

## PID - Based Stabilization of a One-DOF Education Aero-Pendulum

Jéssica Pereira de Souza Xavier Evangelista, André Luis Carvalho Mendes, Alexandre Santos Brandão

Indústria, Inovação e Infraestrutura

Pesquisa

### Introdução

O uso de plataformas didáticas tem se mostrado fundamental no ensino de Engenharia de Controle, pois permite aos estudantes relacionar conceitos teóricos com aplicações práticas em sistemas dinâmicos reais. Entre esses sistemas, o aeropêndulo destaca-se como uma planta acessível e versátil para a implementação de diferentes estratégias de controle, devido à sua natureza não linear e instável. Diversos trabalhos empregam esse sistema para fins educacionais, utilizando desde controladores clássicos como PID até abordagens avançadas, como lógica fuzzy, controle robusto e redes neurais.

### Objetivos

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma plataforma didática de baixo custo baseada em um aeropêndulo de um grau de liberdade, controlado por um PID implementado em Arduino, com interface gráfica em MATLAB App Designer, possibilitando a validação prática de técnicas de modelagem, sintonia e análise de desempenho em sistemas de controle.

### Material e Métodos ou Metodologia

A plataforma experimental desenvolvida consiste em um aeropêndulo de um grau de liberdade, o sistema é composto por:

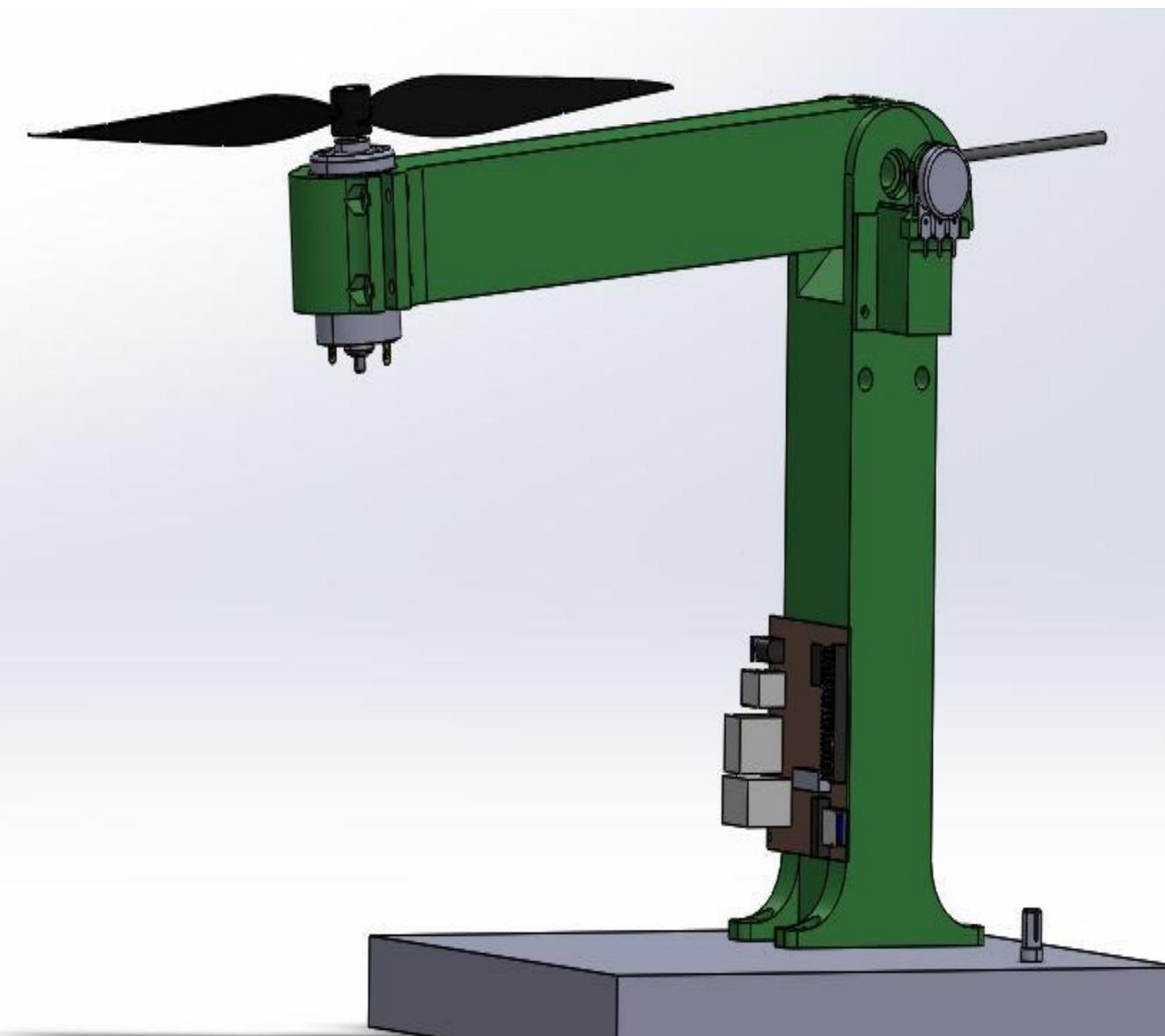
- Estrutura mecânica:** braço articulado com motor DC de 12 V em uma extremidade e contrapeso na outra, garantindo equilíbrio dinâmico. Movimento angular limitado a  $\pm 25^\circ$ . Estrutura projetada em CAD e fabricada em impressora 3D (PLA), assegurando baixo custo.
- Acionamento:** motor controlado por driver TB6612FNG, com modulação PWM e suporte a correntes de até 3 A.
- Sensoriamento e controle:** posição angular medida por potenciômetro; controlador PID implementado em Arduino Nano.
- Interface gráfica:** desenvolvida no MATLAB App Designer, permitindo visualização em tempo real das variáveis de controle.

### Apoio Financeiro

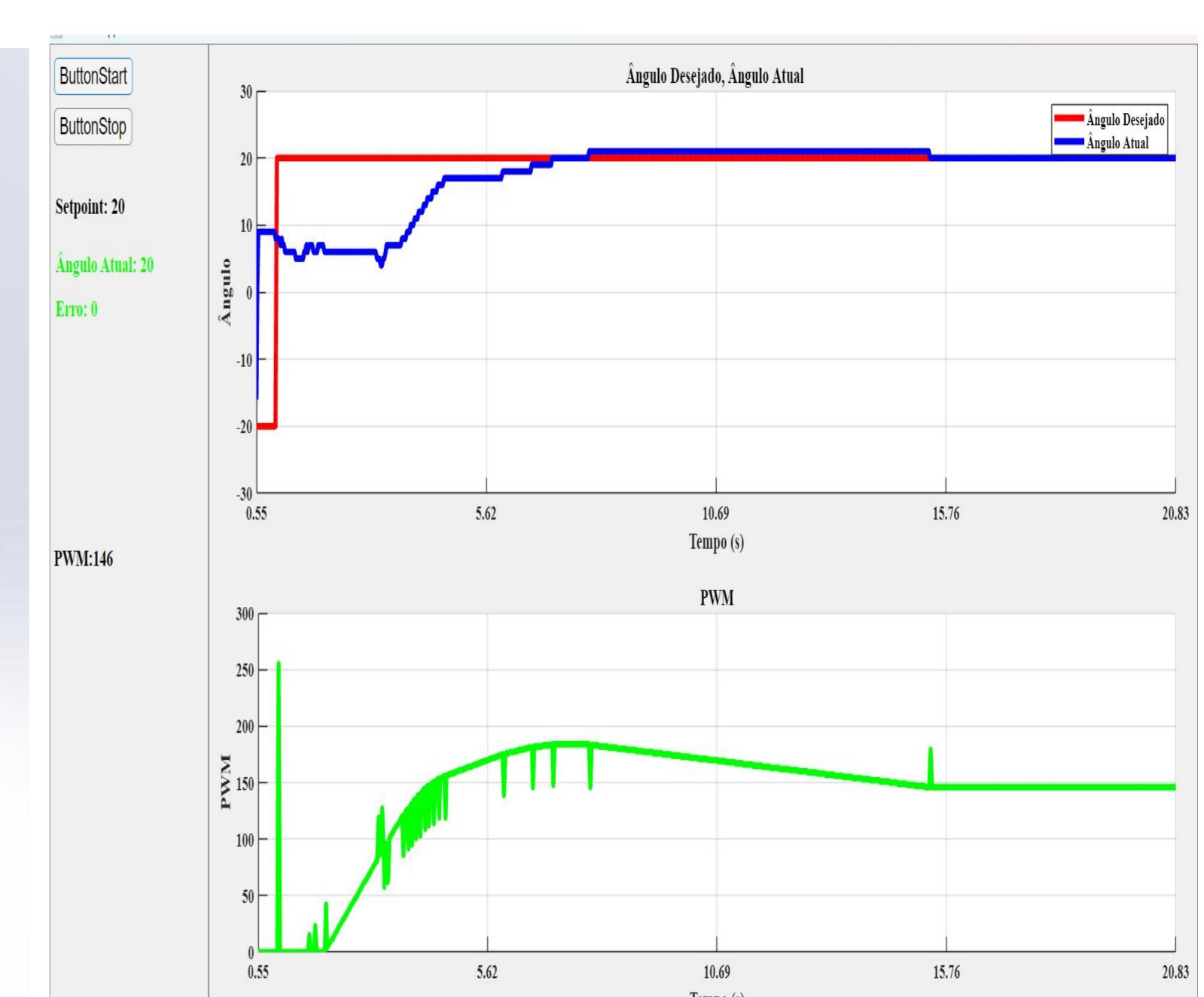


### Resultados e Discussões

O controlador PID implementado estabilizou o sistema, reduzindo significativamente o erro em regime permanente e garantindo desempenho adequado frente a sinais de referência clássicos, como degrau, rampa e senoidal. Observou-se que diferentes configurações de ganhos impactam diretamente nas respostas: ganhos proporcionais elevados aceleram a resposta mas induzem oscilações, ganhos integrais eliminam erro estacionário mas podem gerar instabilidade, enquanto uma sintonia balanceada proporciona bom compromisso entre rapidez, estabilidade e suavidade no controle. Em termos gerais, a validação experimental confirmou a robustez da solução proposta e evidenciou a relevância da plataforma para fins educacionais, destacando a importância da prática de sintonia de controladores para compreender as limitações e vantagens das estratégias de controle.



Planta do aeropêndulo (modelo 3D)



Layout da interface gráfica

### Conclusões

A plataforma aero-pêndulo desenvolvida demonstrou eficiência na estabilização de um sistema não linear e instável utilizando controle PID. Os resultados experimentais evidenciaram boa resposta transitória, baixo erro em regime permanente e reforçaram a importância da sintonia adequada dos ganhos. Além de validar conceitos teóricos em um ambiente prático e acessível, o sistema contribui para o ensino de engenharia de controle, favorecendo a aprendizagem ativa e o desenvolvimento de habilidades em projeto e análise de controladores.

### Bibliografia

- Dittmar, R., & Kahlcke, T. *A lab for undergraduate control engineering education equipped with industrial distributed control systems*. Computer Applications in Engineering Education, 2016.
- Neto, R. C., et al. *An aeropendulum-based didactic platform for the learning of control engineering*. Journal of Control, Automation and Electrical Systems, 2023.
- Lucena, E. R., Luiz, S. O., & Lima, A. M. *Modeling, parameter estimation, and control of an aero-pendulum*. SBAI, 2021.