

Egenharia de Computação

Sistemas de Controle

Prof. Rodrigo Maciel

Introdução aos Sistemas de Controle



Apresentação da Disciplina

- Essa disciplina é apenas parte de uma grande área chamada **Teoria de Controle**;
- Estudaremos conceitos de:
 - Sistemas realimentados;
 - Diagramas de blocos;
 - Análise de precisão e sensibilidade;
 - Propriedades dinâmicas: Estabilidade, alocação de polos e lugar das raízes;
 - Ferramentas de análise;
 - Estrutura de Controladores;
 - Regras de ajuste/projeto de controladores PID.

Apresentação da Disciplina

- Objetivos de aprendizagem:
 - Fornecer base teórica e ferramental analítico para o estudo de sistemas de controle;
 - Capacitar o aluno no projeto de sistemas de controle clássico;
 - Desenvolver o raciocínio lógico sistemático para resolução de problemas em engenharia.
- Pré-requisitos: **Cálculo IV e Sinais e Sistemas Lineares**
- **Metodologia de avaliação:**
 - $MF = (N1+N2+N3)/3$
 - N1: Avaliação 01 (10,0 pontos);
 - N2: Avaliação 02 (10,0 pontos);
 - N3: Avaliação 03 (Projeto Final) (10,0 pontos).

Apresentação da Disciplina

- **Datas das Avaliações:**

- Aula 09 em **28/04**, Avaliação 01;
- Aula 15 em **02/06**, Avaliação 02;
- Aula 19 em **23/06**, Apresentação e entrega do projeto final;
- Aula 20 em **30/06**, Avaliação N-1 (10 pontos).

- **Referência Bibliográfica:**

- MAYA, Paulo Álvaro; LEONARDI, Fabrizio. Controle essencial. São Paulo: Pearson, 2014. **(livro eletrônico)**;
- OGATA, Katsuhiko. Engenharia de Controle Moderno, Editora Pearson do Brasil, 2003, 4ª edição;
- CARVALHO, J. L. Martins de. Sistemas de Controle Automático, 2000, Editora LTC.

Introdução

- **Definição:** Sistema que faz com que outro (sistema) passe a se comportar de forma adequada, obedecendo a um conjunto de condições estabelecidas. Atua diretamente na manipulação de uma das variáveis do sistema para controlar (modificar) outra;
- No cenário industrial os controladores têm sido utilizados a bastante tempo.
 - Introdução do **governador centrífugo de James Watt** (1788) para regular a velocidade das máquinas a vapor.
 - <https://www.youtube.com/watch?v=SiYEtnlZLSs>
- Década de 40 surgem os primeiros controladores elétricos.
 - Problema do pré-aquecimento das válvulas.

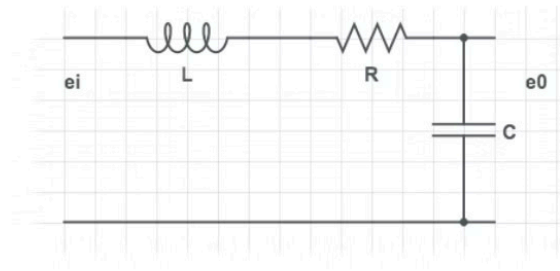


- Superação deste problema com a invenção do transistor.
- Na sequência, vieram os controladores digitais.

Modelos de Interesse

- Os projetos de controladores que estudaremos nessa disciplina serão baseados em modelos, ou seja, é necessário conhecer a representação matemática do sistema (processo) que se deseja controlar;
- Exemplo de modelos físico e matemático de um sistema elétrico:

Circuito RLC



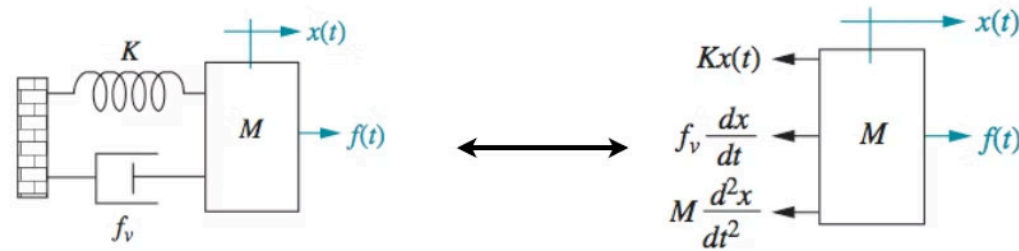
$$L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) + \frac{1}{C} \int i(t) dt = e_i(t)$$

$$\frac{E_0(s)}{E_i(s)} = \frac{1}{LCs^2 + RCs + 1}$$

Modelos de Interesse

- Exemplo de modelos físico e matemático de um sistema mecânico:

Sistema massa, mola e amortecedor

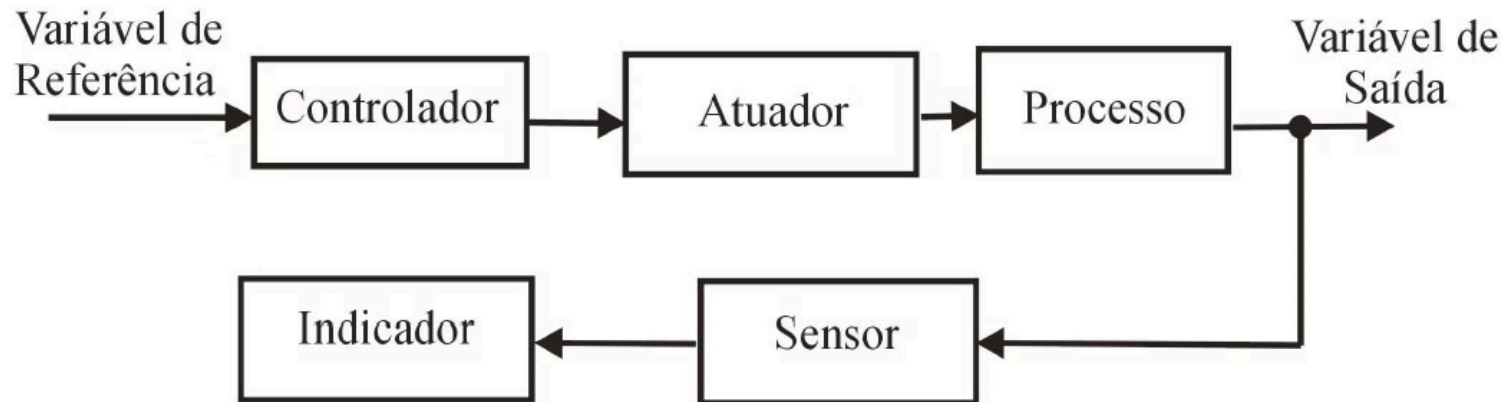


$$M \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + f_v \frac{dx(t)}{dt} + K x(t) = f(t)$$

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{Ms^2 + f_v s + K}$$

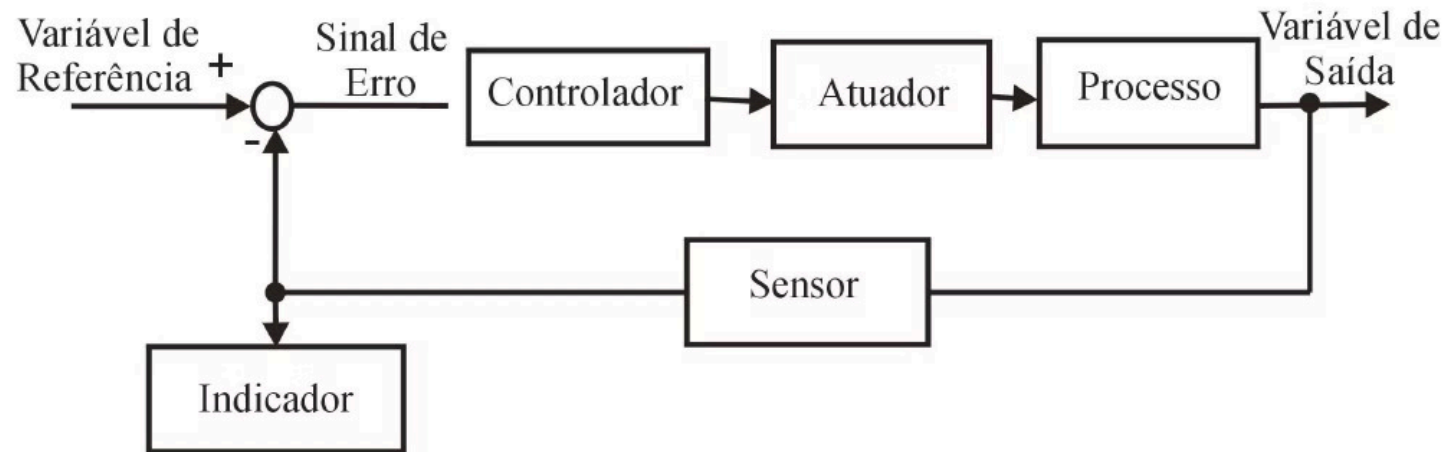
Sistemas em Malha Aberta e Malha Fechada

- **Malha aberta:**
 - O controlador gera o sinal para o atuador com base no sinal de referência;
 - Não é obtida nenhuma informação sobre o processo.
- **Exemplo:**



Sistemas em Malha Aberta e Malha Fechada

- **Malha fechada:**
 - O controlador gera o sinal para o atuador com base no sinal de erro;
 - Sinal de **erro** = diferença entre o sinal de referência (**valor desejado**) e o sinal proveniente do sensor (**valor medido**).
- **Exemplo:**

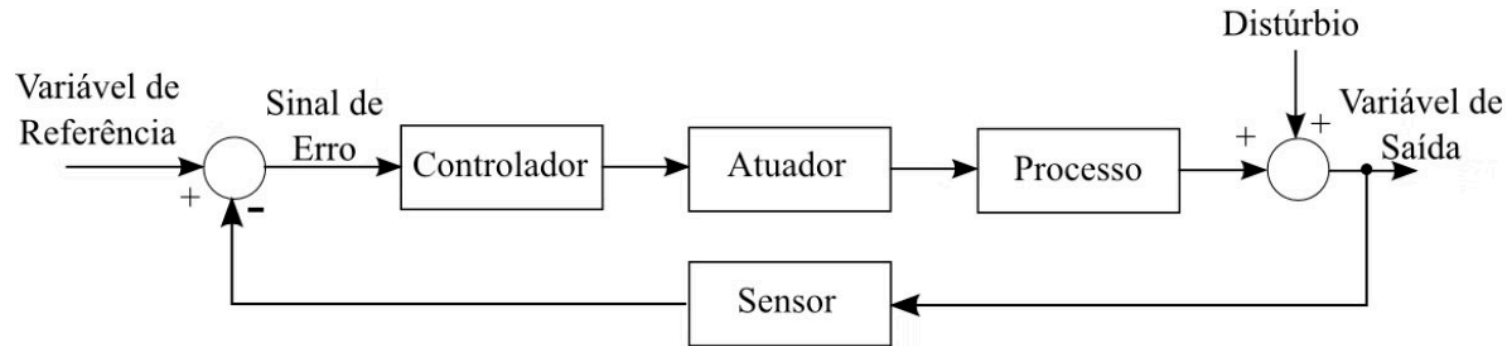


Sistemas em Malha Aberta e Malha Fechada

- Vantagens da malha fechada em relação a malha aberta:
 - O controle fica menos dependente dos parâmetros do sistema a ser controlado;
 - Com o sistema sendo realimentado, qualquer desvio gera um erro que tende a ser compensado.
- Desvantagens:
 - Custo mais elevado;
 - O sistema pode atingir a instabilidade.

Distúrbios Externos

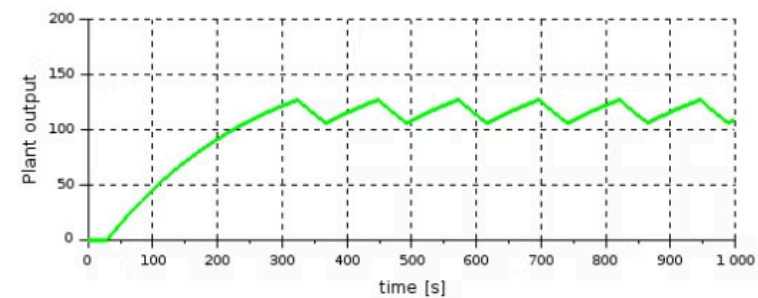
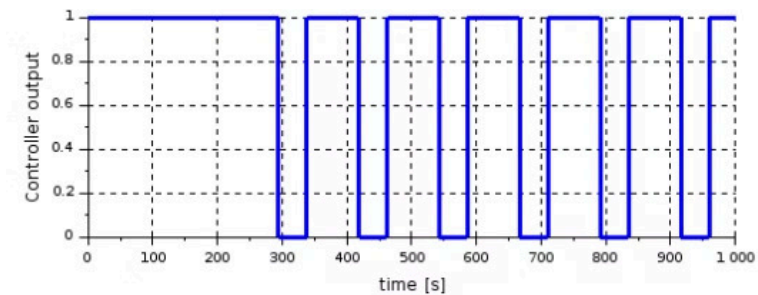
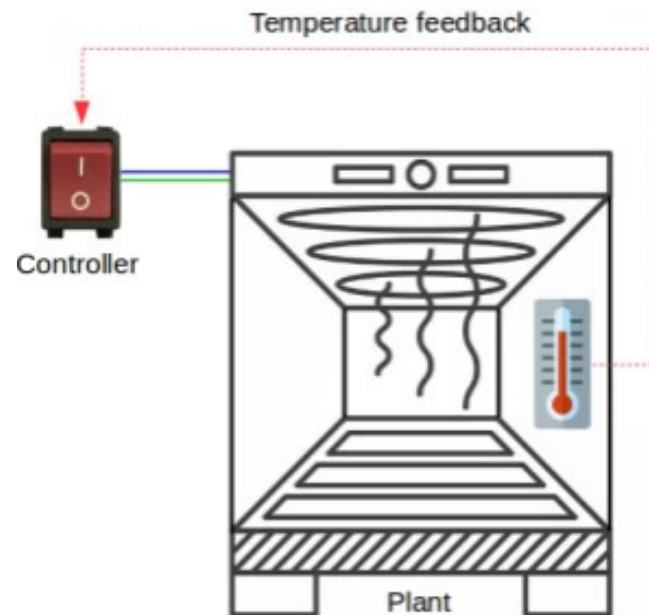
- É comum em situações reais que a variável de saída sofra influência de outras variáveis de natureza aleatória (distúrbios);
- Essa natureza aleatória é tratada como incertezas do sistema, pois não há como prevêê-las;
- Mesmo assim, os controladores são projetados com certas capacidades de rejeição a esses distúrbios;
- Muitas vezes, os distúrbios são gerados por ruídos adicionados aos sensores no momento da medição dos sinais.



Tipos mais comuns

Controlador On-Off

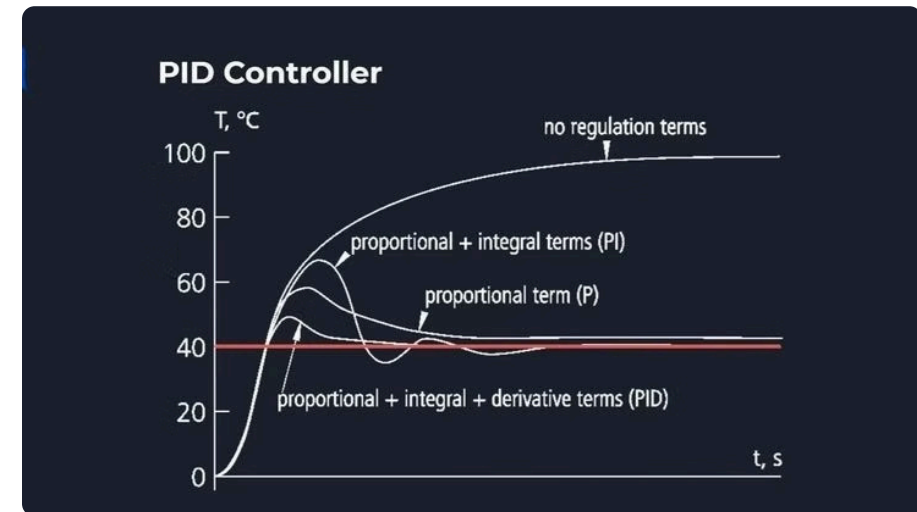
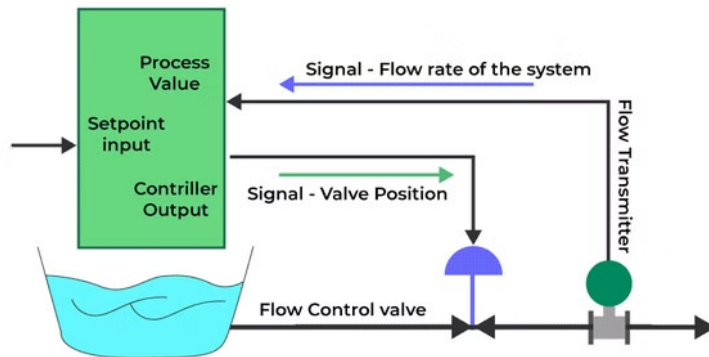
Também conhecido como liga-desliga, é a forma mais simples de controlador. Atua como **ON** (ligado) quando o erro é positivo e **OFF** quando erro é zero ou negativo. O controlador On-Off não possui estágios intermediários, apenas totalmente ligado ou desligado.



Tipos mais Comuns

Controlador Proporcional

Conhecido como controlador **P**, possui forma mais eficiente de controle. Atua de forma proporcional ao erro, ou seja, quanto maior o erro, maior a ação de controle. Existem algumas variações tais como o controlador **PI** (Proporcional Integral), controlador **PD** (Proporcional Derivativo) e **PID** (Proporcional Integral Derivativo).



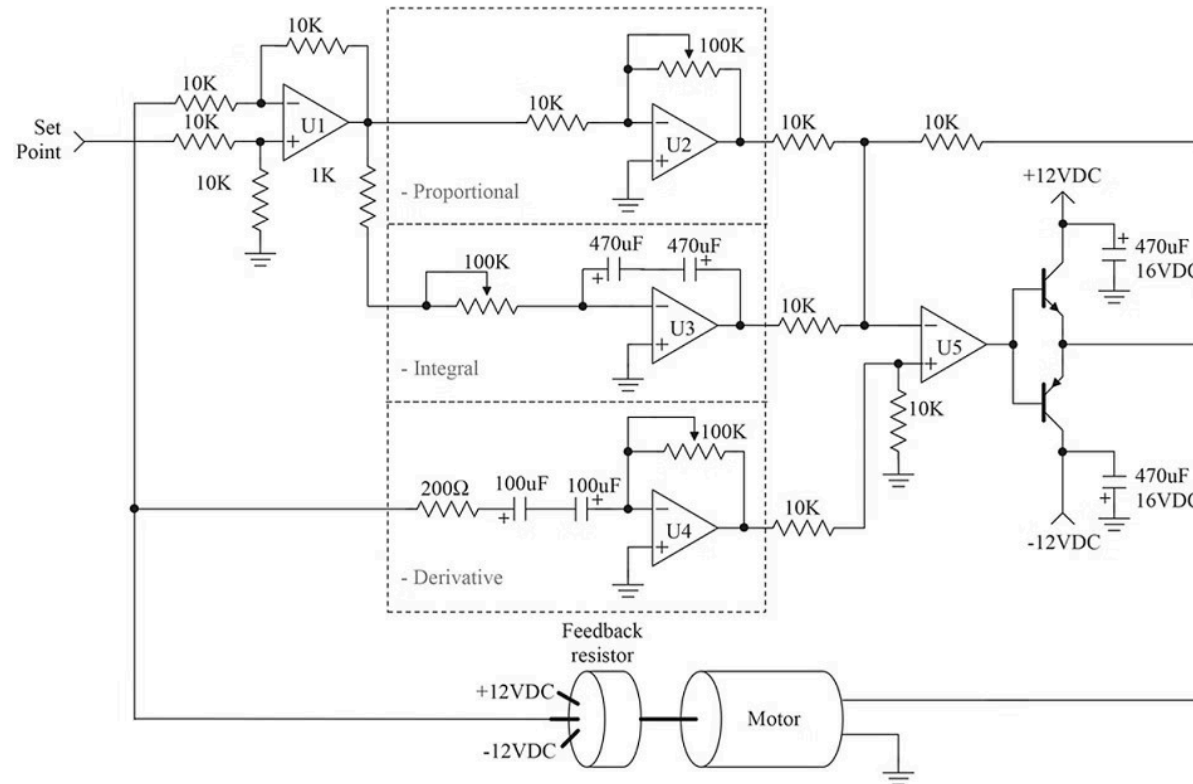
Fonte: <https://www.geeksforgeeks.org/> e <https://br.pinterest.com/>

Formas de Implementação

Controlador Analógico

Utiliza circuitos eletrônicos analógicos tais como Amplificadores Operacionais (AmpOp) resistores e capacitores.

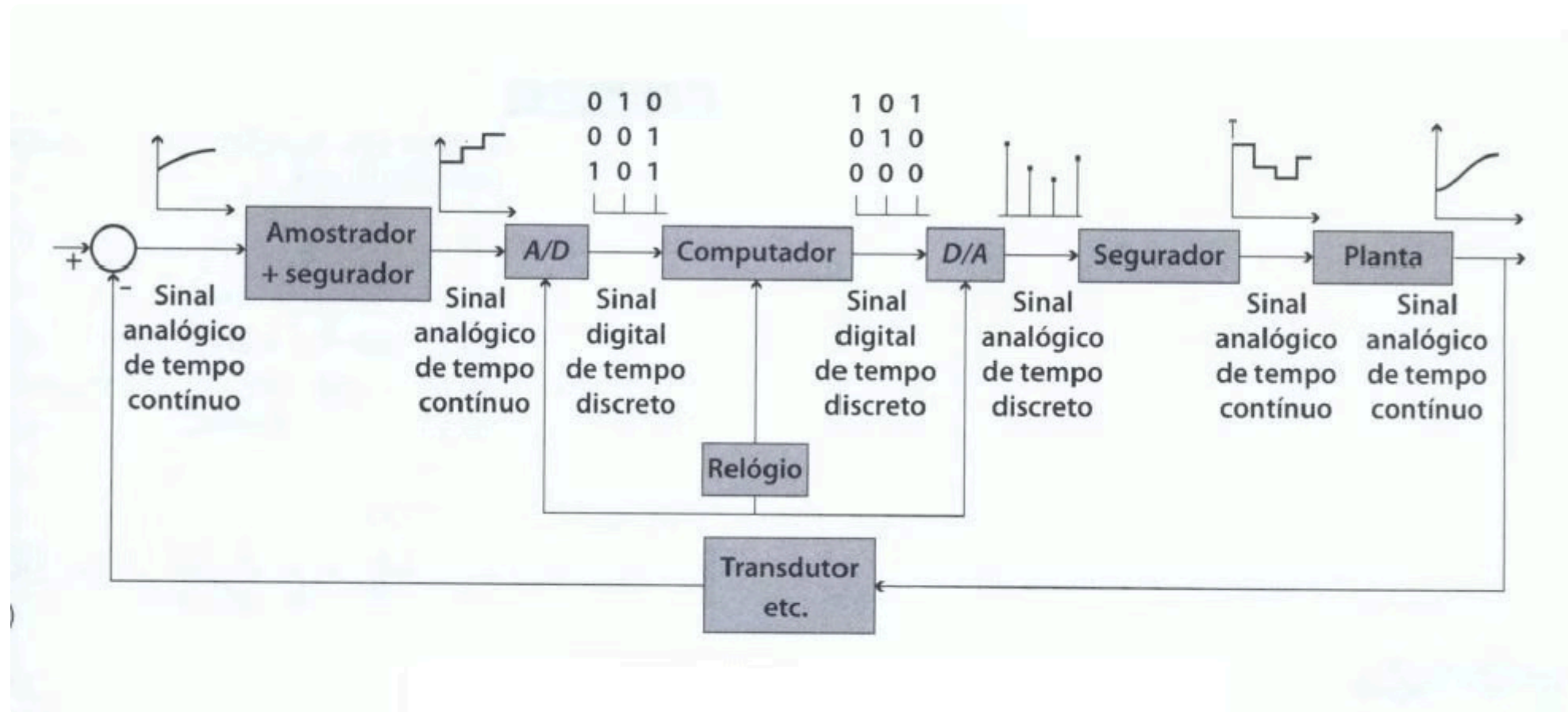
Vantagem: São mais rápidos que os controladores digitais. **Desvantagens:** Mais sensíveis aos ruídos externos, custo mais elevado, desgaste dos componentes com o tempo e requer novos ajustes com o passar do tempo.



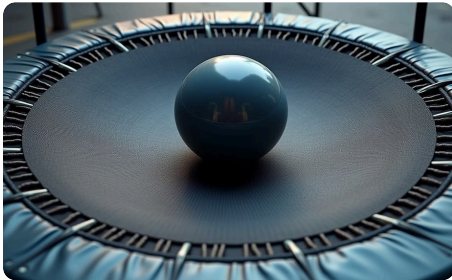
Formas de Implementação

Controlador Digital

Utiliza microcontroladores ou microprocessadores. **Vantagens:** fácil implementação, menor custo pois utiliza menos componentes eletrônicos e pode controlar mais de um processo de forma simultânea. **Desvantagem:** É mais lento que um controlador analógico.

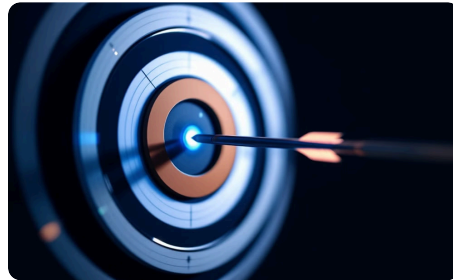


Características Desejáveis



Estabilidade

Existem processos dinâmicos instáveis por natureza. Manter o sistema em um estado controlável.



Precisão

Capacidade de seguir uma determinada referência. Tendência de anular o valor do erro.



Tempo de resposta

Rapidez para alcançar as condições desejadas. Parâmetros de projeto preestabelecidos.



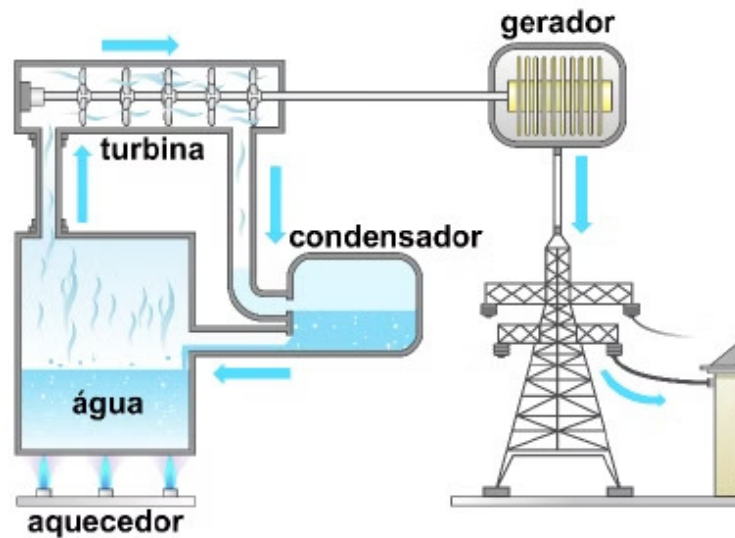
Robustez

Desempenho adequado sob variações. Tendência de rejeitar distúrbios.

Ex: Simulador de Pêndulo Invertido <https://robotic-controls.com/static/inverted-pendulum/>

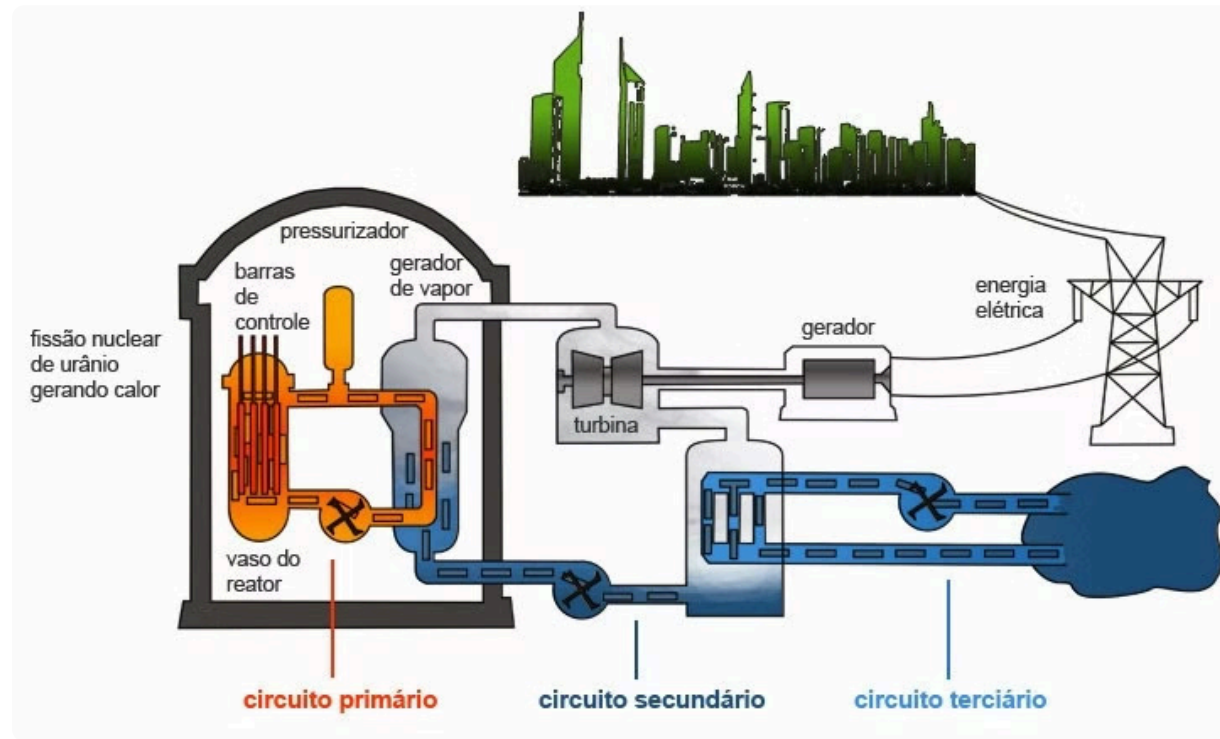
Exemplos de Aplicações

- Controle de temperatura e pressão em termoeletricas



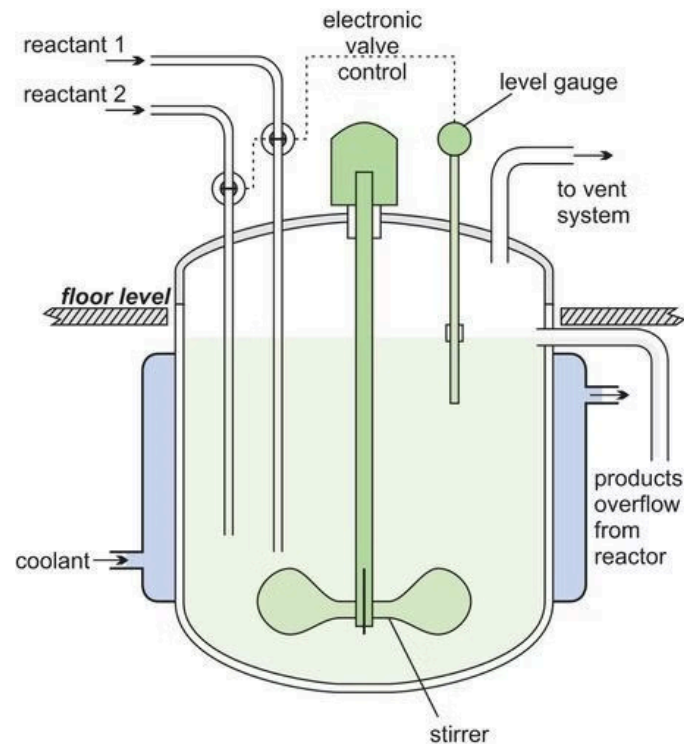
Exemplos de Aplicações

- Controle de reação em usinas termonucleares



Exemplos de Aplicações

- Controle de mistura em reator químico



Exemplos de Aplicações

- Controle de posição e velocidade em braço robótico



Exemplos de Aplicações

- Controle de velocidade em aerogeradores



Exemplos de Aplicações

- Controle de velocidade em esteira transportadora



Exemplos de Aplicações

- Controle de aeronaves



Problemas propostos

- Considere os seguintes casos:
 - **Caso 1** - Controle de temperatura - realizar o controle de temperatura em uma sala comercial;
 - **Caso 2** - Controle de velocidade de um veículo - efetuar o controle da velocidade de cruzeiro de um automóvel durante uma viagem.
- Para cada um destes casos:
 - Elaborar o diagrama de blocos (controlador, atuador e processo);
 - Identificar as variáveis (variável manipulada e variável controlada) e possíveis distúrbios.