

Guia de Prática: Sintonia de Controladores PID

Laboratório de Teoria de Controle

October 21, 2025

1 Introdução

O controle PID (Proporcional–Integral–Derivativo) é amplamente utilizado em sistemas de controle automático, pois combina três ações que, de forma conjunta, permitem reduzir o erro, eliminar o erro estacionário e antecipar variações no sinal de erro.

O sinal de controle $u(t)$ no domínio do tempo é dado por:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

em que:

- K_p é o ganho proporcional;
- K_i é o ganho integral;
- K_d é o ganho derivativo;
- $e(t)$ é o erro entre a referência e a saída do sistema.

No domínio da frequência, o controlador PID pode ser representado por sua função de transferência:

$$C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

em que $T_i = \frac{K_p}{K_i}$ é o tempo integral e $T_d = \frac{K_d}{K_p}$ é o tempo derivativo.

A correta escolha dos parâmetros K_p , T_i e T_d é essencial para garantir um equilíbrio entre rapidez, estabilidade e precisão na resposta do sistema, conforme mostrado na Tabela 1.

Table 1: Efeito do aumento dos ganhos do controlador PID sobre a resposta ao degrau.

Ganho PID	Sobressinal (%)	Tempo de Acomodação	Erro em Regime Permanente
Aumento de K_p	Aumenta	Impacto mínimo	Diminui
Aumento de K_i	Aumenta	Aumenta	Zera o erro em regime
Aumento de K_d	Diminui	Diminui	Sem impacto

O método de Ziegler-Nichols é uma técnica empírica de sintonia que determina esses parâmetros a partir do comportamento oscilatório do sistema em malha fechada. O procedimento consiste em aplicar um controle proporcional puro e aumentar o ganho K_p até que o sistema apresente oscilações sustentadas. O valor de ganho correspondente é denominado *ganho crítico* (K_{cr}), e o período dessas oscilações é o *período crítico* (P_{cr}).

A partir desses dois valores, os parâmetros do controlador são calculados conforme a Tabela 2.

Table 2: Relações do método de Ziegler-Nichols para diferentes tipos de controle.

Tipo de Controle	K_p	T_i	T_d
P	$0.5 K_{cr}$	—	—
PI	$0.45 K_{cr}$	$P_{cr}/1.2$	—
PID	$0.6 K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

2 Objetivos

Esta prática tem como objetivos:

- Sintonizar um controlador PI utilizando o método de Ziegler-Nichols;
- Sintonizar um controlador PID utilizando o método de Ziegler-Nichols;
- Avaliar a resposta temporal do sistema em malha fechada com os parâmetros obtidos em comparação com o sistema em malha fechada sem controlador.

3 Prática

Considere o sistema:

$$G(s) = \frac{1}{s(s+1)(s+5)}.$$

1. Obtenha o ganho crítico K_{cr} pelo lugar das raízes.
2. Determine o período crítico P_{cr} aplicando K_{cr} e simulando a resposta ao degrau.
3. Sintetize o controlador PI usando Ziegler-Nichols e obtenha a resposta ao degrau. Compare com a malha fechada sem controlador (tempo de acomodação e overshoot).
4. Sintetize o controlador PID usando Ziegler-Nichols e obtenha a resposta ao degrau. Comparar com a malha fechada sem controlador e com o PI.
5. Realize uma sintonia fina do PID para atender aos critérios:

$$t_s < 7 \text{ s}, \quad M_p < 20\%.$$

6. Complete a tabela a seguir e apresente os gráficos dos itens anteriores.

Table 3: Comparaçāo de desempenho

	K_p	K_i	K_d	t_s (s)	M_p (%)
Malha Fechada sem Controlador	0	0	0		
PI			0		
PID					
PID (Sintonia Fina)					