

## **PLATAFORMA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE CONTROLADORES PID**

SANTOS, Alexandre dos<sup>1\*</sup>, OSINSKI, Cristiano<sup>2</sup>, CAMARGO, Tatiane<sup>3</sup>

<sup>1, 3</sup> FAHOR, Curso de Engenharia de Controle e Automação, Faculdade Horizontina, Campus Arnaldo Schneider, Avenida dos Ipês, 565, Horizontina, RS, Brasil.

<sup>2</sup> UFPR, Universidade Federal do Paraná, Campus Centro Politécnico, Avenida Coronel Francisco H. dos Santos, 100, Curitiba, RS, Brasil.

\*Autor Correspondente: as001947@fahor.com.br

### **RESUMO**

Neste artigo está sendo proposto um protótipo para o auxílio do ensino de controle de processos através de um sistema digital. Para isso, toda uma plataforma, envolvendo software e hardware é desenvolvida neste trabalho. Este protótipo consiste de um pêndulo de dupla ação controlado por um controlador proporcional-integral-derivativo (PID). Este controlador PID consiste em um algoritmo matemático, que tem por função o controle preciso de uma variável em um sistema, permitindo ao sistema operar de forma estável no ponto de ajuste desejado, mesmo que ocorram variações ou distúrbios que afetariam sua estabilidade. Tendo em vista estes conceitos, espera-se que o protótipo sirva como uma ferramenta didática que demonstre na prática a aplicação dos conceitos teóricos ensinados nas disciplinas de Controle de Sistemas do curso de Engenharia de Controle e Automação.

**Palavras chave:** Controle de Sistemas, Controladores PID, Pêndulo de Dupla Hélice.

### **Didactic Platform for Teaching PID Controllers**

### **ABSTRACT**

This article presents a prototype that comes to help teaching control process through a digital system. In this way, a whole platform, involving software and hardware is developed in this work. This prototype consists of a double-acting pendulum controlled by a proportional-integral-derivative controller (PID). This PID controller consists on mathematical algorithm, whose function is the precise control of a variable in a system, allowing the system to operate in a stable way at the expected set point, even if there are variations or disturbances that would affect its stability. Thus, the prototype would serve as a didactic tool that demonstrates in practice the application of the theoretical concepts taught in the Systems Control disciplines of the Control Engineering and Automation course.

**Keywords:** Control Systems, PID Controllers, Double Helix Pendulum.

## 1 INTRODUÇÃO

Devido a evolução dos conceitos e métodos aplicados nas instituições de ensino, cada vez mais se faz necessário a implementação de instrumentos didáticos, a fim de facilitar a visão do aluno ou até mesmo a explicação do professor quanto a disciplina. Isso ocorre principalmente nos cursos de engenharia, onde o professor fica com a responsabilidade de ensinar a teoria aos alunos e ainda mostrar essa teoria aplicada em problemas da engenharia.

Motivado por esta necessidade, este trabalho visa a criação de um protótipo que servirá para o auxílio do ensino de controle nas disciplinas de Controle de Sistemas do curso de Engenharia de Controle e Automação. Este protótipo consiste de um pêndulo de dupla hélice controlado por um algoritmo proporcional-integral-derivativo (PID). Para o desenvolvimento deste projeto, são utilizados conceitos de software e hardware. Assim, o algoritmo irá realizar o cálculo da posição dos motores através do microcontrolador e gerar um sinal de saída para o acionamento dos motores.

O artigo está estruturado como se segue. Na Seção 2 os principais conceitos relacionados aos controladores PID são apresentados. Na Seção 3 um passo a passo sobre o desenvolvimento do protótipo é discutido. Na Seção 4 os resultados são analisados. Finalmente, na Seção 5, as conclusões são apresentadas.

## 2 CONTROLADOR PID

De acordo com Ogata (2011), metade dos controladores industriais em uso nos dias atuais utiliza estratégias de controle PID ou PID modificadas. Sua utilidade reside na sua aplicabilidade geral à maioria dos sistemas de controle e parcialmente à sua simplicidade funcional, permitindo operá-los de maneira simples e direta.

A estrutura de controle PID mais utilizada na literatura e que representa a relação matemática entre o sinal de controle e o erro é dada por (Astrom, 1995):

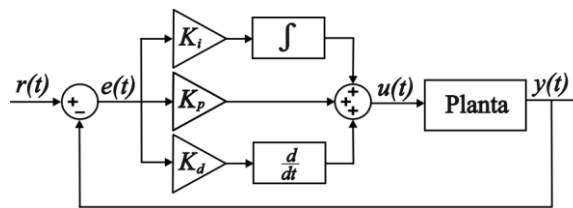
$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}, \quad (1)$$

onde  $u(t)$  é o sinal de controle e  $e(t)$  é o sinal do erro ( $e(t) = r(t) - y(t)$ ),  $T_i$  é a integral do tempo,  $T_d$  é a derivada do tempo. Outra forma de representar o algoritmo PID é pela função de transferência:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right), \quad (2)$$

A configuração apropriada desses parâmetros melhorará a resposta dinâmica, reduzirá o overshoot, eliminará erros de estado estacionário e aumentará a estabilidade do sistema (Astrom, 1995). A estrutura de um controlador PID em diagrama de blocos pode ser vista na Figura 1.

Figura 1 – Diagrama de blocos de um controlador PID.



**Fonte:** Autores (2018)

O controlador Proporcional, Integral e Derivativo (PID) gera sua saída proporcionalmente ao erro, proporcionalmente à integral do erro e proporcionalmente à derivada do erro. Se o modelo matemático da planta a ser controlada puder ser obtido, então é possível aplicar várias técnicas de projeto na determinação dos parâmetros do controlador que vão impor especificações do regime transitório e do regime permanente do sistema de malha fechada. Porém, se a planta não pode ter seu modelo matemático obtido facilmente, então uma aproximação analítica para o desígnio de um controlador PID não é possível. Então teremos que recorrer a aproximações experimentais para a afinação do controle PID.

### 3 DESENVOLVIMENTO

A base para a sustentação do pêndulo foi primeiramente projetada em software e pode ser vista na Figura 2. Nesta base encontram-se os motores e o potenciômetro utilizado como sensor.

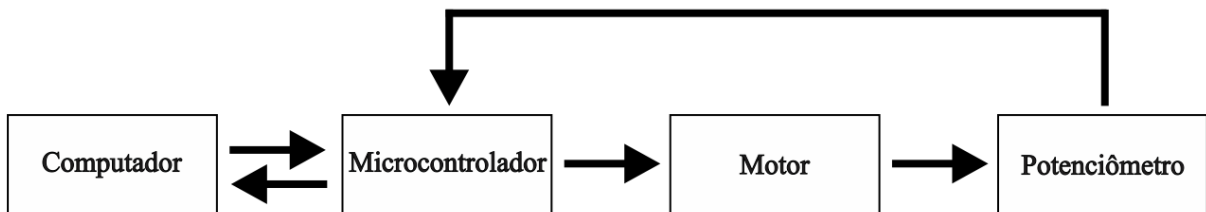
Figura 2 – Projeto em software do pêndulo de dupla hélice.



Fonte: Autores (2018)

O hardware da planta didática é composto de quatro módulos principais: computador, microcontrolador (executa os comandos do PID), motor e potenciômetro (utilizado como sensor). A conexão destes quatro módulos pode ser vista na Figura 3.

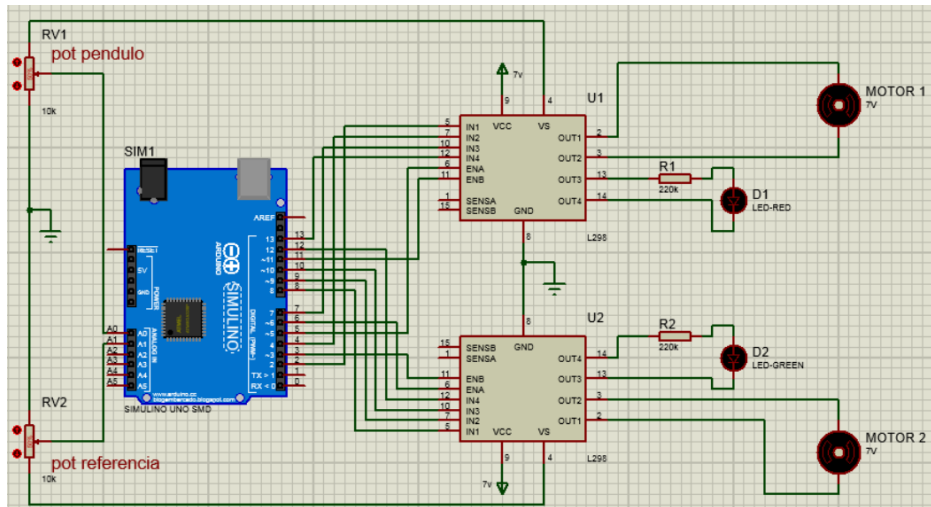
Figura 3 – Descrição dos módulos do projeto.



Fonte: Autores (2018)

A interface serial é a responsável pela comunicação entre o computador e controlador, sendo possível a gravação do firmware e a passagem das variáveis de entrada e saída do sistema. Com o código gravado, o microcontrolador realiza o cálculo com as variáveis de entrada e o resultado dessa operação é fornecido ao drive de potência. A estrutura PWM faz o ajuste ideal conforme o resultado do algoritmo de controle PID e através da interface de potência realiza o funcionamento dos motores. O esquema elétrico que relaciona o microcontrolador com os motores pode ser visto na Figura 4.

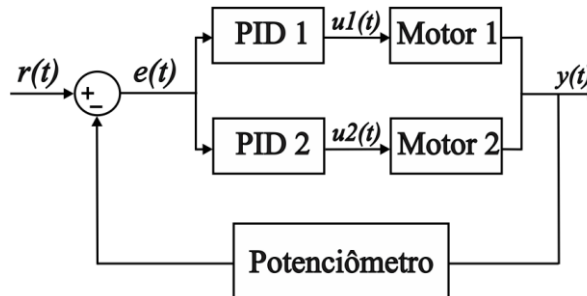
Figura 4 – Esquema elétrico do sistema.



Fonte: Autores (2018)

Adaptando o sistema de controle da Figura 1 para o sistema de controle de um pêndulo de duas hélices proposto neste trabalho, tem-se a Figura 5.

Figura 5 – Diagrama de blocos da malha de controle.



Fonte: Autores (2018)

O algoritmo PID digital implementado neste projeto realiza o controle da velocidade dos motores. O dimensionamento da interface de potência é baseado nas características do motor, tais como a corrente necessária para movimentar o eixo do motor e a corrente que mantém o motor funcionando de forma estável. Através do método de Ziegler e Nichols foi determinado os ganhos iniciais, através destes realizou-se a sintonia fina dos ganhos através do método de tentativa e erro. Os valores dos parâmetros que melhor se adaptaram ao problema de controle podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1- Parâmetros utilizados para o controlador

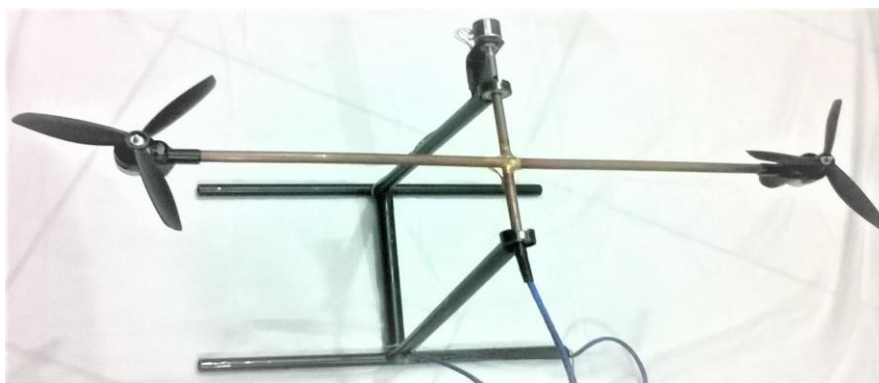
Parâmetro	QUANTIDADE
$K_p$	2,5
$K_i$	1,79
$K_d$	0,56

**Fonte:** Autores (2018).

Após sintonizado, o controlador realiza a comparação dos dados adquiridos no potenciômetro da base com os dados do potenciômetro de referência, neste momento estes resultados de dados é corrigido pelo controle PID e enviado em forma de PWM para as pontes H realizando o controle de tensão da entrada de cada motor de forma individual, enquanto um acelera o outro desacelera realizando assim o controle de qualquer posição num raio de 360°, também exibindo na tela do computador as leituras realizadas e as saídas enviadas, quando o potenciômetro de referência é alterado ou quando o sistema sofre uma interferência este corrige rapidamente a posição deixando um regime estável de trabalho.

A base e estrutura do pêndulo foram construídas em metal o que pode ser visto na imagem 6.

Imagem 6 – Base para a sustentação



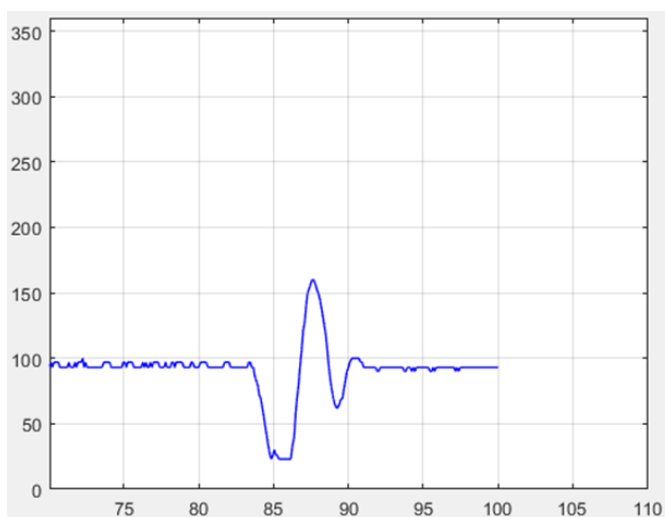
**Fonte:** Autores (2018)

Por possuir rolamentos nas extremidades, o atrito para esse sistema é quase desprezível, o que torna o sistema leve, sendo difícil de ser controlado. Na seção a seguir, testes serão realizados para testar o funcionamento do protótipo.

## 4 RESULTADOS

Nesta seção, são apresentados resultados da aplicação do controlador PID no pêndulo de dupla hélice em dois estudos de caso. Em ambos estudos de caso, o *setpoint* do sistema foi mantido em 94. Assim, independente da perturbação aplicada, os motores devem agir de modo que o sistema retorne para o valor de referência. No primeiro estudo de caso, aplicou-se uma pequena perturbação no sistema, como pode ser visto na Figura 7.

Figura 7 – Resposta do sistema a um degrau de potência

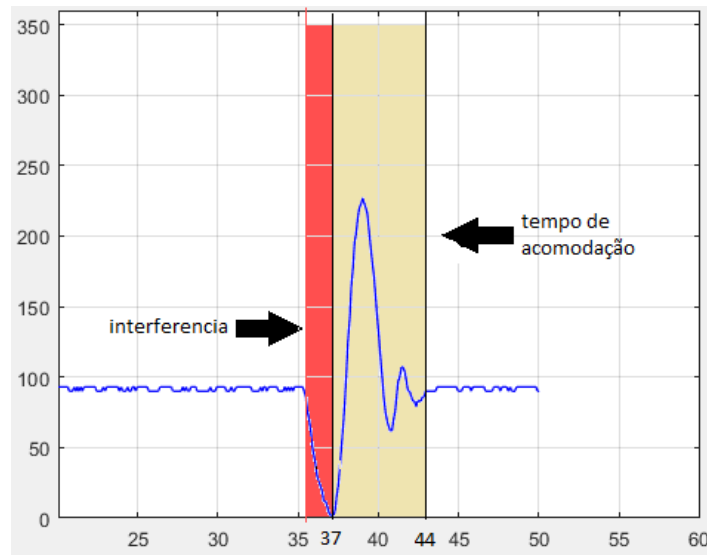


Fonte: Autores (2018)

Observando a Figura 7, percebe-se que no momento da perturbação, o controlador começa a agir, forçando o sistema a retornar para o seu ponto de referência. Como pode ser visto no gráfico, no momento da resposta transitória, há um *undershoot* de 60 e um *overshoot* de 160.

No segundo estudo de caso, com o intuito de testar a funcionalidade do controlador PID para perturbações maiores, aplicou-se uma grande perturbação, como pode ser visto na Figura 8.

Figura 8- Gráfico de comportamento do sistema com perturbação.



Fonte: Autores (2018)

Observando a Figura 8, percebe-se que o sistema teve um tempo de acomodação de 11 segundos, um *undershoot* de 0 e overshoot de 215. Após comprovar o funcionamento protótipo, mostrando que o controlador PID sintonizado reage bem para pequenas e grandes perturbações, pode-se então levar o protótipo para dentro das salas de aula. Com isso, os alunos podem verificar o comportamento de um controlador PID em um sistema real. Outra vantagem deste protótipo, está na facilidade de mudança dos parâmetros do controlador PID. Assim, os alunos podem desenvolver métodos de sintonia do controlador e testar no protótipo mudando apenas três constantes no código gravado do microcontrolador.

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho desenvolveu uma ferramenta para o auxílio do ensino de controle de processos através de um sistema digital. O trabalho desenvolvido permitiu uma abordagem interdisciplinar, juntando o conhecimento de diversas áreas, resultando no sucesso dos objetivos propostos. A execução e implementação do projeto foi muito desafiadora e, ao mesmo tempo, satisfatória, devido à exploração dos estudos sobre o programação,



controladores e automação em livros e artigos que serviram para embasar o projeto e criar esse sistema de controle que poderá ser utilizado em projetos práticos nas disciplinas de controle.

## REFERÊNCIAS

CAMPOS, Mario Cesar M; Massa de. TEIXEIRA, Herbert C. G. **Controles Típicos de equipamentos e processos industriais**. 2.ed. São Paulo: Blucher, 2010.

**Teoria de controle**. Disponível em:

<[http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA\\_TUAI/teoria-controle?part=19](http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA_TUAI/teoria-controle?part=19)>. Acesso em: 02 de abr. 2018.

A. Mohammadbagheri and M. Yaghoobi, "A New Approach to Control a Driven Pendulum with

**PID Method**," Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5754216&isnumber=5754186>>. Acesso em: 02 de abr. 2018.

FRANCHI, Claiton Moro. **Controle de processos industriais: princípios e aplicações**. 1.ed. São Paulo: Érica, 2011.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de Controle Moderno**. 5.ed. Estados Unidos: Person, 2011

OGATA, Katsuhiko. **MATLAB for Control Engineers**. Estados Unidos: Person.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6022: **Informação e Documentação: artigo em publicação periódica científica impressa: apresentação**. Rio de Janeiro, 2003.

**Implementações de controle para um sistema pêndulo-hélice**. Disponível em:

<[https://github.com/clovisf/Sistema\\_fisico\\_Pendulo-helice](https://github.com/clovisf/Sistema_fisico_Pendulo-helice)>. Acesso em: 13 de abr. de 2018.

**Projeto, implementação e ensaios de um Controlador PID utilizando FGPA**. Disponível em:

<<http://www.dee.ufc.br/anexos/TCCs/2010.1/MATHEUS%20SALES%20BEZERRA.pdf>>.

Acesso em: 13 de abr. de 2018.

**Desarrollo de un módulo didáctico para control angular de un péndulo suspendido**.

Disponível em:

<<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5364575.pdf>>. Acesso em: 13 de abr. de 2018.

ASTROM, Karl J.; Haggglund T. **PID controllers: theory, design, and tuning**. 2.ed. Instrument Society of America: 1995.



De 04/06/2018 a 06/06/2018

### **TERMO DE COMPROMISSO DE APRESENTAÇÃO**

Eu Alexandre dos santos autorizo, caso meu Trabalho Plataforma Didática para o Ensino de Controladores PID, de autoria de Alexandre dos santos, Cristiano Osinski e Tatiane Camargo, seja aprovado pela Comissão Científica da SEMANA INTERNACIONAL DE ENGENHARIAS E ECONOMIA FAHOR, a publicação nos anais e no site da instituição.

Assim sendo, firmo que a presente declaração é expressão absoluta da verdade e me responsabilizo integralmente, em meu nome e de eventuais coautores, pelo material apresentado.

Horizontina, 08 de maio de 2018.

Alexandre dos santos