

XII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA

Itapetininga, 19, 20 e 21 de maio de 2026

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Câmpus Itapetininga

ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS DINÂMICAS DE UM DRONE EM UMA BANCADA DE SIMULAÇÃO DE VOO COM UM GRAU DE LIBERDADE

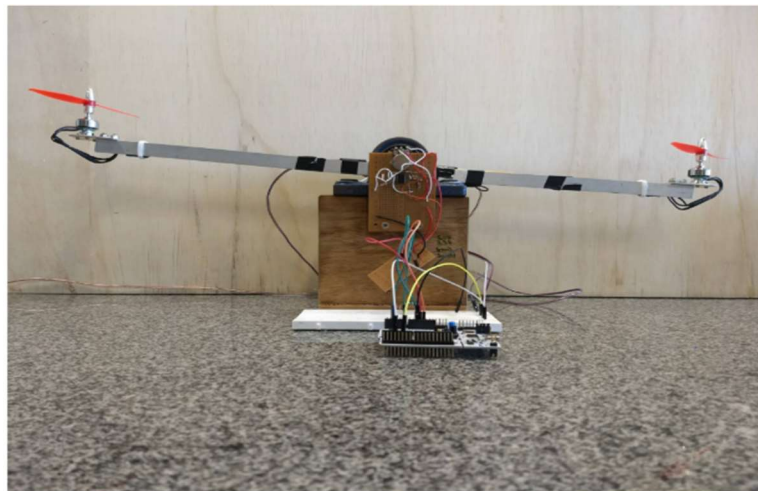
Bryan Sousa Schmitz – PACTec-UFSscar/IFSP¹

Prof. Dr. Edson Mulero Gruppioni – IFSP - Câmpus São Carlos²

Introdução

Os veículos aéreos não tripulados apresentam crescimento em aplicações como agricultura de precisão, inspeção estrutural, vigilância e operações de resgate (HAFEEZ et al., 2023; NWAOGU et al., 2023). Esse avanço exige modelos dinâmicos mais precisos e estratégias de controle capazes de garantir estabilidade frente a perturbações. A validação experimental desses modelos ainda é limitada por custos elevados, riscos operacionais e baixa repetibilidade em ensaios de voo real. Bancadas experimentais surgem como alternativa para análise controlada da dinâmica, pois permitem isolar variáveis e garantir repetibilidade. Plataformas com graus de liberdade restritos facilitam a identificação de parâmetros e validação de modelos matemáticos, conforme conceitos consolidados em simuladores de movimento e estruturas de testes mecânicos (STEWART, 1965; GOUGH, 1962). A bancada do tipo gangorra com um grau de liberdade permite analisar a resposta rotacional associada aos eixos de guinada e rolagem, oferecendo ambiente seguro e adequado para aquisição de dados experimentais (CARNEIRO, 2017; ALVES et al., 2022). A integração com sensores e microcontroladores viabiliza aquisição e processamento em tempo real.

Figura 1 – Bancada “gangorra”



Fonte: (CARNEIRO, 2017)

¹Estudante do curso de Engenharia Aeronáutica, IFSP- São Carlos/SP. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3458-8939>. Email: b.schmitz@aluno.ifsp.edu.br.

²Prof. Doutor. IFSP – São Carlos/SP. Email: egruppioni@ifsp.edu.br.

XII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA

Itapetininga, 19, 20 e 21 de maio de 2026

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Câmpus Itapetininga

Objetivo

O trabalho tem como objetivo analisar o comportamento dinâmico de um drone por meio de ensaios em bancada instrumentada com um grau de liberdade. Busca-se implementar a instrumentação da bancada, integrar sensores a um sistema embarcado, desenvolver aquisição e transmissão de dados via rede sem fio, processar os sinais e identificar parâmetros dinâmicos associados a modelos de primeira e segunda ordem. Também se pretende avaliar a resposta a entradas do tipo degrau e extrair métricas como tempo de acomodação, sobressinal e coeficiente de amortecimento.

Metodologia

A metodologia iniciou com revisão bibliográfica sobre bancadas instrumentadas e técnicas de identificação de sistemas. A bancada foi projetada como uma estrutura tipo gangorra com um grau de liberdade. A instrumentação utilizou um sensor inercial MPU-6050 para medição de aceleração e velocidade angular, e um encoder incremental de 1000 pulsos por rotação para medição de posição angular. O sistema embarcado foi implementado com microcontrolador ESP32, devido à sua capacidade de processamento, memória e conectividade Wi-Fi, permitindo aquisição em tempo real com transmissão remota. A programação foi realizada em MicroPython, com comunicação I2C para o sensor inercial e interrupções de hardware para o encoder. Os dados foram transmitidos via TCP/IP em formato JSON. No ambiente computacional, um script em Python realizou recepção, processamento e armazenamento dos dados, utilizando bibliotecas específicas para comunicação, processamento numérico e visualização. A análise considerou respostas a entradas do tipo degrau e o ajuste de um modelo de segunda ordem com atraso de transporte. A função de transferência do sistema é dada por:

(Eq. 1)

$$G(s) = (K\omega_n^2)/(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)$$

Com atraso de transporte:

(Eq. 2)

$$G(s) = (K\omega_n^2)/(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)e^{-t_0s}$$

A saída para entrada degrau unitário é:

(Eq. 3)

$$U(s) = 1/s$$

(Eq. 4)

$$Y(s) = (K\omega_n^2)/(s(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2))e^{-t_0s}$$

A identificação dos parâmetros foi realizada por mínimos quadrados não lineares. A qualidade do ajuste foi avaliada por:

XII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA

Itapetininga, 19, 20 e 21 de maio de 2026

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Câmpus Itapetininga

(Eq. 5)

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum (y_{exp} - y_{mod})^2}{\sum (y_{exp} - \bar{y}_{exp})^2} \right)$$

As métricas de desempenho foram obtidas por:

(Eq. 6)

$$OS = e^{(-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2})} * 100$$

e o tempo de acomodação foi aproximado por:

(Eq. 7)

$$T_s \approx 4/(\zeta\omega_n)$$

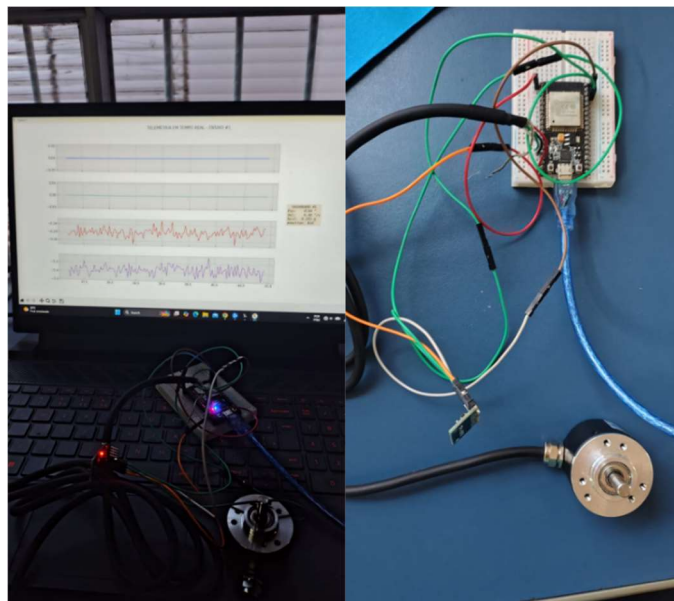
A velocidade angular foi calculada por derivada numérica:

(Eq. 8)

$$\omega(t) \approx (\theta(t) - \theta(t - \Delta t))/\Delta t$$

O coeficiente de amortecimento elevado indica comportamento superamortecido, com resposta monotônica e sem oscilação.

Figura 2: Montagem e teste do protótipo.



Fonte: Próprio autor.

XII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA

Itapetininga, 19, 20 e 21 de maio de 2026

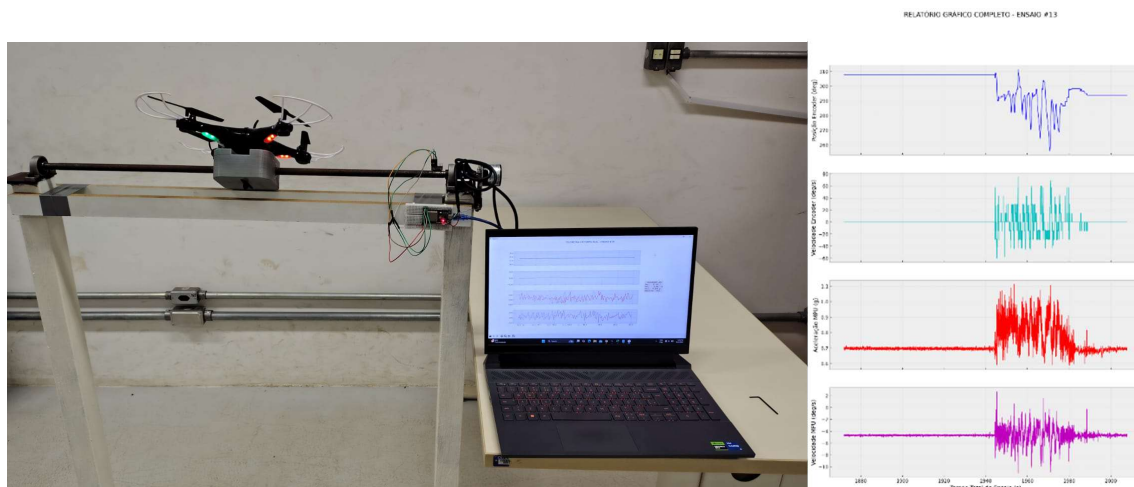
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Câmpus Itapetininga

Resultados

A bancada apresentou desempenho adequado para aquisição e análise da dinâmica. A taxa de amostragem foi de aproximadamente 50 Hz, suficiente para capturar a dinâmica de baixa frequência do sistema. A comunicação se manteve estável, sem perdas relevantes de dados. O encoder apresentou alta precisão na medição de posição angular, enquanto o sensor inercial apresentou maior nível de ruído. A resposta a entradas degrau indicou comportamento de segunda ordem superamortecido, sem sobressinal significativo. Os parâmetros obtidos foram: $K = -7,6871$, $\zeta = 3,0774$, $\omega_n = 35,4212$ rad/s e $t_0 = 1,05$ s. O tempo de acomodação estimado foi de 0,037 s. O valor de $R^2 = 0,0047$ indica baixa aderência do modelo aos dados experimentais, possivelmente devido a ruído nos sinais e limitações na modelagem. A latência introduzida pelo uso de MicroPython e comunicação Wi-Fi foi identificada, mas não comprometeu os resultados na faixa de frequência analisada.

Figura 3: Bancada montada e teste do sistema.



Fonte: Próprio autor.

Conclusão

A bancada desenvolvida mostrou-se adequada para análise da dinâmica rotacional em ambiente controlado. O sistema permitiu aquisição confiável de dados e identificação de parâmetros dinâmicos. Os resultados indicam comportamento superamortecido, com resposta rápida e sem sobressinal. O ganho negativo sugere inversão de sinal associada à configuração do sistema. O atraso identificado evidencia a presença de latências no processamento e comunicação. O baixo valor de R^2 indica limitação do modelo adotado, o que aponta necessidade de aprimoramento na modelagem e no processamento dos sinais. Como continuidade, recomenda-se a implementação de filtros, aumento do número de ensaios, uso de modelos mais adequados, migração para linguagem compilada e aplicação de técnicas de controle em tempo real, além da expansão da bancada para múltiplos graus de liberdade.

XII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFSP ITAPETININGA

Itapetininga, 19, 20 e 21 de maio de 2026

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Campus Itapetininga

Referências

CARNEIRO, B. B. Projeto de uma bancada experimental para avaliação do controle de um drone. 2017.

GOUGH, V. E.; WHITEHALL, S. Universal test tyre machine. 1962.

STEWART, D. A. A platform with six degrees of freedom. 1965. ALVES, L. T. et al. Bancada de Ensaio de Controle para Drones Utilizando Arquiteturas ARM e FPGA. 2022.

HAFEEZ, A. *et al.* Implementation of drone technology for farm monitoring pesticide spraying. 2023.

NWAOGU, J. M. *et al.* Application of drones in the architecture, engineering, and construction industry. 2023.