

# Controle de Processos

## Aula 01 - Introdu  o aos problemas de controle

# Apresentação

---

Os sistemas de controle desempenham um papel fundamental no desenvolvimento da engenharia e da ciência, tornando-se uma ferramenta de muita importância em todos os tipos de sistemas automatizados, processos industriais e de produção. É essencial em operações industriais, como o controle de pressão, de temperatura, de umidade, de viscosidade, de nível e de vazão nos processos industriais.

Como os avanços no controle automático, na teoria e na prática, vêm produzindo meios para otimizar o desempenho dos sistemas dinâmicos, melhorar a produtividade, diminuir o trabalho árduo de várias rotinas de operações manuais repetitivas, entre outros, os profissionais de controle de processos devem ter agora bons conhecimentos nessa área.

Nesta aula, conheceremos alguns aspectos dos sistemas de controle em ambientes industriais, bem como alguns dos principais conceitos e terminologias usados em controle de processos, indicando seus objetivos, vantagens, aplicações e configurações, alertando também para a classificação dos problemas de controle industriais e os elementos que os compõem. Então, vamos nessa? Bons estudos!

# Objetivos

Ao final da aula, os alunos deverão:

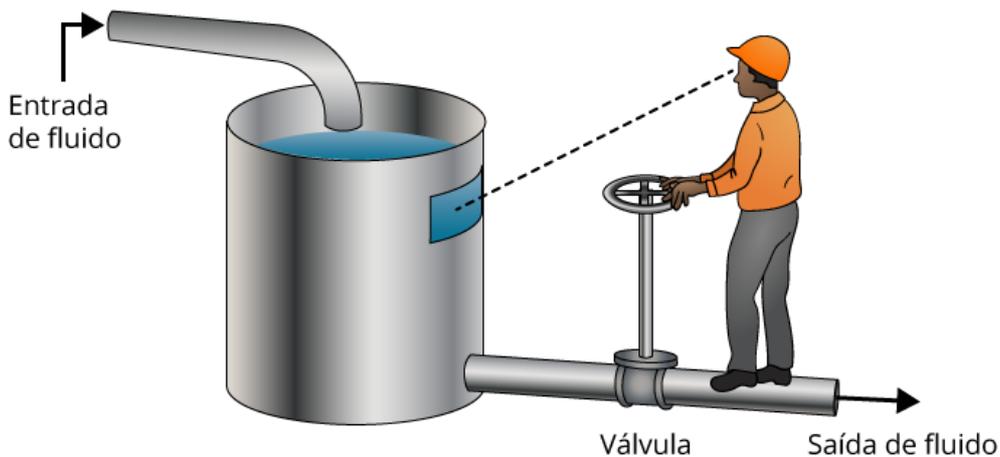
- Definir um sistema de controle e descrever algumas aplicações;
- Descrever as características e configurações básicas dos sistemas de controle;
- Descrever os objetivos da análise e do projeto de sistemas de controle;
- Descrever os benefícios de se estudar os sistemas de controle;
- Identificar o que são problemas de controle em um contexto industrial;
- Listar os elementos de um sistema de controle;
- Classificar os sistemas de controle de acordo com seus objetivos, números de entrada e saída e seus tipos.

# Histórico

---

Uma planta industrial pode ser imaginada como uma coleção de tanques em que os materiais são aquecidos, refrigerados e/ou reagidos, e também das tubulações em que esses materiais fluem. A maioria das plantas era essencialmente operada de forma manual antes da década de 1940, e se usavam apenas controladores elementares. Muitos homens eram necessários para manter o controle das diversas variáveis existentes nas plantas industriais. No entanto, o controle manual não permite a eliminação do erro, resultando em uma amplitude de variação excessiva do valor da variável que se deseja controlar. A **Figura 1** apresenta um exemplo simples de um sistema de controle manual.

**Figura 01** - Sistema de controle manual para regular o nível de fluido em um reservatório. O operador ajusta a válvula observando o nível atual do fluido.



**Fonte:** Adaptado de <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAs2EAE/sistemas-controle-parte-1>

Com o aumento nos custos de mão de obra e equipamentos, bem como o desenvolvimento de equipamentos e processos de maior performance nas décadas de 1940 e 1950, tornou-se antieconômico, ou mesmo inviável, operar plantas sem dispositivos de controle automático. Nesse estágio, controladores foram introduzidos nas plantas.

Vários são os tipos de indústrias existentes nos diversos ramos da atividade industrial. Nesta disciplina, essencialmente, iremos estudar as indústrias de natureza de processamento contínuo. Aquelas cujo processamento produtivo

envolve de maneira mais significativa variáveis contínuas no tempo. A produção é medida em toneladas ou metros cúbicos e o processo produtivo essencialmente manipula fluidos. Segundo Alves (2010), podemos citar como exemplo as indústrias petrolíferas, químicas, petroquímicas, de papel e celulose, alimentícia, cimenteira, metalúrgica, de tratamento de água, geração e distribuição de energia elétrica, entre outras.

Nos processos contínuos as variáveis mais usuais são temperatura, pressão, vazão e nível, embora existam diversas outras.

## Conceitos Básicos, Terminologia e Problemas de Controle

---

- **Sistema Físico**

É uma parte do Universo que foi delimitada para estudo. A parte do Universo que não foi incluída no Sistema Físico é denominada de Meio Ambiente.

- **Especificações de Desempenho**

São descrições do comportamento a ser apresentado pelo Sistema Físico em termos de velocidade, segurança, conforto, precisão, custo e simplicidade, conforme solicitação do usuário.

- **Sistema**

Um sistema é a combinação de componentes que agem em conjunto para atingir determinado objetivo.

- **Dinâmica**

Comportamento de um processo dependente do tempo. O comportamento sem controladores no sistema é chamado de resposta em malha aberta.

- **Variáveis**

**Variáveis de entrada:** pressões, temperaturas, vazões, composições químicas, entre outras, dos fluxos de entrada dos processos. Também serão utilizadas como **variáveis manipuladas**, isto é, aquelas que iremos variar para controlar o sistema.

**Variáveis de saída:** por exemplo, pressões, temperaturas, vazões, composições químicas, dos fluxos de saída ou dentro dos processos. Serão as **variáveis controladas**, isto é, aquelas que queremos controlar.

- **Perturbação (Distúrbio)**

É um sinal que tende a afetar de maneira adversa o valor da variável de saída de um sistema. Se uma perturbação for gerada dentro do sistema, ela será chamada de **perturbação interna**, enquanto uma **perturbação externa** é aquela gerada fora do sistema e que se comporta como um sinal de entrada no sistema.

- **Válvula de Controle**

É um elemento final de controle que manipula diretamente a vazão de um ou mais fluidos (líquidos ou gases) de processo.

Controlar significa medir o valor da variável controlada do sistema e utilizar a variável manipulada ao sistema para corrigir ou limitar os desvios do valor medido a partir de um valor desejado.

Um Problema de Controle consiste em determinar uma forma de afetar o sistema físico considerado de modo que o seu comportamento atenda às especificações de desempenho que haviam sido fornecidas a priori.

O comportamento do Sistema Físico pode ser alterado através das variáveis manipuladas geradas por um Controlador.

- **Controlador (Compensador)**

É a entidade que afeta o Sistema Físico de modo que sejam atendidas as Especificações de Desempenho.

- **Controle**

É a ação de fazer um Sistema Físico comportar-se conforme as Especificações de Desempenho.

- **Modelo**

É alguma entidade que permite caracterizar, de modo parcimonioso, as propriedades relevantes de um Sistema Físico, para permitir o seu estudo.

- **Representação É a forma como são expressas as relações matemáticas entre as diversas variáveis do modelo, em uma forma (equação, tabela, gráfico, diagrama) conveniente para manipulação e análise.**

- **Diagrama de Blocos**

Usam-se diagramas de blocos para representar as relações de dependência entre as variáveis que interessam à cadeia de controle.

O **processo** a regular é representado por um retângulo com uma entrada (variável manipulada) e com uma saída (variável controlada). Ver **Figura 2**. Esse retângulo simboliza a relação funcional que liga a variável de saída com a variável de entrada e com o tempo. Como se refere a variações no tempo, trata-se de uma função dinâmica.

Entende-se por processo uma alteração ou uma série de alterações sobre materiais quaisquer ou sobre formas de energias de modo a levá-los a estados ou formas mais úteis.

As alterações podem ser de natureza química ou física. Como exemplos de processos podemos indicar os casos de uma caldeira a vapor, uma instalação de bombeamento, uma coluna de destilação,

uma máquina-ferramenta de comando numérico. Perceba que há uma equivalência entre o Processo e o Sistema Físico.

As outras relações dinâmicas entre as variáveis importantes da cadeia são também representadas por retângulos com uma entrada e uma saída. A função algébrica de adição é simbolizada por um círculo (ver **Figura 4**).

## Definição de Sistemas de Controle/Controle Automático

---

O Controle Automático tem como finalidade a manutenção de uma determinada variável ou condição num certo valor (fixo ou variando no tempo à nossa vontade). Esse valor que pretendemos é o valor desejado.

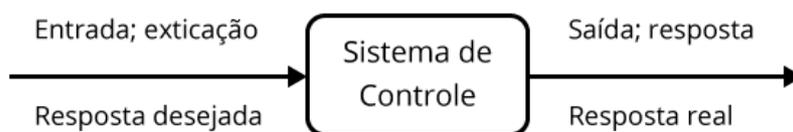
Para atingir esta finalidade o sistema de controle automático opera do seguinte modo:

- a. Medida do valor da variável que se quer regular.
- b. Comparação do valor atual com o valor desejado (sendo este último indicado ao sistema de controle pelo operador humano ou por um computador). Determinação do desvio (diferença entre o valor desejado e o valor medido/atual).
- c. Utilização do desvio (ou erro) para gerar um sinal de correção.
- d. Aplicação do sinal de correção ao sistema a controlar de modo a ser eliminado o desvio, isto é, de maneira a reconduzir-se a variável ao valor desejado. O sinal de correção introduz, pois, variações de *sentido contrário* ao erro.

**Resumidamente:** Podemos definir Controle Automático como a manutenção do valor de uma certa condição através da sua medida, da determinação do desvio em relação ao valor desejado, e da utilização do desvio para se gerar e aplicar uma ação de controle capaz de reduzir ou anular o desvio (SANTOS, 1979).

Um sistema de controle consiste em *subsistemas* e processos (ou *plantas*) construídos com o objetivo de se obter uma *saída desejada* com um *desempenho* desejado, dada uma *entrada* especificada. A **Figura 2** mostra um sistema de controle em sua forma mais simples, na qual a entrada representa uma saída desejada (as setas identificam a direção da informação).

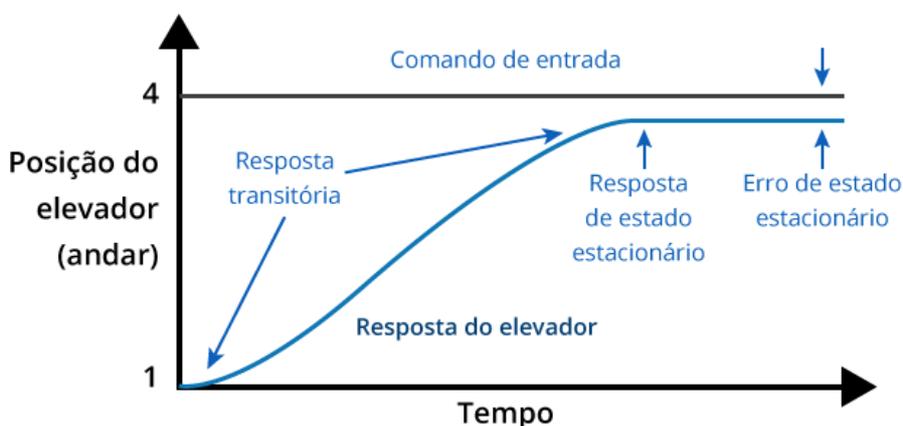
**Figura 02** - Descrição simplificada de um sistema de controle em diagrama de blocos.



**Fonte:** Adaptado de Nise (2013).

A título de exemplo, considere um elevador. Quando o botão do quarto andar é pressionado no primeiro andar, o elevador sobe até o quarto andar com uma velocidade e uma exatidão de nivelamento projetadas para o conforto do passageiro. A pressão no botão do quarto andar é uma *entrada* que representa a *saída* desejada. O *desempenho* do elevador pode ser verificado a partir da curva de resposta do elevador na **Figura 3**.

**Figura 03** - Resposta do elevador.



**Fonte:** Adaptado de Nise (2013).

Duas das principais medidas de desempenho são apresentadas: a resposta transitória e o erro em regime permanente (ou erro de estado estacionário). Neste exemplo, o conforto e a paciência do passageiro dependem da resposta transitória.

Se essa resposta for muito rápida, o conforto do passageiro é sacrificado; se for muito lenta, a paciência do passageiro é sacrificada. O erro em regime permanente é outra especificação de desempenho importante, uma vez que a segurança do passageiro e a conveniência podem ser sacrificadas se o elevador não nivelar apropriadamente.

## Vantagens dos Sistemas de Controle/Controle Automático na Indústria

---

Não é demais insistir nas vantagens que a automação com controladores individuais ou com computador central oferece à indústria. Eis uma lista de alguns desses aspectos favoráveis:

- Eliminação de trabalhos monótonos ou exigindo atenção concentrada.
- Eliminação do erro humano.
- Diminuição das horas-homem para a mesma produção.
- Aumento na quantidade do produto ou no número de unidades fabricadas.
- Melhoria na qualidade dos produtos.
- Melhor aproveitamento de matérias-primas.
- Melhor aproveitamento de energia.
- Menor desgaste do equipamento fabril.
- Melhoria na uniformidade dos produtos.
- Em resumo: aumentos de produtividade podendo ir de alguns % até valores muito altos.

Com os sistemas de controle podemos mover equipamento pesado com uma precisão que, de outra forma, seria impossível. Por causa dos sistemas de controle, os elevadores nos transportam rapidamente ao nosso destino, parando

automaticamente no andar correto.

Construímos sistemas de controle por quatro razões principais (NISE, 2013):

1. Amplificação de potência
2. Controle remoto
3. Conveniência da forma da entrada
4. Compensação de perturbações

Por exemplo, uma antena de radar, posicionada pela rotação de baixa potência de um botão de girar na entrada, requer uma grande quantidade de potência para a rotação de sua saída. Um sistema de controle pode produzir a amplificação de potência, ou ganho de potência necessária.

Robôs projetados pelos princípios de sistemas de controle podem compensar a falta de habilidade humana. Os sistemas de controle também são úteis em locais remotos ou perigosos. Por exemplo, um braço robótico controlado remotamente pode ser utilizado para coletar material em um ambiente radioativo.

Os sistemas de controle também podem ser utilizados para propiciar conveniência alterando a forma da entrada. Por exemplo, em um sistema de controle de temperatura a entrada é uma posição em um termostato. A saída é o calor. Assim, uma entrada de posição conveniente produz uma saída térmica desejada.

Outra vantagem de um sistema de controle é a habilidade de compensar perturbações. Tipicamente controlamos variáveis, tais como a temperatura em sistemas térmicos; posição e velocidade em sistemas mecânicos; e tensão, corrente ou frequência em sistemas elétricos. O sistema deve ser capaz de fornecer a saída correta, mesmo com uma perturbação. Por exemplo, considere um sistema de antena que aponta em uma direção comandada. Se o vento desviar a antena de sua posição comandada ou se houver ruído interno, o sistema deve ser capaz de detectar a perturbação e corrigir a posição da antena.

# Aplicações Contemporâneas

---

Encontramos sistemas de controle por toda a indústria de controle de processos, regulando o nível de líquidos em reservatórios, concentrações químicas em tanques e a espessura do material fabricado. Por exemplo, considere um sistema de controle de espessura para uma laminadora de acabamento de chapas de aço. O aço entra na laminadora de acabamento e passa por rolos. Na laminadora de acabamento, raios X medem a espessura real e a compara com a espessura desejada. Qualquer diferença é ajustada por um controle de posição de um parafuso que altera a distância entre os rolos através dos quais passa a peça de aço. Essa alteração na distância entre os rolos regula a espessura.

Os desenvolvimentos modernos têm presenciado uma utilização generalizada de computadores digitais como partes dos sistemas de controle. Por exemplo, computadores são utilizados em sistemas de controle de robôs industriais, veículos espaciais e na indústria de controle de processos. É difícil imaginar um sistema de controle moderno que não utilize um computador digital.

## Configuração de Sistemas

---

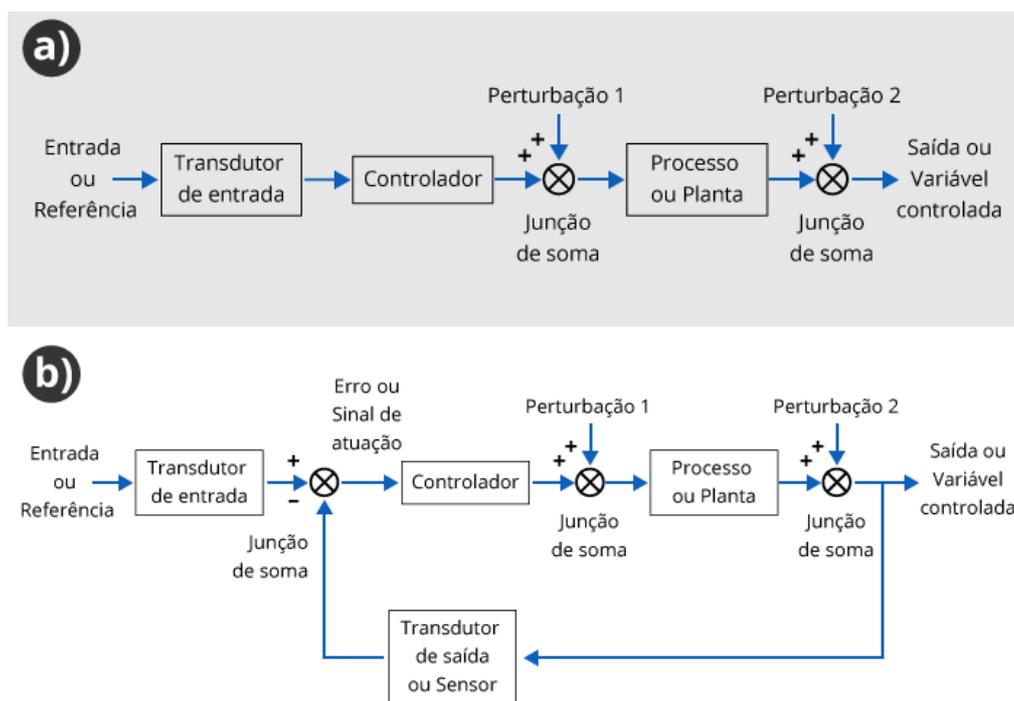
### Sistemas em Malha Aberta

Um *sistema em malha aberta* genérico é mostrado na **Figura 4**. Ele começa com um subsistema chamado de *transdutor de entrada*, o qual converte a forma da entrada para aquela utilizada pelo *controlador*. O controlador aciona um processo ou uma *planta*. A entrada algumas vezes é chamada de *referência*, enquanto a saída pode ser chamada de *variável controlada*. Outros sinais, como as perturbações, são mostrados adicionados às saídas do controlador e do processo através de junções de soma, as quais fornecem a soma algébrica dos seus sinais de entrada utilizando os sinais associados. Por exemplo, a planta pode ser uma fornalha ou um sistema de ar-condicionado, no qual a variável de saída é a temperatura. O controlador em um sistema de aquecimento consiste em válvulas de combustível e no sistema elétrico que opera as válvulas.

A característica distintiva de um sistema em malha aberta é que ele não pode realizar compensações para quaisquer perturbações que sejam adicionadas ao sinal de acionamento do controlador (Perturbação 1 na **Figura 4(a)**). Por exemplo, se o controlador for um amplificador eletrônico e a Perturbação 1 for um ruído, então qualquer ruído aditivo do amplificador na primeira junção de soma também acionará o processo, corrompendo a saída com o efeito do ruído. A saída de um sistema em malha aberta é corrompida não apenas por sinais que são adicionados aos comandos do controlador, mas também por perturbações na saída (Perturbação 2 na **Figura 4(a)**). O sistema também não pode realizar correções para essas perturbações.

Sistemas em malha aberta, então, não efetuam correções por causa das perturbações e são comandados simplesmente pela entrada.

**Figura 04** - Diagramas de blocos de sistemas de controle: **a.** sistema em malha aberta; **b.** sistema em malha fechada.



**Fonte:** Adaptado de Nise (2013).

## Sistemas em Malha Fechada (Controle com Realimentação - *Feedback*)

As desvantagens dos sistemas em malha aberta, como a sensibilidade às perturbações e a falta de habilidade para corrigir seus efeitos, podem ser superadas nos sistemas em malha fechada. A arquitetura genérica de um *sistema em malha fechada* é mostrada na **Figura 4(b)**.

O *transdutor de entrada* converte a forma da entrada para a forma utilizada pelo controlador. Um *transdutor de saída*, ou sensor, mede a resposta da saída e a converte para a forma utilizada pelo controlador. Por exemplo, se o controlador utiliza sinais elétricos para operar as válvulas de um sistema de controle de temperatura, a posição de entrada e a temperatura de saída são convertidas em sinais elétricos. A posição de entrada pode ser convertida em uma tensão por meio de um *potenciômetro*, um resistor regulável, e a temperatura de saída pode ser convertida em uma tensão por meio de um *termistor*, um dispositivo cuja resistência elétrica varia com a temperatura.

A primeira junção de soma adiciona algebricamente o sinal de entrada ao sinal de saída, que chega através da *malha de realimentação*, o caminho de retorno da saída para a junção de soma. Na Figura 4(b), o sinal de saída é subtraído do sinal de entrada. O resultado, geralmente, é chamado de sinal de atuação. Entretanto, nos sistemas em que ambos os transdutores, de entrada e da saída, possuem *ganho unitário* (isto é, o transdutor amplifica sua entrada por um fator igual a 1), o valor do sinal de atuação é igual à diferença real entre a entrada e a saída. Nessas condições, o sinal de atuação é chamado de *erro*.

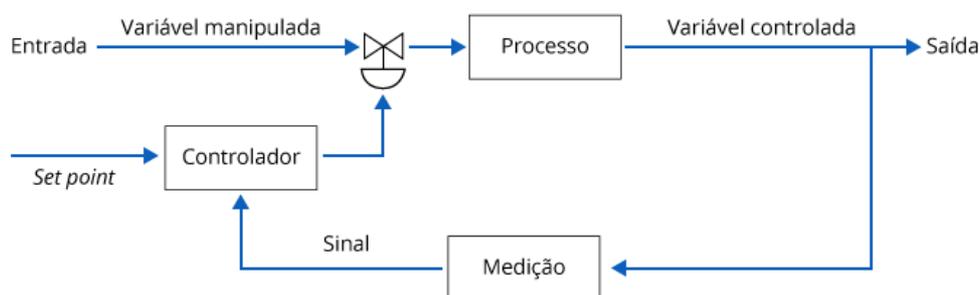
O sistema em malha fechada compensa o efeito das perturbações medindo a resposta da saída, realimentando essa medida através da malha de realimentação e comparando essa resposta com a entrada na junção de soma. Se existir qualquer diferença entre as duas respostas, o sistema aciona a planta, através do *sinal de atuação*, para fazer uma correção. Se não há diferença, o sistema não aciona a planta, uma vez que a resposta da planta já é a resposta desejada.

Assim, os sistemas em malha fechada possuem a vantagem óbvia de apresentar uma exatidão maior que os sistemas em malha aberta. Eles são menos sensíveis a ruídos, perturbações e alterações do ambiente. A resposta transitória e os erros em

regime permanente podem ser controlados de modo mais conveniente e com maior flexibilidade nos sistemas em malha fechada, frequentemente pelo simples ajuste de um ganho (amplificação) na malha e, algumas vezes, ajustando-se o projeto do controlador. Referimo-nos ao ajuste de projeto como *compensação* do sistema e ao dispositivo resultante como *compensador*. Por outro lado, os sistemas em malha fechada são mais complexos e mais caros que sistemas em malha aberta.

De modo geral, a maneira tradicional de se controlar um processo é medir a variável a ser controlada, comparar seu valor com o **valor de referência**, ou **set point** do controlador, e alimentar a diferença, o **erro**, em um controlador que mudará a variável manipulada de modo a levar a variável medida (controlada) ao valor desejado. Nesse caso, a informação foi realimentada da saída, subtraída do valor de referência para, então, alterar a variável manipulada de entrada. Uma representação mais simplificada desse procedimento é apresentada através de diagrama de blocos na **Figura 5**.

**Figura 05** - Controle à realimentação.



**Fonte:** Adaptado de Alves (2010).



**Vídeo 01** - Introdução aos Problemas de Controle



**Vídeo 02** - Introdução aos Problemas de Controle pt.2

# Sistemas Controlados por Computador

---

Em muitos sistemas modernos, o controlador (ou compensador) é um computador digital. A vantagem da utilização de um computador é que muitas malhas podem ser controladas ou compensadas pela mesma máquina através do compartilhamento de tempo. Além disso, quaisquer ajustes dos parâmetros do compensador necessários para fornecer uma resposta desejada podem ser realizados através de alterações no programa em vez de mudanças no equipamento. O computador também pode realizar funções de supervisão, como agendar muitas aplicações necessárias. Vejamos quais objetivos principais da análise e do projeto de sistemas, na sequência.

## Objetivos Principais da Análise e do Projeto de Sistemas

---

- Produzir a resposta transitória desejada.
- Reduzir o erro em regime permanente.
- Alcançar a estabilidade.

A *análise* é o processo através do qual o desempenho de um sistema é determinado. Por exemplo, a resposta transitória e o erro em regime permanente são avaliados para determinar se eles atendem às especificações desejadas. O *projeto* é o processo pelo qual o desempenho de um sistema é criado ou alterado. Por exemplo, se a resposta transitória e o erro em regime permanente de um sistema forem analisados e descobrirmos que eles não atendem às especificações, então, mudamos os parâmetros ou adicionamos componentes para atender às especificações.

Um sistema de controle é *dinâmico*: ele responde a uma entrada apresentando uma resposta transitória antes de atingir uma resposta em regime permanente que, geralmente, se parece com a entrada.

- **Resposta Transitória**

A resposta transitória é importante. No caso de um elevador, uma resposta transitória lenta deixa os passageiros impacientes, enquanto uma resposta excessivamente rápida deixa-os desconfortáveis. Caso o elevador oscile em torno do andar desejado por mais de um segundo, pode-se ter uma sensação desconfortante. A resposta transitória também é importante por razões estruturais: uma resposta transitória muito rápida pode causar danos físicos permanentes.

É sempre comum estabelecermos definições quantitativas para a resposta transitória. Então analisamos o sistema e sua resposta transitória *existente*. Finalmente, ajustamos os parâmetros ou componentes de projeto para produzir uma resposta transitória *desejada*.

- **Resposta em Regime Permanente**

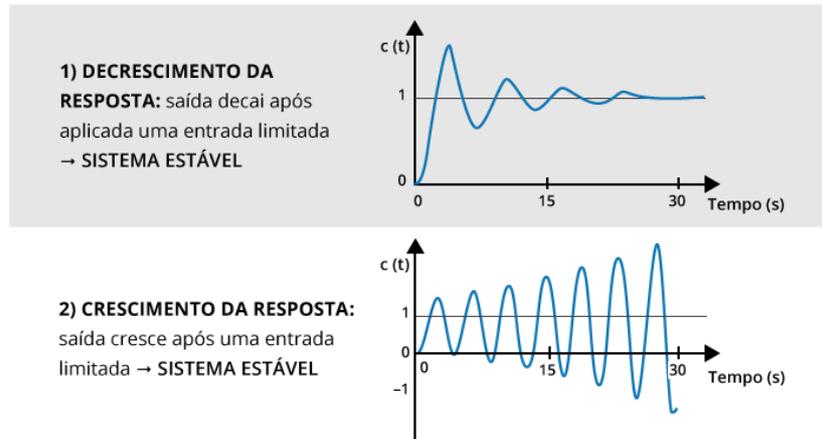
Essa resposta se assemelha à entrada, e é geralmente o que permanece depois que os transitórios tenham decaído a zero. Por exemplo, essa resposta pode ser um elevador parado próximo ao quarto andar. Nós estamos interessados na exatidão da resposta em regime permanente. Um elevador deve ficar suficientemente nivelado com o andar para que os passageiros possam sair. Definimos os erros em regime permanente quantitativamente, analisamos o erro em regime permanente de um sistema e, então, projetamos uma ação corretiva para reduzi-lo.

- **Estabilidade**

A discussão da resposta transitória e do erro em regime permanente é irrelevante se o sistema não tiver *estabilidade*. A *instabilidade* poderia levar à autodestruição do dispositivo físico, caso limitadores não façam parte do projeto. Por exemplo, o elevador poderia colidir com o piso ou sair pelo telhado. Um gráfico em função do tempo de um sistema instável mostraria uma resposta transitória que cresce sem limites e sem qualquer

evidência de uma resposta em regime permanente. A **Figura 6** mostra dois exemplos: para um sistema estável e instável, respectivamente.

**Figura 06 - (a) Estabilidade e (b) Instabilidade.**



**Fonte:** Adaptado de <http://slideplayer.com.br/slide/355971/> Acesso em: 23 dez. 2015.

Os sistemas de controle devem ser projetados para serem estáveis. Caso o sistema seja estável, as características adequadas de resposta transitória e erro em regime permanente podem ser projetadas.

Como pode ser visto na **Figura 6(b)**, um processo é instável se sua saída ficar cada vez maior. Num sistema real sempre haverá um limite para as oscilações porque existirá alguma restrição física, como uma válvula que ficará totalmente aberta ou fechada.

A maioria dos processos é estável em malha aberta, quando não existem controladores no sistema. Todos os processos reais podem ser transformados em instáveis em malha fechada, com controlador à realimentação. Dessa forma, a estabilidade constitui uma preocupação vital nos sistemas de controle baseados em realimentação.

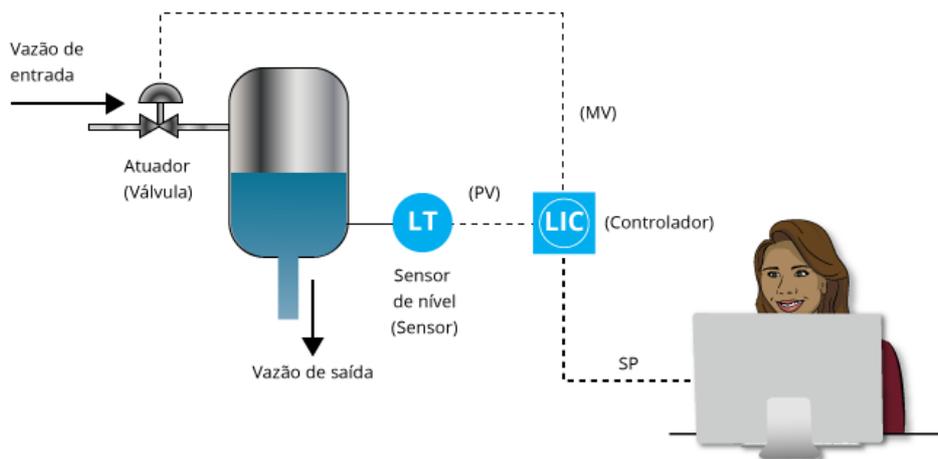
# Contextualização de um problema de controle

Os sistemas de controle são uma parte integrante da sociedade moderna. Inúmeras aplicações estão à nossa volta: envolta em jatos de água de resfriamento, uma peça metálica é usinada automaticamente; um veículo autônomo distribuindo materiais para estações de trabalho em uma oficina de montagem aeroespacial desliza ao longo do piso buscando seu destino.

Mas não somos os únicos criadores de sistemas controlados automaticamente; esses sistemas também existem na natureza. Nossos olhos seguem um objeto em movimento para mantê-lo no campo visual; nossas mãos seguram um objeto e o colocam precisamente em um local predeterminado.

Controlar sistemas de forma automática é um grande desafio para a Engenharia. Diversos equipamentos necessitam manter suas variáveis dentro de limites especificados. Como exemplo, podemos citar o controle da trajetória do braço de um robô que corta chapas de aço, o controle do piloto automático de uma aeronave, o controle da temperatura interna de um refrigerador, entre outros. Todo sistema de controle possui elementos em comum que visualizaremos no exemplo a seguir:

**Figura 07** - Sistema de controle de nível.



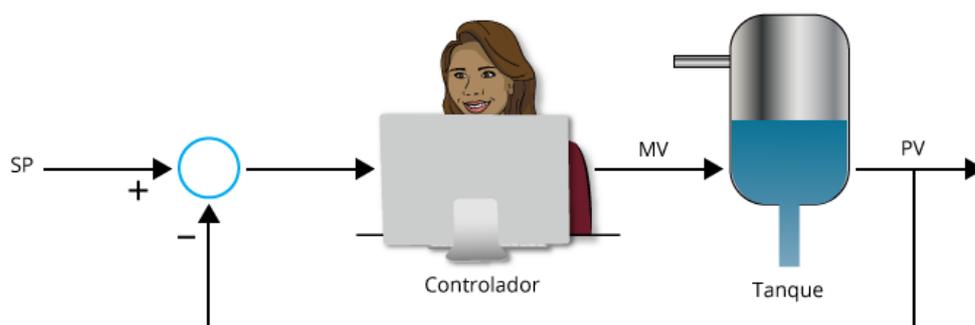
**Fonte:** Autoria Própria (2013).

No exemplo da **Figura 7**, temos um tanque que armazena um determinado líquido. O objetivo do problema, do ponto de vista da Engenharia de Controle, é manter o nível do líquido do tanque em um determinado valor predefinido. A entrada do fluido para esse tanque é regulada por uma válvula de controle que limita sua vazão, ou seja, a válvula pode estar totalmente fechada (vazão zero), totalmente aberta (vazão máxima) ou em algum outro ponto da sua excursão total (vazões intermediárias). O elemento válvula é chamado, em Engenharia de Controle, de **atuador**. O atuador é aquele elemento que pode modificar a variável que se deseja controlar (que no caso é o nível de líquido do tanque).

Na **Figura 7** também observamos um elemento chamado sensor de nível. **Sensores** são elementos que medem a variável que se deseja controlar. No caso em questão, precisa-se medir o valor do nível de líquido no tanque. Um terceiro elemento que observamos é o controlador, o qual recebe a informação do sensor com o nível do tanque. De acordo com o valor desejado do nível do tanque, definido por um operador humano, o controlador calcula quanto a válvula deve ser aberta para que o nível do tanque permaneça no valor preestabelecido. Ao sistema (o tanque) dá-se o nome de **planta** ou **processo**. A planta também pode ser denominada em muitos casos de **sistema dinâmico/físico**.

Definidos os elementos de um sistema de controle, precisamos definir os nomes das variáveis envolvidas no mesmo. A variável que se deseja controlar é denominada de **Variável de Processo** (*Process Variable*) ou **PV**. O valor de abertura da válvula calculado pelo controlador é a **Variável Manipulada**, (*Manipulated Variable*) ou **MV**. O valor desejado, ou valor preestabelecido, do nível do tanque é denominado de **Set Point** ou **SP**. O valor do SP é usualmente definido por um **operador** humano. A **Figura 8** irá ilustrar as variáveis e os elementos citados através de um diagrama de blocos.

**Figura 08** - Diagrama de blocos de um sistema de controle.



**Fonte:** Aatoria Própria (2013).

A partir da **Figura 8**, observamos as variáveis descritas no sistema. Observe que o controlador recebe como entrada uma variável dada pela diferença entre o **SP** e a **PV**. Essa variável é denominada **erro (desvio) de rastreamento**. O controlador calculará uma ação de controle **MV** de acordo com o erro de rastreamento.

## Identificação dos Instrumentos

Cada função programada ou instrumento deve ser identificado por um conjunto de letras que o classifica funcionalmente.

Exemplos:

**PIC** - controlador e indicador de pressão;

**TIC** - controlador e indicador de temperatura;

**LIC** - controlador e indicador de nível;

**PT** - transmissor de pressão;

**TT** - transmissor de temperatura;

**LT** - transmissor de nível;

**FQI** - totalizador e indicador de vazão;

**LSH** - chave de nível alto;

**LSLL** - chave de nível muito baixo;

**PSV** - válvula de segurança de pressão;

**PSHH** - chave de pressão muito alta;

**PSLL** - chave de pressão muito baixa;

**LSHH** - chave de nível muito alto;

**LV** - válvula de nível;

**PV** - válvula de pressão;

**PI** - indicador de pressão;

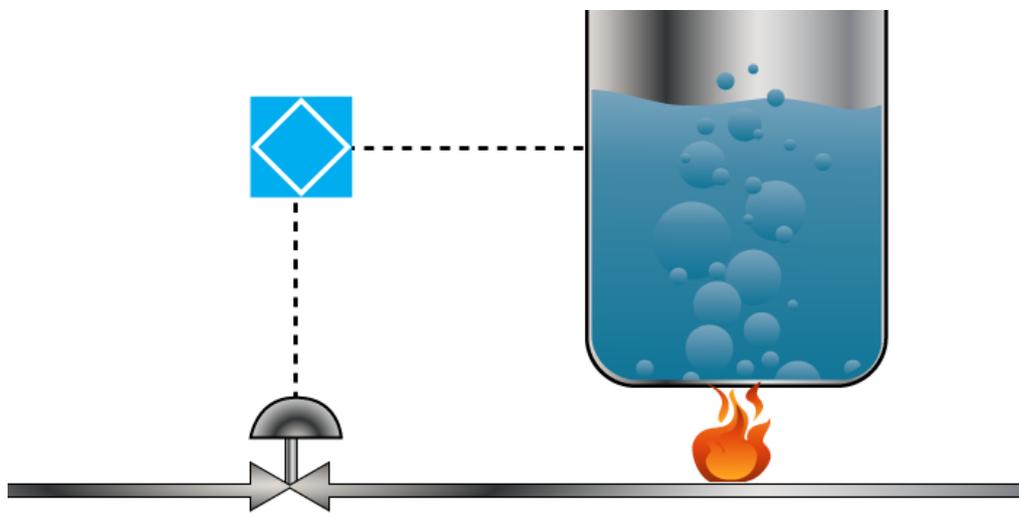
**LG** - visor de nível.

## Atividade 01

---

Considere o seguinte problema ilustrado pela figura a seguir.

**Figura 09** - Sistema de controle de temperatura.



**Fonte:** Autoria Própria (2013)

Na **Figura 9**, pretende-se manter a temperatura no interior de um reservatório constante. A chama que aquece o reservatório é maior ou menor de acordo com o aumento da vazão de líquido combustível na tubulação. A referida vazão é controlada por uma válvula.

Faça o que é solicitado com relação ao sistema em questão:

1. Identifique as variáveis PV, SP e MV.
2. Identifique os sensores/atuadores desse sistema.
3. Explique por qual razão é preferível, para manter a temperatura constante no interior do reservatório, utilizar um sistema em malha fechada.

# Os Dois Tipos de Controle Automático

---

O controle automático resolve dois tipos diferentes de problemas:

I. Controle com valor desejado fixo (Regulatório)

II. Controle com valor desejado variável (Servo)

No *controle do tipo I* pretende-se que a variável controlada tenha um valor constante apesar das perturbações externas sobre o sistema a que pertence. É o caso da maior parte dos controladores industriais.

No *controle do tipo II*, a variável controlada deve seguir um valor desejado que muda no tempo de acordo com ordens dadas.

O controle do *tipo II* é o caso geral dos servomecanismos (*servocontrole*).

De acordo com o tipo de problema, a metodologia de projeto será diferente.

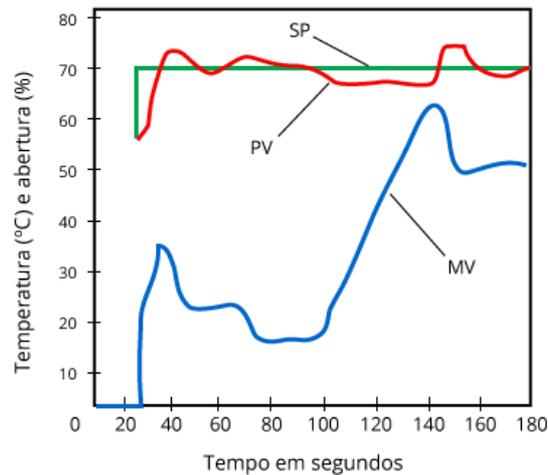


**Vídeo 03** - Introdução aos Problemas de Controle pt.3

## Problema Regulatório (Regulador)

Ao primeiro problema, chamaremos de problema **regulatório**. No controle regulatório, o valor da variável SP é fixo e se deseja manter o processo o mais próximo possível desse valor, mesmo na presença de perturbações. O objetivo principal desse tipo de problema é minimizar ou até mesmo, em alguns casos, rejeitar os efeitos das perturbações. Para ilustrarmos o problema regulador, vamos considerar o exemplo de sistema mostrado na Atividade 1. A **Figura 10** ilustra, através de gráficos, o comportamento das variáveis SP, PV e MV.

**Figura 10** - Comportamento das variáveis SP, PV e MV em um sistema regulatório.



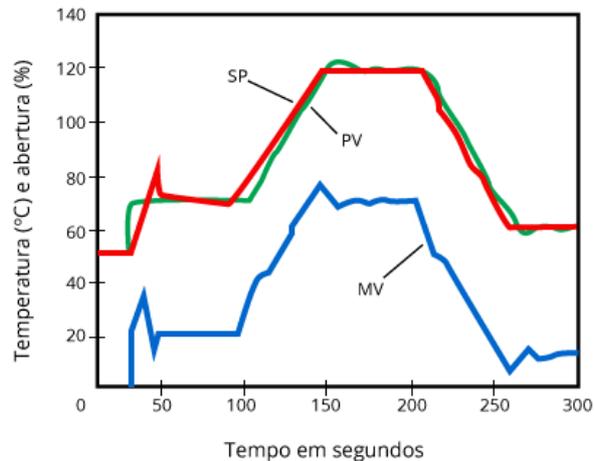
**Fonte:** Adaptado de Campos e Teixeira (2010).

Observamos, através da Figura 10, que o objetivo do controlador é manter a temperatura (PV) em 70o C. Observe que em, aproximadamente, 100 segundos, por algum motivo a temperatura (PV) se afastou do seu valor desejado (SP). Isso é o que chamamos de perturbação. O controlador então aumentou a abertura da válvula (MV) para que a temperatura (PV) também aumentasse, voltando a um valor próximo ao seu valor desejado (SP). Esse é o problema regulatório.

## Problema servo

O problema servo é aquele em que a variável de processo (PV) deve seguir uma determinada trajetória. Como exemplos são os processos em batelada no qual um reator com volume fixo é alimentado, e as temperaturas devem seguir uma trajetória no tempo (CAMPOS; TEIXEIRA, 2010). A Figura 11 ilustra o mesmo exemplo da Atividade 1 com o controlador atuando como problema servo.

**Figura 11** - Comportamento das variáveis SP, PV e MV em um servossistema.



**Fonte:** Adaptado de Campos e Teixeira (2010).

A partir da **Figura 11**, observamos que o controlador atua no sentido de fazer a temperatura (PV) seguir a trajetória de referência (SP). É importante ressaltar que o projeto do controlador será diferente para cada caso.

## Atividade 02

1. A seguir, citaremos alguns problemas de controle. Classifique-os como sendo um problema regulador ou um problema servo.
  - a. Um robô que corta automaticamente chapas de aço em um formato predeterminado.
  - b. Uma coluna de destilação que precisa manter a sua temperatura em um valor preestabelecido.

## Sistemas Multivariáveis

Até o momento comentamos apenas sobre sistemas monovariáveis, ou seja, quando se supõe que uma variável manipulada (MV) influencia apenas uma variável de processo (PV). Os sistemas monovariáveis também são conhecidos como sistema *Single-input, Single-output* (SISO). Na prática, a maioria dos sistemas industriais são multivariáveis, ou seja, possuem mais de uma entrada e mais de uma saída. Em

sistemas multivariáveis, a modificação de uma variável manipulada influencia mais de uma variável de processo e, uma variável de processo é influenciada por mais de uma variável manipulada. Esse efeito é chamado de acoplamento entre variáveis. Os sistemas multivariáveis também são conhecidos como sistemas *Multi-input, Multi-output (MIMO)*.

Devido à complexidade desses sistemas, na maioria dos casos práticos se desconsidera o acoplamento das variáveis na hora de projetar o controlador. Nesta disciplina, consideraremos apenas o caso SISO para efeitos de análise de sistemas dinâmicos, projeto de controladores e avaliação de controladores.

# Resumo

---

Nesta aula, estudamos o que são problemas de controle em um contexto industrial. Vimos quais variáveis são consideradas nesses tipos de problemas (PV, SP e MV) e quais elementos os compõem (sensor, atuador e controlador). Estudamos também que um sistema pode operar de forma manual ou de forma automática, sendo que é preferível que o mesmo opere sempre de forma automática. Aprendemos que, quando um sistema opera de forma automática, os efeitos de qualquer perturbação existente podem ser diminuídos. E, por fim, vimos os tipos de problemas encontrados na indústria sob o ponto de vista de sistemas de controle (problema servo e problema regulatório).

## Autoavaliação

---

1. Em relação aos sistemas de controle, os sensores são:
  - a. Dispositivos destinados a modificar o valor de uma variável de processo.
  - b. Dispositivos que medem o valor de uma variável de processo e informam esse valor ao controlador.
  - c. Dispositivos que procuram manter a variável de processo próximo a um valor preestabelecido.
  
2. Em relação aos sistemas de controle, os atuadores são:
  - a. Dispositivos destinados a modificar o valor de uma variável de processo.
  - b. Dispositivos que medem o valor de uma variável de processo e informam esse valor ao controlador.
  - c. Dispositivos que procuram manter a variável de processo próximo a um valor preestabelecido.

3. Em relação aos sistemas de controle, os controladores são:
  - a. Dispositivos destinados a modificar o valor de uma variável de processo.
  - b. Dispositivos que medem o valor de uma variável de processo e informam esse valor ao controlador.
  - c. Dispositivos que procuram manter a variável de processo próximo a um valor preestabelecido.
  
4. Em um sistema de controle é preferível que:
  - a. O mesmo fique em modo manual visto que, dessa forma, o operador tem a liberdade de manipulá-lo.
  - b. O mesmo fique em modo automático, visto que as perturbações são rejeitadas automaticamente.
  - c. O mesmo opere em qualquer modo, ficando essa decisão a critério do operador.
  
5. Um problema do tipo regulador é aquele em que:
  - a. O controlador não se preocupa em como a variável de processo se comporta.
  - b. O sistema de controle procura manter a variável de processo o mais perto possível em um determinado valor preestabelecido.
  - c. O sistema de controle faz com que a variável de processo siga uma determinada trajetória de referência.
  
6. Um problema do tipo servo é aquele em que:
  - a. O controlador não se preocupa em como a variável de processo se comporta.
  - b. O sistema de controle procura manter a variável de processo o mais perto possível em um determinado valor preestabelecido.
  - c. O sistema de controle faz com que a variável de processo siga uma determinada trajetória de referência.

# Referências

---

ALVES, José Luiz Loureiro. **Instrumentação, controle e automação de processos**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

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

NISE, Norman S. **Engenharia de sistemas de controle**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

OGATA, K. **Engenharia de controle moderno**. 2. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2010.

SANTOS, José J. Horta. **Automação industrial: uma introdução**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979.