

# Projeto de um Sistema de Pouso para o Pouso de um Veículo de Decolagem e Pouso Vertical

Carlos André Persiani Filho

Prof. Dr. Eduardo Morgado Belo

Universidade de São Paulo

carlospersiani@gmail.com

## Objetivos

Este trabalho tem como objetivos o estudo, a criação, construção e os ensaios de um sistema de pouso de VANTs com decolagem e pouso vertical (VTOL). A partir de dados de um sensor de distância LiDAR, busca-se identificar, ponto a ponto, o terreno de pouso abaixo da aeronave e, partindo de algoritmos de mapeamento e tomadas de decisão, autorizar o pouso ou reposicionar a aeronave. Este trabalho fará a modelagem dinâmica de um quadricóptero, como aeronave de estudo, e um modelo de controle LQR, adicionado a um filtro de Kalman extendido, será proposto e implementado em simulações computacionais. Essa modelagem desenvolvida será usada para colocar em teste as formulações e algoritmos para o pouso da aeronave. O sensoriamento proposto teoricamente será concebido em forma de um dispositivo, contendo um sensor de distância VL5310x e uma IMU 9250. Ambos os sensores serão montados em uma carenagem projetada e elucidada em impressão 3D. Ao cabo, com o auxílio de uma Raspberry Pi 3, o dispositivo será submetido à testes experimentais e os resultados apresentados.

## Métodos e Procedimentos

Ao início deste trabalho fora realizada uma profunda revisão bibliográfica, enfatizando os tópicos de sistemas dinâmicos e de controle e em particular dinâmica de voo no contexto de VANTs. Desse modo, um quadricóptero fora modelado matemática e computacionalmente à luz das equações de Newton-Euler, adicionando a dinâmica dos motores e o posicionamento da aeronave em relação ao solo (referencial inercial). Uma lei de controle LQG/LTR fora definida, e as matrizes de covariância necessárias para o funcionamento do algoritmo foram dimensionadas. Após essa etapa, o controle do quadricóptero foi realizado

simulando os ruídos e as diferentes taxas de amostragem dos sensores empregados. Além disso, as medidas de velocidade foram observadas com um observador de estados, o próprio filtro de Kalman.

Em um segundo momento a construção de um algoritmo para o pouso de um VTOL foi feita. Para isso, a identificação do terreno abaixo da aeronave é realizada com o auxílio de um medidor de distância LiDAR e uma IMU. Com ambos os dispositivos foi possível estabelecer um algoritmo para mapear a distância vertical de cada ponto abaixo da aeronave e, com isso, identificar se o terreno é ou não próprio para o pouso. Essa decisão é baseada em três critérios: distância máxima menos distância mínima, desvio padrão dos pontos captados e ângulos do melhor plano (no sentido Gaussiano) que passa pelos pontos. O problema foi adicionado às simulações computacionais e diferentes superfícies foram simuladas, nas quais o algoritmo foi colocado à prova, e o sistema de controle responsável por pousar a aeronave.

Ao cabo, e já em regime *home-office*, o dispositivo foi concebido experimentalmente e testado de maneira a identificar diferentes superfícies de pouso.

A implementação de um quadricóptero para ensaio do sistema de controle elaborado, e posterior análise do algoritmo de pouso, era conduzida no Laboratório de Dinâmica e Controle de Voo (LADInC) da EESC-USP, mas precisou ser interrompido devido à pandemia do coronavírus.

## Resultados

A construção das equações da dinâmica do quadricóptero foram feitas e sua simulação implementada em MATLAB e, posteriormente, em Python. Após a estimativa de parâmetros de interesse, como massa da aeronave, centro de gravidade e momentos de inércia, a lei de controle LQG/LTR foi adicionada à estrutura

teórica do projeto, e integrou as simulações computacionais considerando sensores com diferentes taxas de amostragem e erros gaussianos. A resposta deste sistema controlado à aparição de um distúrbio na altitude é revelado pela figura 1,

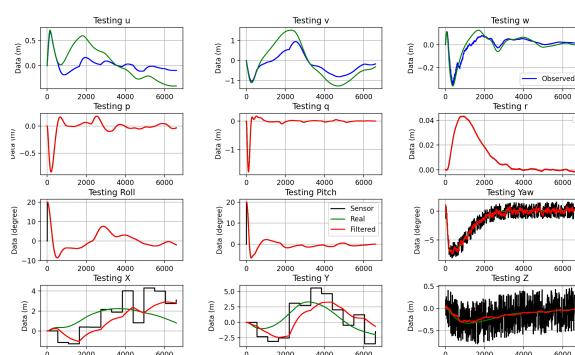


Figura 1: Resposta à Distúrbio

onde é possível observar os estados dinâmicos reais, filtrados, observados e as medições dos sensores.

Em seguida um algoritmo de posicionamento da aeronave foi cunhado de maneira à direcionar o sensor de distância à pontos no solo. A figura 2 celebra o resultado computacional deste algoritmo, e ainda ilustra uma superfície ondulada, na qual o pouso não seria autorizado. Este algoritmo é integrado ao modelo computacional desenvolvido.

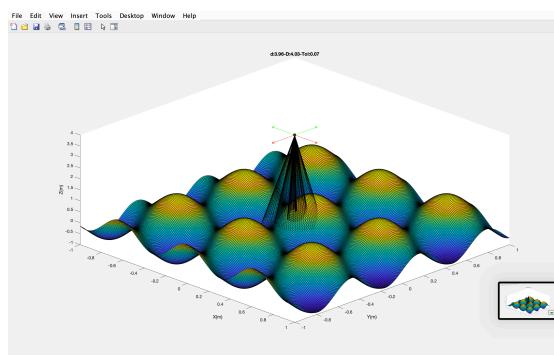


Figura 2: Algoritmo de Pouso

A partir deste ponto, o trabalho se lança no viés experimental. O projeto e a construção de um dispositivo eletrônico resultou no objeto representado na figura 3,



Figura 3: Dispositivo de Identificação

a partir do qual, uma vez implementado no drone, pode identificar a superfície de pouso e autorizar o solo.

Ao cabo uma simples prova de conceito, na qual o autor aponta o laser a partir de um ponto, formando uma cruz no solo, demonstra a efetividade do dispositivo. A superfície, neste ensaio, é o chão plano, da maneira como é ilustrado na figura 4.

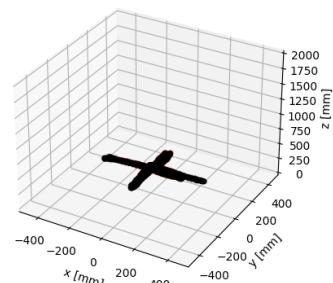


Figura 4: Superfície Identificada

## Conclusões

Este projeto de pesquisa desenvolveu um sistema de pouso para qualquer aeronave VTOL, nas esferas teóricas e experimentais. Ainda, foi possível concluir um dispositivo assistido de um algoritmo capaz de identificar a superfície de pouso e autorizar ou não o pouso.

## Agradecimentos

À FAPESP pela bolsa concedida e à USP pela infraestrutura disponibilizada.

## Referências Bibliográficas

- [1] Stevens, B.L., Lewis, F.L. and Johnson, E.N. Aircraft Control and Simulation, WILEY, 2016.
- [2] Etkins, B., Reid, L.D.. Dynamics of Flight - Stability and Control. WILEY, 1996.
- [3] Lima, G.V. Modelagem Dinâmica e Controle para a Navegação de um Veículo Aéreo Não Tripulado do tipo Quadricóptero, 2015.