

NAVEGAÇÃO E CONTROLE DE UAV QUADRICÓPTERO EM SIMULAÇÃO: INTEGRAÇÃO DO PX4 COM ROS2 PARA REALIZAÇÃO DE TRAJETÓRIAS

Kelvin Kefren Carvalho Feitosa Nunes¹; Bruno Schettini Soares Pereira²

¹ Mestrando em Engenharia Elétrica; Bolsista de PDI nível 3 do Centro de Competência em Robótica e Sistemas Autônomos; SENAI CIMATEC Salvador/BA, kelvin.nunes@fbter.org.br

² Mestre em Engenharia Elétrica; Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador - BA; bruno.pereira@fieb.org.br

RESUMO

Este estudo explora o avanço no controle e navegação de quadricópteros usando simulações SITL com ROS2 e PX4, destacando a integração dessas tecnologias para criar sistemas de navegação avançados. Usando o RVIZ para analisar trajetórias pré-definidas com as percorridas pelo drone, o projeto identifica a eficácia dos comandos de setpoint e a precisão do seguimento das rotas. Os resultados demonstram a capacidade de controlar com precisão trajetórias de voo mostrando o potencial dos UAVs em diversas aplicações e estabelece uma fundação para futuras pesquisas em robótica aérea.

PALAVRAS-CHAVE: ROS2, PX4, Simulação SITL, Quadricóptero.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (UAVs), especialmente quadricópteros, cresce exponencialmente em uma variedade de aplicações, desde inspeção e agricultura de precisão até o monitoramento ambiental e as operações de busca e resgate, conforme Idrissi (2022) cita. Elmokadem e Savkin (2021) discutem a ampla aplicabilidade dos UAVs reforçando a relevância de desenvolvimentos na navegação autônoma segura e na expansão de suas capacidades operacionais. Bonazza (2023) contribui para essa discussão com uma pesquisa que integra MATLAB/Simulink, ROS2 e PX4, demonstrando o potencial do controle adaptativo não linear preditivo em quadricópteros e evidenciando a importância da plataforma PX4. Montemurro (2021) destaca essa plataforma por sua modularidade e código aberto, permitindo o desenvolvimento de algoritmos complexos de controle de voo.

Este estudo explora o desempenho de um UAV quadricóptero em simulações de voo, com ênfase no seguimento de trajetórias. Utilizando o firmware PX4 para o controle de voo e o ROS2 como middleware para a comunicação e execução de comandos, investiga-se a eficácia dos comandos aplicados no UAV para percorrer tipos de trajetórias pré-definidas, como círculos e quadrados. A simulação de voo oferece um ambiente seguro e controlado para testar e refinar algoritmos de controle e navegação antes da implementação em cenários reais, onde falhas podem ter consequências severas.

Analisa-se a precisão das trajetórias seguidas pelo drone por meio de simulações que testam a resposta do sistema de controle a diferentes padrões de movimento, incluindo percursos lineares, curvas e oscilações sinusoidais. Também é possível visualizar e avaliar as trajetórias utilizando o RVIZ, uma ferramenta poderosa de visualização em robótica, fornecendo insights em tempo real sobre a performance e precisão do drone.

Este Resumo expandido detalha a metodologia empregada para criar as trajetórias, a configuração do ambiente de simulação, a integração do firmware PX4 com o ROS2, e as técnicas utilizadas para o envio e monitoramento dos comandos de setpoint. Além disso, discute os resultados obtidos e as implicações para o desenvolvimento de sistemas de controle mais robustos e precisos para UAVs quadricópteros em aplicações futuras.

2. METODOLOGIA

Este estudo centra-se em avaliar o desempenho de trajetórias em simulações de Software in the Loop (SITL) com uso do firmware PX4 e do novo gazebo. Dessa forma o PX4 opera em paralelo com as simulações do Gazebo, replicando o mesmo software que seria executado em um hardware Pixhawk real encontrado em drones. Essa abordagem proporciona uma representação realista do mundo e uma avaliação precisa do comportamento do drone em um ambiente controlado e sem risco.

Inicialmente, foi realizado um estudo abrangente para compreender os componentes necessários para a operação autônoma de drones quadricópteros, incluindo uma análise detalhada dos componentes de hardware essenciais, como controladores de voo e sensores, e a funcionalidade de dispositivos auxiliares,

tais como câmeras e LiDAR, para aplicações específicas de mapeamento e inspeção. Também foi realizado um estudo profundo dos fundamentos da cinemática e dinâmica de voo dos quadricópteros. Uma revisão de literatura sobre modelos, como o Newton-Euler, que é um modelo bastante intuitivo e de fácil compreensão, por sua clareza e aplicabilidade em cenários de voo, como citado em Pan (2023), no qual utilizando esse modelo, aborda um novo método de controle por modo deslizante adaptativo para melhorar a robustez dos drones quadricópteros frente a perturbações externas.

A pesquisa avançou na exploração e implementação de tecnologias de controle e navegação, com ênfase especial no uso do firmware PX4. Em Amadi (2018), é implementado um Controlador Preditivo de Modelo (MPC) direto no PX4 da pixhawk e em Bonazza(2023) é feita uma integração entre MATLAB/Simulink, ROS2, e PX4, mostrando a versatilidade desse projeto PX4. A integração do PX4 com o ROS2 formou a base da simulação SITL, fornecendo um ambiente robusto e flexível para o desenvolvimento e teste de algoritmos de voo. O PX4 foi selecionado por sua confiabilidade, natureza de código aberto e compatibilidade com o ROS2, além de contar com uma comunidade ativa de desenvolvedores.

Por fim, foi integrado o ROS2 com o PX4, traduzindo comandos abstratos em instruções de navegação específicas para o drone, aproveitando as capacidades de comando predefinidas do PX4. Utilizando a linguagem C++, foi implementado algoritmos que permitiram ao drone executar trajetórias programadas, como círculos e quadrados. O firmware PX4 inclui um pacote de comunicação DDS que estabelece uma conexão eficiente entre o PX4 e o ROS2, facilitando a transmissão de comandos para o drone através de tópicos e subscrições.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado desse projeto de robótica aérea, foram desenvolvidos códigos de navegação em ROS2, que integram ao SITL fornecido pelo projeto da DroneCode e PX4. Esses códigos apresentam funcionalidades específicas usadas para interagir com o drone que utiliza o PX4. Essas funcionalidades suportam operações básicas de voo, como armar, decolar, pousar e operação offboard, que possibilita o controle do drone por meio de comandos externos ao PX4, como um controle de Xbox ou um teclado.

Também foram desenvolvidos meios de monitorar as operações do drone, lendo os tópicos e republicando-se de forma a ser possível sua leitura usando o software RVIZ. Assim, foi possível visualizar dados como posição, velocidade, trajetórias em tempo real.

Como resultado desse trabalho, foram geradas trajetórias pré definidas no espaço 3D e foi possível observar o drone realizando essas trajetórias em simulação e acompanhar o caminho percorrido no RVIZ, fazendo uma análise comparativa e avaliando sua precisão. As trajetórias foram geradas e enviadas para o drone por via do ambiente ROS2 e os motores foram controlados pelo PX4.

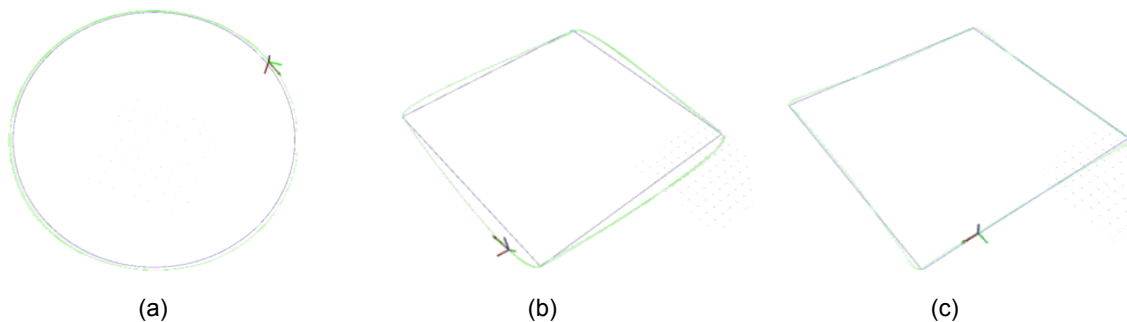


Figura 1: Trajetória percorrida pelo drone em verde e a desejada em azul, utilizando o software RVIZ. A figura (a) com trajetória circular, (b) com trajetória quadrada, e (c) uma trajetória quadrada com maior precisão.

A Figura 1 demonstra a trajetória percorrida pelo drone (em verde) sobreposta à trajetória de referência (em azul). Dados de posição que foram capturados estão na Figura 2, na qual mostra as respostas dos valores do eixo y (em azul) para cada trajetória e os valores de referência correspondentes (em vermelho).

Na Figura 1a, o drone executa uma trajetória circular, programada através de comandos que definem a posição y como $R * \sin(t)$ e a x como $R * \cos(t)$, no qual t representa o tempo incremental de simulação, com intervalos de 0,02 segundos, e R é o raio da circunferência estabelecido em 10 metros. A Figura 2a evidencia um atraso entre a resposta do drone e a referência de trajetória, no entanto, o drone ainda consegue percorrer a trajetória.

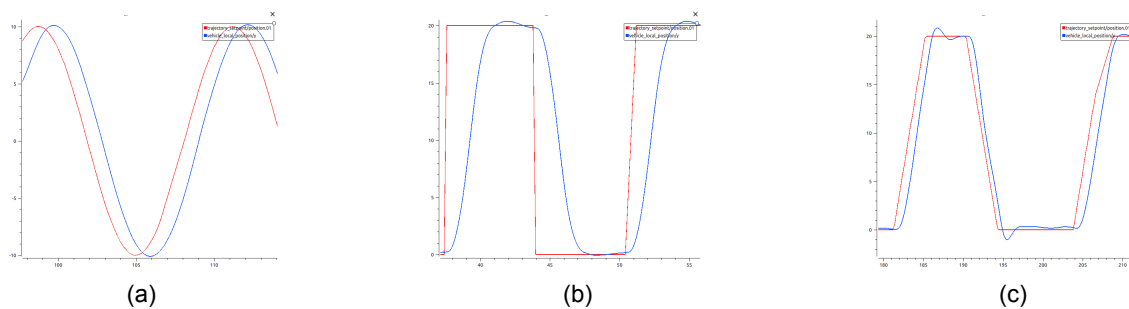


Figura 2: Resposta da variação de y com o passar do tempo em amostras em azul e o y desejado para percorrer a trajetória em vermelho. A figura (a) Resposta da trajetória circular, (b) Resposta da trajetória quadrada, e (c) Resposta da trajetória quadrada com maior precisão.

Nas Figuras *b* e *c*, o drone é instruído a seguir uma trajetória quadrada. Em *1b*, a missão do drone consiste em alcançar sequencialmente os pontos $(0,0)$, $(20,0)$, $(20,20)$, e $(0,20)$ em uma altura fixa de 5 metros, formando assim um quadrado. Contudo, é possível perceber que o drone limita-se a atingir os pontos-chave sem manter-se na trajetória linear entre eles. Na Figura *2b*, isso é percebido pela forma quadrada da referência não ser replicada na resposta do drone, resultando em uma trajetória distinta da planejada.

Para aprimorar o seguimento à trajetória desejada, foram criados 1000 pontos intermediários entre cada vértice do quadrado, com incrementos temporais de 0,02 segundos entre eles. Isso resultou em um voo que correspondeu muito mais de perto à trajetória desejada visto na Figura *1c*, e na Figura *2c* mostra gráficos mais próximos e parecidos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo demonstrou a capacidade de desenvolver sistemas de navegação avançados para UAVs, utilizando o ROS2 e o firmware PX4 em simulações SITL. Através deste trabalho, confirmou-se a viabilidade de controlar com precisão as trajetórias de voo dos quadricópteros, evidenciando a eficácia dos comandos de setpoint na direção dos UAVs ao longo de percursos complexos.

A análise de trajetórias pré-definidas, visualizadas no RVIZ, revelou informações importantes sobre a precisão do seguimento das rotas pelo drone e a importância do controlador para a realização da sua trajetória com eficiência, velocidade e precisão.

Os resultados alcançados neste projeto destacam o potencial dos UAVs para aplicações futuras em uma ampla gama de campos, desde a inspeção e monitoramento até a agricultura de precisão. A integração bem-sucedida do ROS2 com o PX4, juntamente com a simulação SITL, estabeleceu uma base sólida para futuras pesquisas e desenvolvimentos na robótica aérea.

5. REFERÊNCIAS

- ¹ BONAZZA, Marco Concetto. **Implementation of adaptive nonlinear model predictive control on a PX4-enabled quad-rotor platform.** *Master Thesis in Control System Engineering.* University of Padova, 2022/2023.
- ² MONTEMURRO, Stefano. **Quadcopter HOSM Control on PX4 Firmware Architecture.** *Master Thesis in Automation and Control Engineering.* Politecnico di Milano, 2020/2021.
- ³ PAN, JIAN et al. **Attitude Control of Quadrotor UAVs Based on Adaptive Sliding Mode.** *International Journal of Control Automation and Systems*, 21(8): 2698-2707, 2023.
- ⁴ IDRISSE, Moad; SALAMI, Mohammad; ANNAZ, Fawaz. **A Review of Quadrotor Unmanned Aerial Vehicles: Applications, Architectural Design, and Control Algorithms.** *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 2022.
- ⁵ AMADI, Chinedu Amata. **Design and Implementation of Model Predictive Control on Pixhawk Flight Controller.** *Master Thesis in Mechatronic Engineering.* Stellenbosch University, 2018.
- ⁶ ELMOKADEM, Taha; SAVKIN, Andrey V. **Towards Fully Autonomous UAVs: A Survey.** *Sensors*, 2021.