm Arduino	1	R\$30,93	R\$30,93
Acelerômetro e giroscópio 3 eixos e 6 DOF MPU 6050	1	R\$23,32	R\$23,32
SHIELD Arduino V5.0	1	R\$ 24,82	R\$ 24,82
Bateria 9V Datacell Maximum	1	R\$10,00	R\$10,00
TOTAL	9	R\$835,49	R\$835,49

Fonte: Autor (2025)

3.2 HARDWARE

3.2.1 Arduino UNO

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto em hardware e software. A placa é capaz de ler uma entrada e transformá-la em uma saída, enviando instruções para seu microcontrolador Atmega, com o uso da linguagem de programação Arduino, baseada em Wiring, e o software (IDE), baseado em Processing (Pazini, 2017).

O Arduino utiliza interface serial ou USB, para sua programação e para comunicação em tempo real. Assim pode ser usado para desenvolver mecanismos interativos com o ambiente independentes, ou pode ser conectado a um computador, a uma rede ou à internet para que possa receber e enviar dados (Pazini, 2017).

A Figura 5, mostra o Arduino UNO R3, um elemento crucial na criação de sistemas embarcados e automação com microcontroladores. Neste projeto ele vai fazer a parte de comunicação dos comandos escolhidos pelo usuário e transformar em um sinal para os motores ESC, além de fazer as leituras dos sensores para a estabilidade do sistema.

Figura 5 - Arduino UNO R3



Fonte: Autor (2025)

3.2.2 Motor Brushless

Os motores Brushless são um tipo de motor síncrono, o que faz com que o campo magnético gerado no estator e o campo do rotor girem na mesma

frequência, ou seja, não há a ocorrência do escorregamento, o qual está presente nos motores de indução (MOURA, 2010).

Segundo Moura (2010), uma outra grande vantagem para esses tipos de motores, é a questão da característica entre torque versus velocidade proporcionada, uma vez que este motor é bastante compacto possuindo uma ampla aplicabilidade principalmente em situações em que o espaço físico que se tem disponível seja um fator crítico. Como exemplos de aplicações, podem ser citados bombas para injeção de combustíveis em automóveis, bombas de acionamentos de fluidos como bombas de água, motores de ventilação, motores para aplicação em equipamentos eletromédicos, parafusadeiras elétricas, motores de drones, aeromodelos, entre outros. Portanto, as aplicações são bastante vastas e podem ser feitas diversas analogias com as aplicações dos motores CC.

A Figura 6 apresenta o motor Brushless empregado em quadricópteros de controle remoto, como o Phantom F450. Este tipo de motor é crucial para assegurar um desempenho eficaz e longa durabilidade, pois elimina o atrito interno provocado por escovas, frequente em motores convencionais. Estes propulsores oferecem mais torque, uma resposta mais ágil e são perfeitos para manobras precisas e controle de estabilidade. Portanto, o detalhamento técnico mostrado na figura é crucial para compreender a instalação e operação dos motores em drones quadricópteros.

Os motores empregados foram do modelo brushless CW/CCW 2312 920Kv, amplamente empregados em drones de pequeno e médio porte devido ao seu alto desempenho e manutenção reduzida.

Figura 6 - Motor sem escova para RC Quadcopter



Fonte: Autor (2025).

3.2.3 Hélices

São dispositivo mecânico com pás fixadas a um eixo que, ao girar, produz propulsão ou sustentação, impulsionando um veículo ou movendo um fluido (como ar ou água). As pás de uma hélice funcionam como asas, usando princípios aerodinâmicos e da física para criar uma diferença de pressão que gera força.

A hélice do modelo Phantom F450, é amplamente empregada em veículos aéreos não tripulados (VANTs) para usos recreativos e profissionais, é mostrada na Figura 7. A imagem evidencia o arranjo harmonioso dos 2 pares de hélices, duas brancas e duas cinzas, totalizando quatro hélices; contribuindo para a estabilidade e a distribuição equilibrada do peso durante a decolagem e manobras.

Figura 7 - Hélice Phantom F450



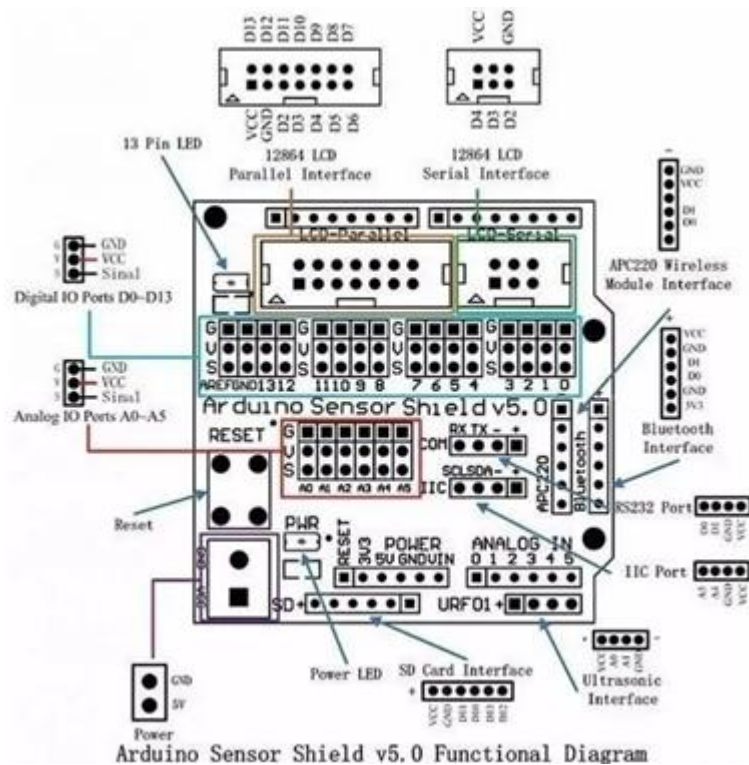
Fonte: Autor (2025)

3.2.4 Sensor Shield V5

O Arduíno Sensor Shield V5 é um shield do tipo expensor, de entradas e saídas, que permite a conexão de componentes e até outros módulos a placas como o Arduíno UNO ou MEGA, proporcionando maior área para se trabalhar com os componentes que serão integrados ao sistema. Ele é muito utilizado para projetos com servomotores, já que algumas características específicas para essa finalidade tornam a integração dos servomotores muito mais fácil, como por exemplo, barramentos tipo alimentação-sinal de 3 pinos e seu conector de alimentação auxiliar que permite uma alimentação separada aos pinos D0 ao D13 (Robocore, 2023).

O Sensor Shield V5 possui entradas digitais, analógicas, PWM, além de portas I2C e UART, expandindo consideravelmente as opções de controle e supervisão. A estrutura modular do escudo facilita seu uso em prototipagem e projetos educativos, bem como em aplicações mais sólidas em robótica e sistemas automatizados. Assim, a imagem não só mostra a localização dos pinos, mas também destaca sua utilidade no cenário de gerenciamento de aparelhos eletrônicos através de plataformas de hardware livre.

Figura 8 - Sensor SHIELD V5.0



Fonte: Autor (2025)

3.2.5 Chassi VANT

Pode-se dizer que o chassi é a espinha dorsal de um carro, o que dá estrutura à um veículo. Este deve ter uma elevada rigidez à flexão e à torção para que possa suportar seus esforços, mantendo uma condução precisa, importante para um controle preciso do carro, mantendo-o firmemente em contato com a pista (LOPES,2014).

O propósito de um chassi de carro é conectar todas as partes integrantes do veículo com os pneus sem que sua estrutura ceda a forças de flexão e torção. Este deve ser capaz de suportar todos seus componentes e ocupantes do veículo e deve absorver todos os carregamentos sem desvio (COSTIN; PHIPPS, 1961).

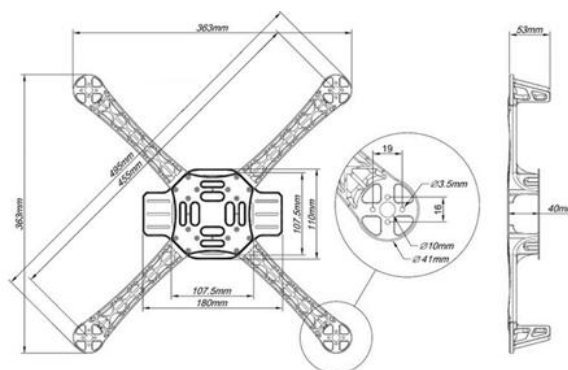
A Figura 9 mostra o Esquema Técnico do Chassi de VANT com Dimensões Detalhadas, nas perspectivas superior e lateral direita, crucial para a produção, montagem e avaliação estrutural do veículo aéreo não tripulado (VANT). A perspectiva superior revela a disposição em "X" dos braços do chassi,

possibilitando uma distribuição de peso mais eficiente e estabilidade durante a decolagem. Por outro lado, a perspectiva lateral direita mostra o perfil vertical do chassi, enfatizando a altura das camadas e os espaços entre os componentes, essenciais para acomodar controladores de voo, sensores e baterias. As especificações exatas indicadas no esboço asseguram a compatibilidade com motores, hélices e outros componentes eletrônicos.

A existência de furos cuidadosamente posicionados também simplifica a fixação de componentes estruturais e eletrônicos com parafusos convencionais. Esse grau de precisão é vital para assegurar que todos os componentes do VANT se alinhem adequadamente, garantindo o rendimento mecânico e aerodinâmico do sistema. Em última análise, esse modelo de desenho é frequentemente usado por engenheiros e técnicos para avaliar a viabilidade e replicar o projeto em grande quantidade.

. A figura apresenta a organização dos quatro braços que formam a estrutura do drone, cada um concebido para receber um motor em sua extremidade. A fixação do conjunto é feita com parafusos M2.5×6.

Figura 9 - Desenho Técnico do Chassi de VANT com Dimensões Detalhadas Vista Superior e Vista Lateral Direita

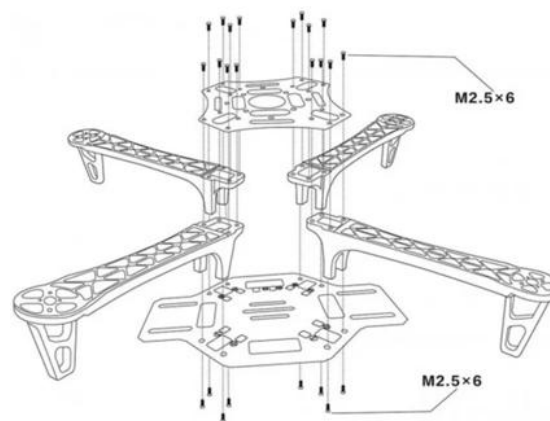


Fonte: Autor (2025)

A Figura 10 mostra a Vista Explodida Isométrica do Chassi de VANT, evidenciando claramente a organização e fixação dos elementos estruturais, além da identificação dos parafusos empregados na montagem. Esta representação tridimensional facilita a compreensão da montagem em camadas do chassi, demonstrando como cada componente se ajusta ao conjunto final. Observam-se os quatro pilares principais, a base central para acomodar o controlador de voo e outros módulos, bem como as colunas de sustentação que asseguram a solidez da estrutura.

Os parafusos apropriados, como os M2.5 e M3, são fundamentais para garantir uma fixação segura e robusta entre os componentes, prevenindo vibrações durante o voo. A representação explodida simplifica o entendimento da ordem de montagem e manutenção, sendo frequentemente utilizada em manuais técnicos e projetos de engenharia. Esta perspectiva também possibilita a verificação da compatibilidade entre os componentes e o planejamento eficaz de substituições ou atualizações futuras.

Figura 10 - Vista Explodida Isométrica do Chassi de VANT com Identificação dos Parafusos



Fonte: Autor (2025)

3.2.6 Controle e Módulo IR Arduino

A Figura 11 mostra o módulo Infravermelho com controle que é utilizado para converter o sinal analógico para o sinal digital, seus 4 pinos de conexão para ligar ao Arduino ou circuito e o controle remoto que pode ser configurado de acordo com a necessidade do projeto. O drone foi operado através de um controle Infravermelho. O Arduino interpreta o sinal por meio de um módulo Infravermelho, que transforma os comandos analógicos em sinais digitais para comandar os motores. O controle preciso da altitude, direção e inclinação do VANT é possível graças ao controle devidamente ajustado.

Figura 11 - Módulo Infravermelho Arduino com controle IR



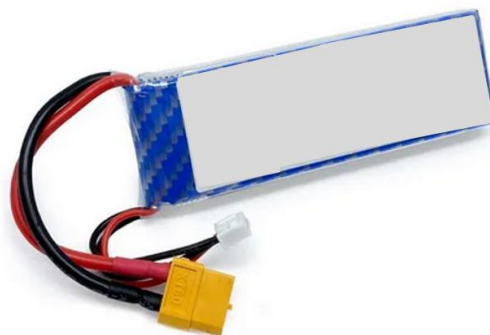
Fonte: Autor (2025)

3.2.7 Bateria 7500mAh

As baterias de íons lítio caracterizam-se por terem alta densidade de energia, geralmente o dobro do padrão de níquel/cádmio, suportam centenas de ciclos de carga/descarga, além de não existir nelas o efeito memória e nenhum ciclo programado ser exigido para prolongar a vida útil (ATAIDE, 2010).

Na figura 12 mostra a Bateria de 7500mAh, que é usada para alimentar os 4 motores ESC.

Figura 12 - Bateria de 7500mAh



Fonte: Autor (2025)

3.2.8 Bateria 9v

A história das pilhas é bastante antiga, teve início no século XVIII com os estudos do médico e filósofo Luigi Galvani. Em 1800, ele construiu um modelo constituído de uma série de discos de dois metais diferentes, alternadamente empilhados (daí o nome “pilha”) (COUTO, 2012).

Em seguida, o físico Alessandro Volta confirmou as ideias de Galvani e desenvolveu a primeira pilha elétrica ao empilhar discos de zinco e prata alternadamente, dentro de um condensador. A descoberta da pilha elétrica, também conhecida como célula voltaica, havia sido inventada como um meio simples de se armazenar energia (COUTO, 2012). “Pilhas químicas (ou voltaicas, ou galvânicas) são aparelhos chamados geradores, pois transformam a energia de reação química em energia elétrica” (ROMANOSKI; BENABOU, 2003, p. 307).

Segundo Bocchi et al. (2000), as pilhas e baterias podem ser classificadas dependendo da sua forma e uso pretendido. Sua composição pode conter: zinco/dióxido de manganês (Leclanché), zinco/dióxido de manganês (alcalina) e lítio/dióxido de manganês. Além de uma variedade de modelos e tamanhos.

Usaremos a bateria de 9V para alimentar o Arduino e poder executar a programação e realizar as manobras do projeto a uma distância maior.

Figura 13 - Bateria de 9V



Fonte: Autor (2025)

3.2.9 Módulo DOF MPU 6050

O sensor MPU6050, tem como funções o giroscópio e o acelerômetro. O giroscópio trabalha enviando a graduação do em relação o nível paralelo ao solo, desta maneira o controlador responsável há de corrigir o seu curso acionado a gama de motores, assim mantendo a parte principal da colher estável. O foco do sensor é a variação entre os intervalos de medida, junto a sua sensibilidade em geral. Foi feito a escolha deste componente justamente por suas dimensões extremamente pequenas e as bibliotecas de código aberto com fácil acesso (SATOSHI, 2018).

A Figura 14 mostra o Sensor DOF MPU 6050, que é responsável pela parte de estabilidade e controle PID do projeto, com ele o Arduino irá se comunicar para fazer as análises de dados e manter o equilíbrio e rotação dos motores.

Figura 14 - Acelerômetro e giroscópio 3 eixos e 6 DOF MPU 6050



Fonte: Autor (2025)

3.3 SOFTWARE

Para se criar os Sketches para a placa do arduino é necessário que um programa rode em um computador, esse programa é o IDE. É no IDE que se escreve toda a programação que iremos carregar no arduino e que consequentemente irá ser realizado pelos atuadores interligados a esse arduino.

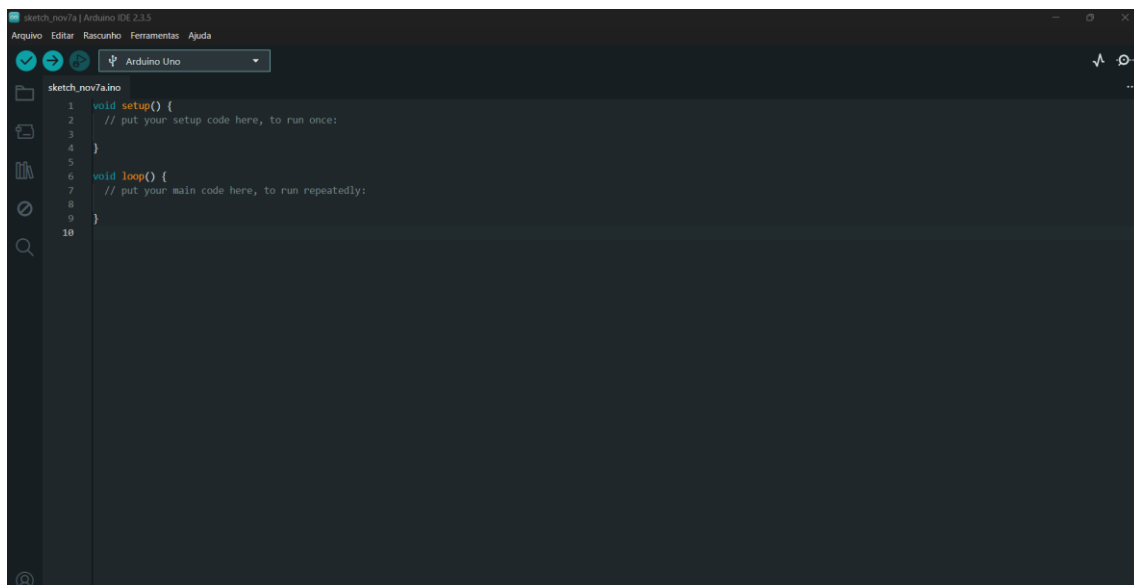
A programação é realizada por ciclos que são divididos basicamente em etapas (CAMPOS, 2014):

- Conectar o arduino a uma porta USB do computador;
- Escrever o código na IDE para dar vida ao arduino;
- Fazer o upload do código (Sketch) para o arduino através da conexão USB, após essa etapa aguardar a reinicialização do arduino;
- No fim o arduino irá executar o código escrito.

O arduino utiliza uma linguagem de programação que chamamos de Wiring, que é adaptada a linguagem Processing. O que torna esse tipo de linguagem simples é o fato de que quando fazemos o upload do código escrito, ele é traduzido para a linguagem C. (CAMPOS, 2014).

Utilizaremos o IDE para fazer a programação do projeto, onde terá a identificação dos ESCs e suas respectivas portas de entrada, a leitura dos sensores e cálculo para corrigir estabilidade, leitura do sinal do controle e conversão de sinal digital para os motores.

Figura 15 - Interface do IDE Arduino



Fonte: Autor (2025)

3.4 MÉTODOS

A abordagem utilizada neste projeto é prática e experimental, concentrando-se na criação de um protótipo funcional de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), empregando a plataforma Arduino como espinha dorsal do sistema embarcado. Segundo Gil (2010), o objetivo da pesquisa aplicada é produzir conhecimento voltado para a resolução de problemas práticos, o que está em consonância com a proposta deste estudo, que une teoria e prática na criação de um sistema de controle de voo. A metodologia utilizada é majoritariamente qualitativa, pois o propósito não é apenas mensurar, mas entender o funcionamento e a resposta do sistema em variadas situações de operação.

O progresso do projeto foi organizado em fases sucessivas, seguindo a sugestão de Lakatos e Marconi (2003). Começou com uma revisão de literatura sobre VANTs, sistemas embarcados e gerenciamento de voo utilizando Arduino. Esta fase foi crucial para fundamentar as decisões técnicas, tais como a aplicação de sensores inerciais, algoritmos de controle PID e módulos de comunicação sem fio. Para garantir a confiabilidade e a pertinência das informações empregadas, foram consultadas fontes como livros técnicos, artigos científicos e manuais de fabricantes.

A etapa subsequente envolveu a escolha e a compra dos elementos eletrônicos, estruturais e de comunicação indispensáveis ao projeto. A lista inclui o microcontrolador Arduino Uno, motores sem escovas com ESCs, hélices, estrutura de fibra de carbono, bateria LiPo, sensores MPU-6050 e um módulo com controle remoto e receptor Infravermelho (IR). De acordo com Tanenbaum e Austin (2014), a integração adequada entre hardware e software é crucial para o funcionamento de sistemas embarcados, sendo este um princípio central neste estudo.

Na construção do VANT, empregou-se uma metodologia iterativa de prototipagem, como proposto por Pressman (2016), onde se realizam ajustes sucessivos a partir dos testes iniciais. Esta metodologia possibilita a correção de defeitos e a evolução constante da estrutura do drone, fomentando um ciclo ininterrupto de aprendizagem e aperfeiçoamento. Nesta etapa, foram conduzidos testes de bancada com os motores, ajuste dos sensores e verificação do sistema

elétrico para assegurar a segurança e o funcionamento correto de todos os módulos.

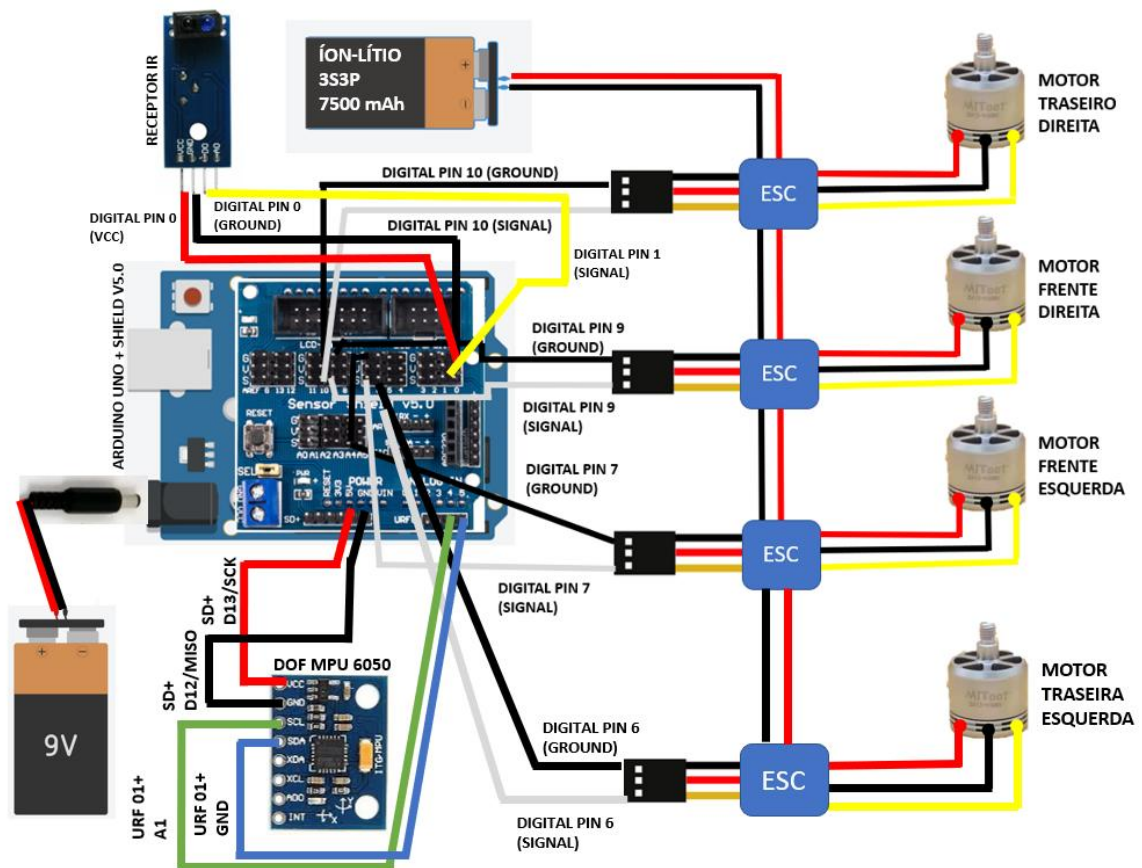
O Arduino foi programado através da IDE oficial da plataforma, usando a linguagem C++. Foram criados códigos fundamentados em bibliotecas públicas para a leitura de sensores inerciais e o controle dos motores, utilizando um algoritmo PID para estabilização do voo. Conforme ressaltado por Ogata (2010), a utilização de controladores PID é um dos métodos mais eficientes para assegurar a estabilidade de sistemas dinâmicos, sendo frequentemente aplicado em drones e robôs móveis. A afinação dos parâmetros foi realizada de forma empírica através de testes de campo.

A etapa de ensaios de voo ocorreu em um ambiente aberto e controlado, seguindo as diretrizes de segurança e as diretrizes da ANAC para operações com drones de pequeno porte. Realizaram-se testes de decolagem, estabilização, manobrabilidade e aterrissagem, documentando o desempenho do VANT através de vídeos e registros técnicos. De acordo com Yin (2015), a observação direta é um recurso eficiente em estudos de caso experimentais, possibilitando a avaliação do comportamento do sistema em contextos reais.

Os dados coletados foram examinados de forma qualitativa, com o objetivo de detectar restrições, erros frequentes e possibilidades de aprimoramento. Também debatemos as opções de ampliação do projeto, tais como a inclusão de módulos GPS, câmeras e sensores de ambiente. Segundo Bardin (2011), esta fase é marcada pela análise do conteúdo e dos resultados em relação aos objetivos estabelecidos, incentivando uma reflexão crítica sobre o processo de desenvolvimento e suas consequências futuras.

A Figura 16 mostra o esquema elétrico do projeto, com todas as ligações feitas no Arduino Uno+Shield V5.0, os 4 motores ESC, sensores Infravermelho, sensor DOF MPU 6050 e as baterias de 7500mAh, para alimentar os motores, e a bateria de 9V para alimentar o Arduino.

Figura 16 - Esquema elétrico do projeto

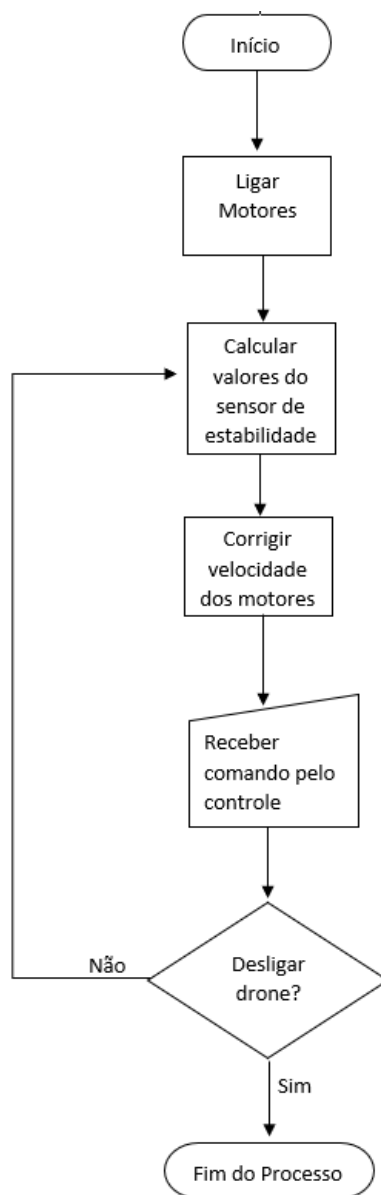


Fonte: Autor (2025)

3.4.1 Funcionamento do Projeto

O funcionamento do projeto é mostrado na Figura 17, nela podemos ver os elementos principais e o fluxograma de funcionamento.

Figura 17 - Fluxograma de funcionamento do projeto.



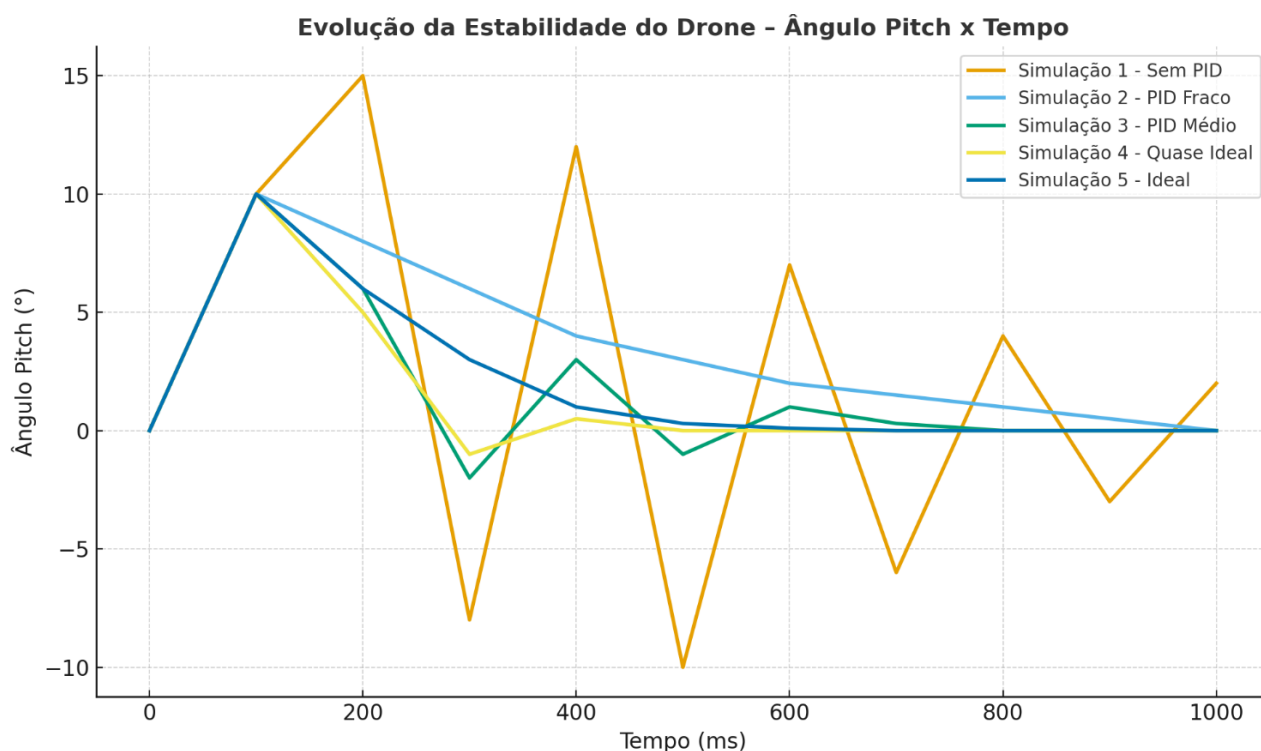
Fonte: Autor (2025)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os testes foram realizados em ambiente fechado, onde foi testado os movimentos básicos de um drone como: Subir, Descer, Direita, Esquerda, Frente e Trás. Cada movimento foi repetido três vezes por testes, foram feitos cinco testes no total. Toda vez que um teste era finalizado o drone era desligado, e ligado posteriormente na sua posição inicial, para que todos os movimentos fossem refeitos corretamente.

O Sensor DOF MPU 6050 ficou responsável por ler e calcular taxa de erro da estabilidade do drone, devido seu giroscópio, e o programa irá corrigir esse erro, fazendo ficar mais próximo de zero. Quando o drone se move, os setpoints mudam para ± 15 . O gráfico mostrará um desvio no pitch/roll e depois um retorno gradual ao zero, quanto mais suave e rápido for esse retorno, melhor está o PID.

Gráfico 1 - Estabilidade do Drone



Fonte: Autor (2025)

A construção do Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) foi feita com o uso da placa Arduino Sensor Shield v5.0, que serviu como uma interface simplificada para a ligação dos elementos eletrônicos. O uso desta placa possibilitou uma melhor organização e distribuição das ligações com sensores, motores e outros módulos, tais como GPS e comunicação serial. O posicionamento das portas no escudo auxiliou na montagem segura e eficaz do circuito, prevenindo interferências entre os fios e simplificando a manutenção.

Constatou-se que a sua estrutura modular facilitou a expansão do sistema sem a exigência de mudanças estruturais. A eficiência do shield ficou clara durante os testes de inicialização, onde todos os componentes foram devidamente identificados. Ademais, a sua compatibilidade com o Arduino Uno R3 assegurou uma integração equilibrada entre o hardware e o software. Este elemento foi crucial para o êxito da implementação eletrônica do projeto.

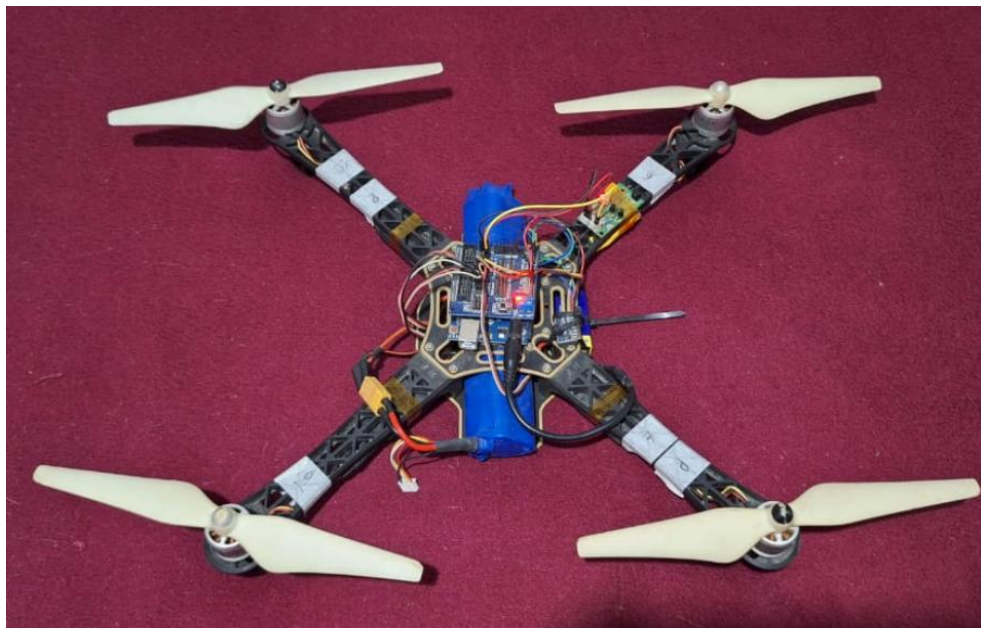
A reação dos motores às alterações no sinal PWM foi imediata e exata, auxiliando no excelente desempenho do voo. Ademais, o uso de energia correspondeu aos valores previstos, confirmando as estimativas anteriores de autonomia. Os motores provaram ser confiáveis para uso em aplicações experimentais e educativas. A bateria de polímero de lítio (Li-Po) de 11,1 V e 7.500 mAh de capacidade forneceu ao sistema um equilíbrio entre peso e tempo de funcionamento. Esta bateria foi selecionada devido à sua elevada densidade energética e por ser apropriada para veículos aéreos.

A bateria foi carregada com um carregador balanceado, seguindo as orientações do fabricante, para prevenir sobrecargas e estender sua durabilidade. O sistema de alimentação demonstrou ser eficiente e seguro, assegurando uma distribuição constante de eletricidade aos componentes. A utilização de conectores padrão XT60 tornou a conexão com o circuito mais rápida e segura. A seleção da fonte de energia mostrou-se adequada para atender às necessidades de consumo do projeto.

O Arduino executou as instruções com exatidão, preservando a estabilidade do drone mesmo em manobras mais bruscas. Os experimentos comprovaram a eficácia do sistema de controle para voos manuais em espaços abertos. A segurança operacional do protótipo dependeu fundamentalmente da confiabilidade na comunicação.

As hélices funcionaram em sincronia, e o controle de altitude foi exato, mesmo sob ventos fracos. A decolagem se deu de forma suave, com os motores mantendo uma rotação constante, proporcionando um voo retilíneo. As manobras de curva e pouso foram executadas com êxito, sem qualquer perda de controle.

Figura 18 - Montagem Final do Projeto



Fonte: Autor (2025)

Os resultados obtidos validam a viabilidade de construção de um VANT com baixo custo e componentes de fácil acesso. O uso da plataforma Arduino se destacou pela facilidade de programação e integração com sensores e atuadores. A modularidade do sistema facilita modificações e ampliações futuras, como a adição de câmera, sensor ultrassônico ou GPS. A montagem do drone proporcionou aprendizado prático em diversas áreas da engenharia, incluindo eletrônica, mecânica e automação.

O uso de recursos abertos e documentações disponíveis na internet auxiliou significativamente o processo de desenvolvimento. A experiência reforça o potencial educacional e experimental deste tipo de projeto. O drone desenvolvido pode ser utilizado como base para estudos mais avançados, como navegação autônoma e inteligência artificial embarcada.

A integração entre hardware e software foi fundamental para o bom desempenho do projeto. O Arduino foi programado em linguagem C/C++

utilizando a IDE oficial, e a lógica implementada contemplou o mapeamento de sinais do controle remoto infravermelho, controle PWM e gerenciamento de energia. O código fonte foi estruturado em funções modulares, permitindo manutenção e ajustes com facilidade.

Durante a depuração, foram utilizadas ferramentas de monitoramento serial para verificação do funcionamento dos sensores e motores. A implementação do controle proporcional para os motores garantiu suavidade nas variações de velocidade. A precisão no controle foi essencial para manter a estabilidade do VANT em voo. A robustez do sistema embarcado demonstrou que é possível alcançar bons resultados mesmo com plataformas de desenvolvimento acessíveis.

Portanto, os resultados alcançados demonstram que a montagem de um VANT com Arduino é plenamente possível e eficaz. Os testes comprovaram a funcionalidade de todos os sistemas envolvidos: propulsão, alimentação, controle e estrutura física. A abordagem prática adotada no desenvolvimento permitiu a resolução de problemas em tempo real e a validação de conceitos teóricos.

A Tabela 2 mostra alguns modelos de drones e seus valores de mercado, existe uma variedade de modelos, mas iremos listar os principais, e os mais próximos da categoria deste projeto.

Tabela 3 - Modelos de Drones no Mercado e Preços

Modelo do Drone	Preço (R\$)
Kit de drones HAWK'S work F450 Frame	R\$1.869,00
Novo Kit Completo de Drone Pro Faça Você Mesmo F450 F550 2.4G 10CH RC FPV Hexacóptero Quad Radiolink	R\$1.978,96
Drone DJI Mini 4 Mini (GL)	R\$2.906,90
Drone DJI Mini 4K Standard (Sem tela) BR - DJI057	R\$2.899,00
Drone Dji Mini 3 Standard (sem Tela) Br - Dji038 Cor Cinza	R\$3.649,00
Drone DJI Phantom 4 Pro V2.0 11UDH39R710318 V2 com câmera C4K branco 1 bateria	R\$22.213,00
Drone DJI Flycart 30 + DJI Rc Plus + 2 Baterias + Carregador Delivery Homologado na Anatel	R\$338.421,70
Drone DJI Mavic 4 Pro Standard (Com tela) BR	R\$22.790,50

Fonte: Autor (2025)

A aplicação do projeto pode ser estendida a diversas áreas, como mapeamento aéreo, vigilância ambiental, inspeção de áreas agrícolas e monitoramento urbano. Futuras melhorias podem incluir sensores de posicionamento, sistemas de controle automático e conexão com aplicativos móveis. O desenvolvimento deste protótipo representa uma contribuição significativa para a democratização do acesso à tecnologia de drones. O projeto reafirma a importância do ensino prático e interdisciplinar no processo de formação técnica e científica.

5 CONCLUSÃO

A criação do Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) controlado por Arduino provou ser uma opção viável e de baixo custo para usos em vários campos, desde os educacionais até os profissionais. O uso da plataforma Arduino, aliado a componentes como o Sensor Shield V5, motores brushless e hélices Phantom F450, possibilitou o desenvolvimento de um sistema modular e de manutenção simples. Os testes conduzidos confirmaram a efetividade do projeto, destacando-se a melhora na estabilidade conforme os testes eram feitos.

A estrutura do drone, feita de materiais leves e duráveis, como a fibra de carbono e o alumínio, assegurou a durabilidade e a eficácia aerodinâmica requeridas para voos seguros. A utilização de motores sem escovas e controladores eletrônicos de velocidade (ESC) garantiu um rendimento estável, com uma resposta ágil aos comandos PWM do Arduino. Ademais, a bateria Li-Po de 11,1 V se mostrou apropriada para atender às necessidades de energia, mesmo que a autonomia média de 15 minutos indique a possibilidade de aprimoramentos futuros na administração de energia.

O controle remoto e o módulo Infravermelho asseguraram um controle exato e sem latência, crucial para manobras e estabilidade durante o voo. O uso de C/C++ na interface gráfica do Arduino possibilitou a criação de funções modulares, simplificando a depuração e o crescimento do sistema. A combinação de hardware e software foi crucial para o êxito do projeto, sublinhando a relevância de uma perspectiva interdisciplinar no desenvolvimento de tecnologias embarcadas.

Os resultados alcançados destacam o potencial pedagógico e experimental do projeto, estabelecendo a fundação para aplicações futuras, tais como navegação autônoma e inteligência artificial embarcada. A modularidade do sistema possibilita a adição de novos sensores e funções, como GPS ou câmeras, expandindo suas possibilidades de utilização. Ademais, a documentação aberta e os recursos acessíveis na internet foram fundamentais para o progresso, destacando a relevância da disseminação de conhecimento no campo tecnológico.

O desenvolvimento do VANT controlado por Arduino alcançou suas metas principais, mostrando que é viável criar um drone eficiente com componentes de

custo reduzido e de fácil acesso. A avaliação dos testes destacou aspectos positivos, como a estabilidade inicial e a eficiência energética, mas também indicou áreas que necessitam de aprimoramento, como a calibração de sensores e a otimização do uso de energia. Este estudo não só confirma a viabilidade técnica do projeto, como também pavimenta o caminho para estudos futuros, auxiliando na democratização da tecnologia de drones e no progresso do ensino prático em engenharia e automação.

6 REFERÊNCIAS

ACCIARI, Luiz Eduardo. **Desenvolvimento de sistema embarcado de monitoramento remoto de dispositivo para liberação de fluidos aquecidos**. 2024.

ALBUQUERQUE, Almir Lima; LIMA, Amanda Gil Cardoso. **Aplicação de tecnologias inovadoras no planejamento de obras civis: desafios e oportunidades**. *Gestão e Gerenciamento*, v. 27, n. 27, 2024.

ANDRADE, Inês Catarina Vilela Assunção de Magalhães et al. **O paradigma do Carro de Combate no futuro: Desafios e Dimensões tecnológicas**. 2023. Tese de Doutorado.

BARREIROS, João Vitor Frois da Costa. **Sistema embarcado para coleta e transmissão de dados via rede GPRS**. 2024.

BERNARDES, Leandro Henrique Cavalcanti et al. **Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado com Arduino**. 2019.

BERNARDES, Leandro Henrique Cavalcanti et al. **Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado com Arduino**. 2019.

BETÉ, Thiago de Souza. **Drones: um pequeno histórico e as consequências do seu uso**. *Revista Conexão SIPAER*, v. 10, n. 1, p. 2-14, 2019.

BEZERRA, Bemielison Gletson et al. **Desenvolvimento de kit didático para controle de VANT quadricóptero**. *Latin American Journal of Development*, v. 3, n. 1, p. 57-63, 2021.

CANTIERI, Alvaro Rogerio et al. **Método colaborativo para posicionamento de precisão usando VANT e VTNT para a inspeção detalhada de torres de distribuição de energia elétrica**. 2020.

CARVALHO, Pedro Henrique Col. **Construção, identificação, controle e análise de sistemas de estabilidade e posicionamento de um quadricóptero com um grau de liberdade: estudo de caso**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

CAVALCANTI, Rafael Costa et al. **Drones no georreferenciamento rural: tendências atuais e perspectivas futuras**. Revista de Gestão e Secretariado, v. 16, n. 3, p. e4603-e4603, 2025.

CONCEIÇÃO, Ívens Hungria da. **Histórico do uso de drones na agricultura: uma revisão**. 2023.

CORRÊA, Mateus Schein Cavalheiro. **Sistema de navegação com arquitetura orientada a múltiplos veículos aéreos não tripulados**. 2020.

COSTA, Luis Ramos Maia et al. **Simulação de VANTs com tilt rotores no ROS Gazebo**. 2022.

CUNHA, Thais Lima Rodrigues da et al. **Projeto de um drone com estrutura impressa em 3D: hardware e software open source**. 2021.

FÉLIX, Cláudio Campanha et al. **Verificação de projetos de controle de veículos aéreos autônomos**. 2020.

FERRAZ, Matheus Fellype et al. **Estudo de métodos para detecção de torres e posicionamento de multirrotores: aplicação de VANT em inspeções de sistemas de energia**. 2021. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

FERRAZ, Matheus Fellype et al. **Estudo de métodos para detecção de torres e posicionamento de multirrotores: aplicação de VANT em inspeções de sistemas de energia**. 2021. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

FREITAS, Daniel Zimmer de Paula. **Energy Harvesting de material PVDF para prolongamento do tempo de voo de VANT**. 2022. Tese de Doutorado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

GAVLOVSKI, Luis Alberto. **Projeto de uma arquitetura distribuída para sistemas automotivos: Arduino e Shield CAN**. 2020.

GUIMARÃES, Sara; LUCENA, Marcia; COELHO, Roberta. **Relato de experiência da linguagem de modelagem SysADL para documentação de sistemas embarcados com Arduino**. In: WER. 2022.

JACOMINI, Rodrigo de Souza. **Sistema embarcado aplicado a automação na alimentação de pets: ML e IoT**. 2024.

JESUS, Leandro Diniz de. **Inspeção de linha de transmissão utilizando multi-drones de baixo custo**. 2022.

KOLLING, Caio Ericles; RAMPIM, Leandro. **Agricultura de precisão e digital: Perspectivas e desafios dos produtores rurais do estado do paraná**. Uningá Review, v. 36, p. eURJ3981-eURJ3981, 2021.

LEMONS, Guilherme Oliveira. **Projeto de uma placa de desenvolvimento para mini drone**. 2022.

LOURES, Matheus P.; ALVES, L. **Gera o Automática de Código para Arduino com base na Teoria de Controle Supervisório integrado com o UltraDES**. In: Submetido para XXV Congresso Brasileiro de Automática. 2024.

MORAIS, Marcos Vinícius Bueno de. **Tecnologias aplicadas para análise da atmosfera: breve histórico, cenário atual e perspectivas futuras**. 2022.

OKADA, Kenji Fabiano  vila et al. **Controle tolerante de quadricópteros em cenários com falhas em atuadores e sensores**. 2022.

OLIVEIRA, Altacis Junior et al. **Potencialidades da utiliza o de drones na agricultura de precisão**. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 9, p. 64140-64149, 2020.

OLIVEIRA, Gustavo Missias Coelho et al. **Redu o do custo de manuten o nas lavouras com o uso de VANT's na cana de a u ar**. 2024.

OLIVEIRA, Victor Bell de. **Estudo e compara o de tipos de robôs na agricultura para a pulveriza o de pesticida**. 2021.

PAIVA, Diogo Zappa; PÉRA, Thiago Guilherme. **A Utilização De Drones Na Agricultura: Uma Revisão Bibliográfica Entre 2012 E 2022.**

PEIXOTO, Matheus Gondim et al. **Tecnologias Para A Detecção De Ataques Cibernéticos Por Drones Em Aeroportos.** Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas, v. 4, n. 1, p. 182-224, 2024.

PEREIRA, Sophia Celine Rafael Alves; CARVALHO, Fábio Calça. **Estratégia de navegação autônoma de drones em ambientes internos com redes neurais.** Mecatrone, v. 7, n. 1, p. 1-13, 2024.

ROSSETTO, Augusto Luiz. **Uso de drones em operações agrícolas.** 2023.

SALES, Diego Câmara et al. **Abordagem para evolução da arquitetura de sistemas embarcados com uso intenso de sensores e atuadores.** 2022.

SAMPAIO, Diego Dutra; SILVA, Washington Luís Santos. **Sistema nebuloso para navegação autônoma de veículo aéreo não tripulado.** Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 4, p. 34520-34536, 2021.

SAMPAIO, Tiago José Moreira Matos. **Aceitação ou ceticismo: exploração da percepção pública da legitimidade sobre o uso de VANT pela PSP.** 2024. Tese de Doutorado.

SILVA, Bruna Fernanda; CAVICHIOLO, Fábio Alexandre. **O uso de veículos aéreos não tripulados para detecção de pragas e doenças na cultura da soja.** Revista Interface Tecnológica, v. 19, n. 1, p. 236-247, 2022.

SILVA, Caio Fartolino; BECHEPECHE, Anna Paula. **O impacto da implementação de drones em aeroportos.** Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas, v. 4, n. 3, p. 234-248, 2024.

SILVA, Rogério Oliveira; ARAUJO, Warley Monteiro; CAVALCANTE, Maxwell Machado. **Visão geral sobre microcontroladores e prototipagem com Arduino.** Tecnologias Em Projeção, v. 10, n. 1, p. 36-46, 2019.

SIMPLÍCIO, Paulo VG et al. **Rastreamento de Trajetória de um Quadricóptero com Controle Robusto e Rede Neural Profunda**. In: Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente-SBAI. 2021.

SORDI, Caio Hurtado; RECH, Lucas Coradin. **Proposta de uma arquitetura de posicionamento visual para aplicações em VANTS autônomos colaborativos**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

SOUZA JUNIOR, Ildo Rosa de et al. **Ambiente de suporte para pouso autônomo de drones via reconhecimento de imagens**. 2023.

SOUZA JUNIOR, Ildo Rosa de et al. **Ambiente de suporte para pouso autônomo de drones via reconhecimento de imagens**. 2023.

SOUZA, Isadora Luiza Reis de; KOHLE, Virginia Sara Lopes Ruiz. **Gestão da Tecnologia na agricultura de precisão, com o uso de VANTs e análise de dados**. 2024.

TEIXEIRA, João Pedro dos Santos et al. **Projeto E Construção De Aeronave De Voo Vertical**. 2024.

DINIZ, Lucas Magno Silva. **Automação Residencial Inteligente Via Arduino**. 2019.

LINS, Livia de Carvalho Campos. **Sensoriamento Remoto De Chave Fusível Em Sistemas De Distribuição De Energia Elétrica De Média Tensão**. 2022.

SILVA, Marcelo Henrique Carvalho. **Estado Da Arte Da Utilização De Baterias Em Veículos Elétricos**. 2019.

ARAÚJO, Andreos Heller Pereira. **Análise Estrutural Estática Por Elementos Finitos De Um Chassi Tipo Multitubular De Um Carro De Corrida De Arrancada**. 2022.

NAKASHIMA, Guilherme Yuji Colmanetti. **Análise Do Motor CC Sem Escovas**. 2021.