

# 1. Introdução

## 1.1 Preliminares

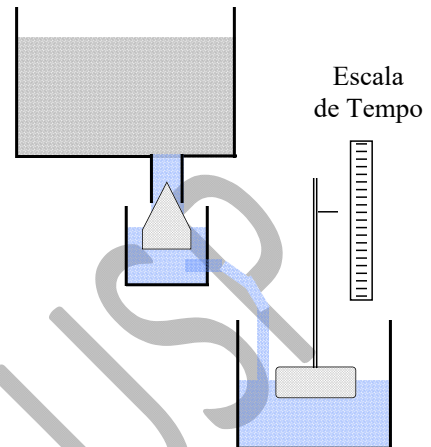
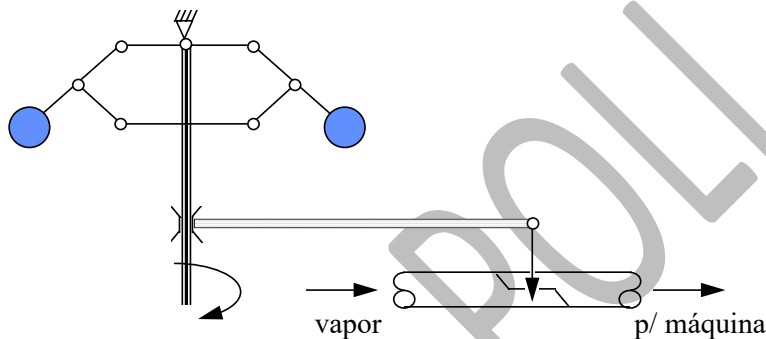
As primeiras aplicações de controle automático podem ser encontradas já entre 300 A.C. e 1 A.C. na Grécia com mecanismos de reguladores flutuantes. Em 250 A.C., Philon concebeu um mecanismo desse tipo para manter o nível de óleo constante em um lampião. O relógio de água de Ketsibios foi outro exemplo desse tipo de mecanismo (veja figura ao lado).

Algumas personalidades e eventos marcantes na história do controle automático são listadas a seguir.

**C. Drebbel (1572-1633), Holanda:** regulador de temperatura para incubadeira de ovos - primeiro sistema de controle a realimentação de que se tem notícia na Europa Moderna.

**D. Pappin (1647-1712):** primeiro regulador de pressão para caldeiras (1681), similar a uma válvula de panela de pressão.

**J. Watt, 1769:** primeiro controlador a realimentação utilizado em processo industrial - controlador centrífugo para regular a velocidade de máquina a vapor (figura abaixo).



**J. C. Maxwell, 1868:** primeiro estudo sistemático de estabilidade de sistemas de controle.

**Routh, 1877:** critério de estabilidade baseado nos coeficientes do polinômio característico de um sistema.

**Minorski, 1922:** estudo da estabilidade de piloto automático de navios.

**Black, 1927:** uso de realimentação no projeto de amplificador para telefonia.

**Nyquist, 1932:** estudo da estabilidade com base na resposta em frequência (resposta estacionária a entradas senoidais).

**Bode, 1938:** desenvolvimento de metodologia de projeto de amplificadores a realimentação.

**Evans, 1948:** desenvolvimento do Método do Lugar das Raízes - método gráfico que permite determinar as raízes da equação característica de um sistema em função de um parâmetro variante.

Para uma leitura mais completa a respeito da história dos sistemas de controle, veja (Mayr, 1970) e (*IEEE Control Systems Magazine*, 1984).

## 1.2 Sistemas de controle em malha aberta e em malha fechada

Nos sistemas de controle em **malha aberta**, a saída não é utilizada para alterar a ação de controle. Um exemplo é o forno de fogão a gás doméstico. Neste caso, com base normalmente numa escala existente no painel do fogão, o usuário escolhe uma temperatura desejada e espera que o processo de assar ocorra a contento.

Diferentemente, nos sistemas de controle em **malha fechada**, a saída é utilizada para alterar a ação de controle. Por essa razão, este tipo de sistema também é conhecido por sistema a realimentação ou sistema a retroalimentação.

Os sistemas de controle em malha fechada podem ser **manuais** ou **automáticos**.

Um exemplo de controle **manual** em malha fechada é o ato de dirigir um carro. Neste caso

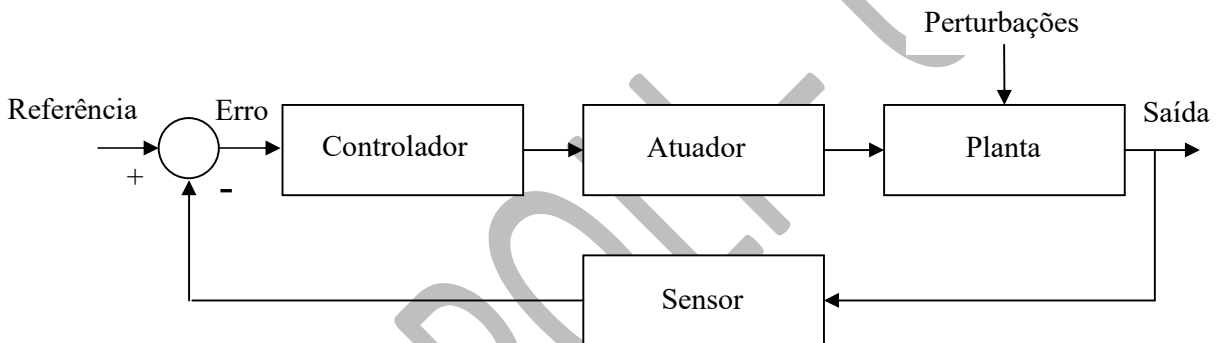
o controlador é o motorista, que age de maneira a percorrer um certo trajeto desejado e atua de acordo com as condições de trânsito que encontra ao longo dele. Outro exemplo é o controle da temperatura de um banho de chuveiro elétrico, em que a pessoa ajusta a posição da válvula de entrada da água (registro na parede) para, por meio da vazão, regular a temperatura do banho no valor desejado.

Um exemplo de controle **automático** em malha fechada é o controle de temperatura de uma geladeira doméstica. Nesta, o usuário escolhe um nível de *frio* por meio de um botão com escala e a temperatura se mantém aproximadamente constante, a despeito de perturbações externas, tais como variações da temperatura ambiente, entrada de massas de ar quente provocada pela abertura de portas, armazenamento de alimentos à temperatura ambiente, etc.

Os controladores em malha fechada podem também ser classificados em

- **reguladores** - são aqueles em que se deseja manter a variável controlada em um valor constante;
- **servos** - são aqueles em que se deseja que a variável controlada acompanhe um sinal de referência que varia com tempo.

Um esquema usual de um sistema de controle em malha fechada é mostrado na figura a seguir.



A planta representa o processo de interesse, cuja saída é a variável que se deseja controlar. O sensor é o dispositivo utilizado para medir esta variável. O sinal de referência - constante, no caso de um regulador, ou variável no tempo, no caso servo - é comparado com a medida do sensor e o sinal de erro resultante é fornecido ao controlador. Com base no erro, o controlador determina o sinal de controle (também chamado de variável manipulada) que é então aplicado no atuador. Este é um elemento que tem como entrada um sinal de baixa potência - o sinal de controle - e como saída, um sinal de alta potência, utilizado para atuar sobre a planta.

As perturbações são sinais externos que interferem na operação da planta, ou, em outras palavras, são ações que o ambiente produz sobre o sistema e que podem prejudicar seu desempenho. Assim, por exemplo, uma rajada de vento lateral sobre uma aeronave é uma ação externa que pode fazê-la de desviar de uma rota desejada.

É comum considerar o atuador como parte da planta e localizado na entrada desta.

De maneira análoga, muitas vezes também o sensor é visto como parte da planta. Note que, normalmente, o sinal de saída é desconhecido, dispondo-se, isto sim, de uma medida dele, em geral. Um exemplo em que isto ocorre é a geladeira, para a qual o valor da temperatura interna só é conhecido por meio da leitura do sensor de temperatura.

O sistema de controle de uma geladeira é um exemplo de regulador, já que o objetivo é manter a temperatura constante no interior dela. Por outro lado, um sistema de controle de temperatura

de um processo de tratamento térmico de um metal é um exemplo de sistema de controle do tipo servo, pois o objetivo é acompanhar um perfil de temperatura desejado ao longo do tempo.

Algumas vantagens da operação em malha fechada são:

- insensibilidade a perturbações externas (distúrbios externos);
- insensibilidade a variações em parâmetros do sistema;
- possibilidade de utilização de componentes de baixa qualidade / baixo custo para obter sistemas com desempenho de alta qualidade.

Uma desvantagem da operação em malha fechada é a possibilidade de perda de estabilidade causada, em geral, por ganhos elevados do controlador. Para exemplificar, imagine um motorista dirigindo seu carro em uma estrada e aplicando correções acentuadas de direção sempre que observa algum erro de rumo. Note, entretanto, que neste caso o controle em malha aberta é impraticável, já que haveria a necessidade do conhecimento prévio de toda a trajetória e das condições de tráfego encontradas ao longo do percurso.

LAC-POLI-USP