

# Controle e Aplicações • Aula 1.2

Elementos do sistema controlado

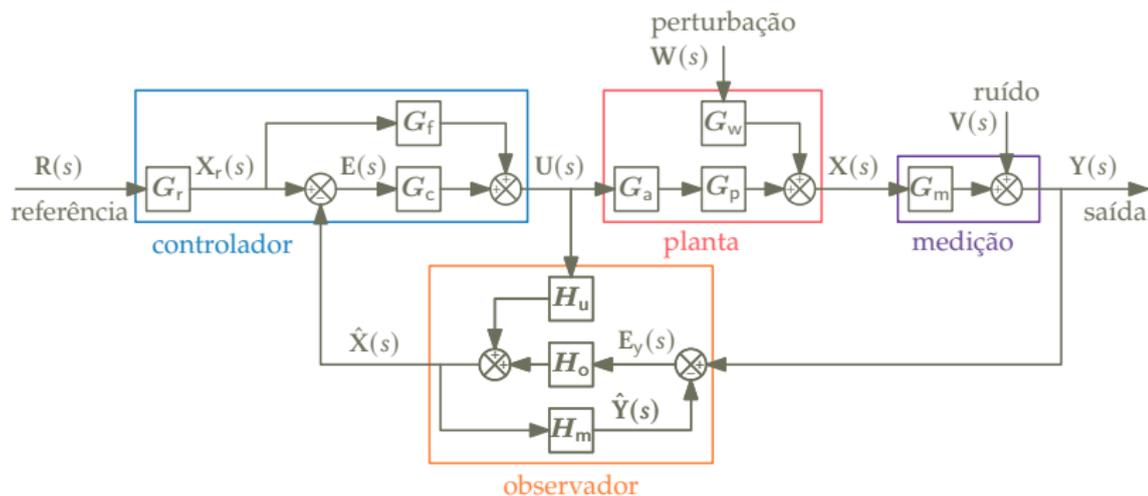
Realimentação

Malha aberta e malha fechada

Prof. Dr. Renato Maia Matarazzo Orsino



## Diagrama de blocos de um sistema de controle em malha fechada

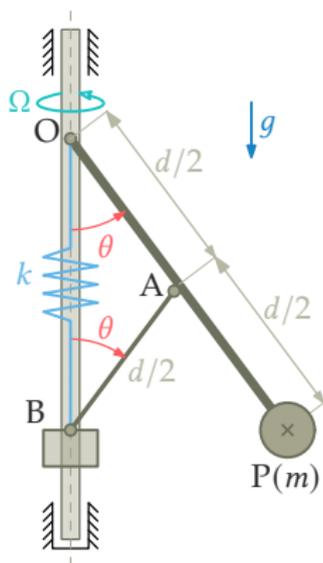


## Pêndulo de Watt (1788)

Considerado o primeiro dispositivo de controle usado na indústria, permitia manter constante a rotação de uma máquina a vapor.

Em caso de aumento da rotação da máquina, por efeito inercial, o ângulo  $\theta$  cresce, movendo o bloco B para cima. Caso contrário o bloco B desce.

Assim, basta ligar o bloco B a um mecanismo que controla a abertura ou fechamento da válvula de entrada de vapor.



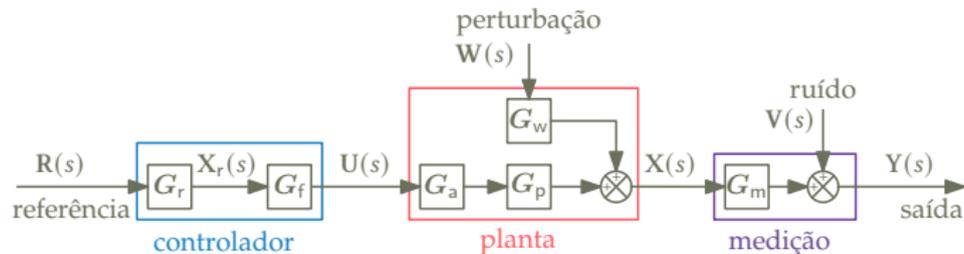
$$\begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \left( \Omega^2 + \frac{k}{m} \right) \sin(2\theta) - \left( \frac{g}{d} + \frac{k}{m} \right) \sin \theta - \frac{b}{md^2} \omega \\ \omega \end{bmatrix}$$

## Objetivos gerais de projeto de um sistema de controle

Deseja-se que a dinâmica de um sistema controlado tenha as seguintes características (não necessariamente presentes na planta original):

- ❶ **Resposta estável** – se a planta for originalmente instável, o sistema de controle projetado deve ser capaz de estabilizá-la.
- ❷ **Seguimento de referências** – o sistema controlado deve ser capaz de acompanhar sinais de referência, reduzindo os tempos de acomodação (resposta transitória) decorrentes de qualquer variação nesta referência.
- ❸ **Rejeição de perturbações** – entradas não-controláveis (indesejáveis e, tipicamente, não-modeladas) devem ter seu efeito minimizado na resposta do sistema.
- ❹ **Robustez** – baixa sensibilidade a erros de medição e à variação de parâmetros dos componentes.

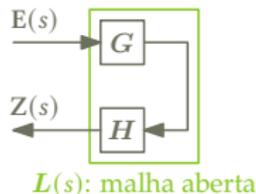
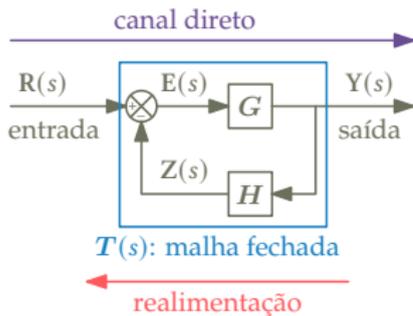
## Atuação em malha aberta



Sistemas de atuação em malha aberta são mais simples e têm menor custo, podendo ser convenientes em cenários nos quais há dificuldades para sensoriamento.

Nestes casos, no entanto, há baixa robustez e precisão. Note que o sistema só pode agir contra distúrbios para os quais foi projetado.

## Álgebra de diagrama de blocos



$$Y(s) = G(s)E(s)$$

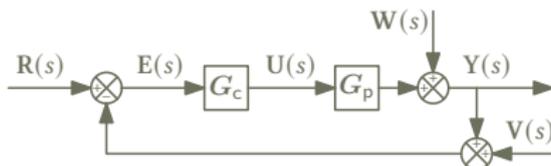
$$E(s) = R(s) - Z(s) = R(s) - H(s)Y(s) = R(s) - H(s)G(s)E(s)$$

$$\underbrace{[I + H(s)G(s)]}_{L(s)} E(s) = R(s) \Rightarrow E(s) = S(s)R(s) \Rightarrow \boxed{Y(s) = T(s)R(s)}$$

$S(s) = [I + L(s)]^{-1}$ : função de transferência de sensibilidade

$T(s) = G(s)S(s)$ : função de transferência de malha fechada

## Sensibilidade e a resposta em malha fechada



$$Y(s) = G_p(s)U(s) + W(s) = G_p(s)G_c(s)E(s) + W(s)$$

$$E(s) = R(s) - (Y(s) + V(s)) \Rightarrow [I + \underbrace{G_p(s)G_c(s)}_{L(s) = G(s)}]E(s) = R(s) - V(s) - W(s)$$

$$E(s) = S(s)(R(s) - V(s) - W(s))$$

$$Y(s) = \underbrace{G(s)S(s)}_{T(s)} [R(s) - V(s)] + [I - \underbrace{G(s)S(s)}_{T(s)}]W(s)$$

$$Y(s) = T(s)[R(s) - V(s)] + S(s)W(s)$$

uma vez que  $T(s) + S(s) = (G(s) + I)S(s) = (G(s) + I)(I + G(s))^{-1} = I$ .



Perguntas?

[reorsino@usp.br](mailto:reorsino@usp.br)

