



# Introdução ao Controle de Processos Industriais

## **Controle de Processos Industriais (CPI)**

Departamento de Engenharia de Controle e Automação  
Instituto de Ciência e Tecnologia – UNESP – Campus Sorocaba

**Prof. Dr. Dhiego Fernandes Carvalho**

dhiego.fernandes@unesp.br

# Objetivos

---

- Explicar a evolução dos Controles de Processo durante as fases da revolução industrial.
- Ensinar o que é um Controle de Processo, as suas categorias e seus tipos.
- Identificar os Elementos de Controle de Processos.
- Explicar a Terminologia de Controles de Processo.
- Explicar o que é um Controle de Malha aberta e fechada.

# Índice

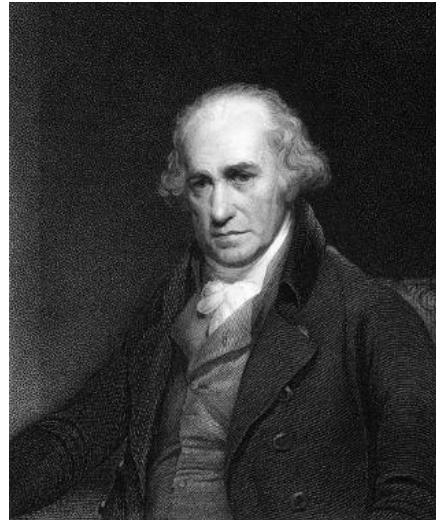
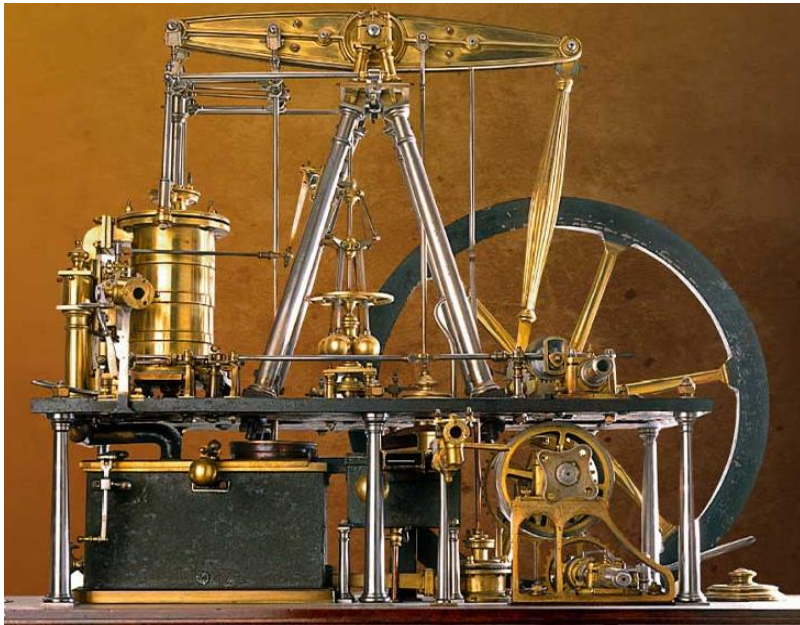
---

- História do Controle de Processos Industriais
- Controle de Processos
  - Categorias
  - Elementos
  - Terminologia
  - Tipos
  - Malha Aberta
  - Malha Fechada
- Conclusões

# História do Controle de Processos Industriais

## Primeira Revolução Industrial (meados para o final do Século XVIII)

1769: James Watt inventou a máquina a vapor, um marco na Revolução Industrial.



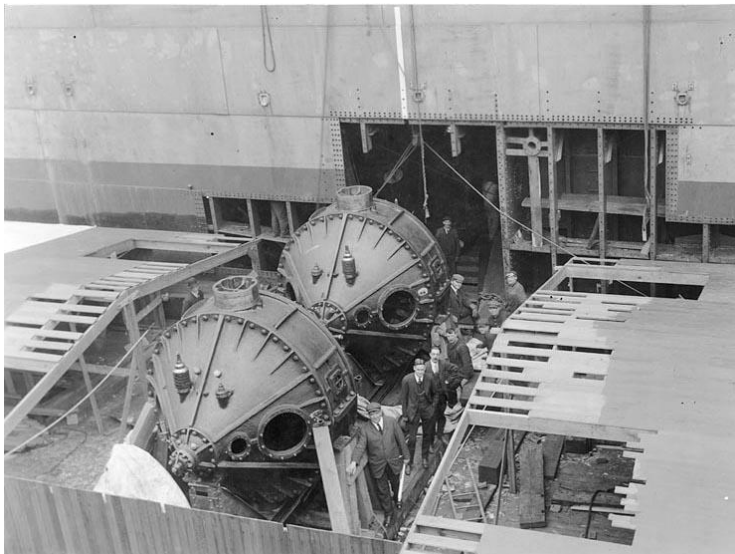
1788: James Watt desenvolveu o regulador centrífugo para controlar a velocidade do motor a vapor. Precursor dos controladores PID.



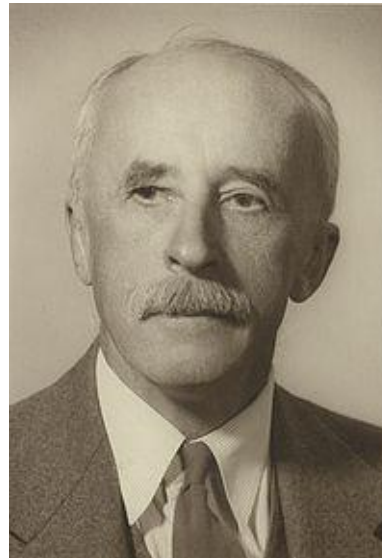
# Segunda Revolução Industrial

## (final do século XIX e início do século XX)

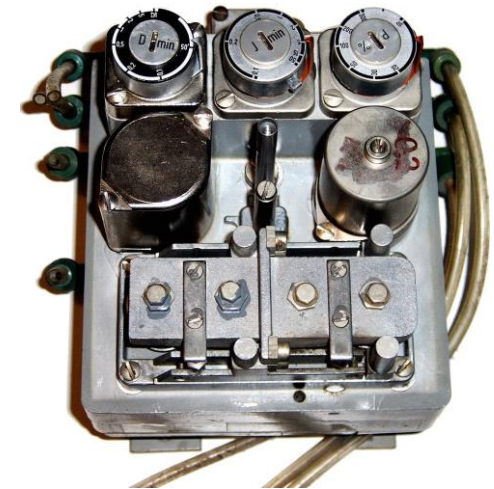
1911: Primeiro controlador PID real criado por Elmer Sperry para controle de direção de navios (não matemático).



1922: o engenheiro Nicolas Minorsky publicou a primeira análise teórica do controle de PID.



1940: a TIC desenvolve o primeiro controlador pneumático usando a ação derivativa (controlador PID).



1942: Ziegler e Nichols introduzem regras de ajustes dos controladores PID.

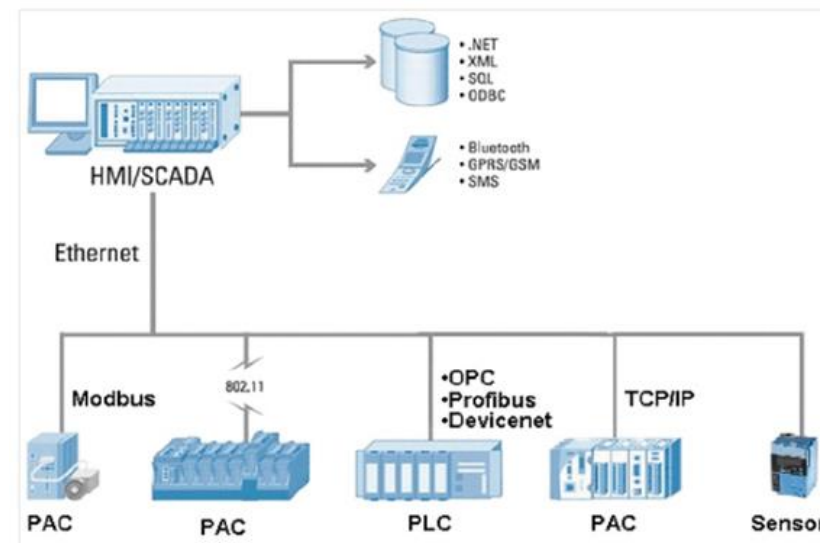


# Terceira Revolução Industrial (pós segunda guerra)

**Década de 1970:** surgimento dos microprocessadores, possibilitando a criação de controladores digitais (CLPs).

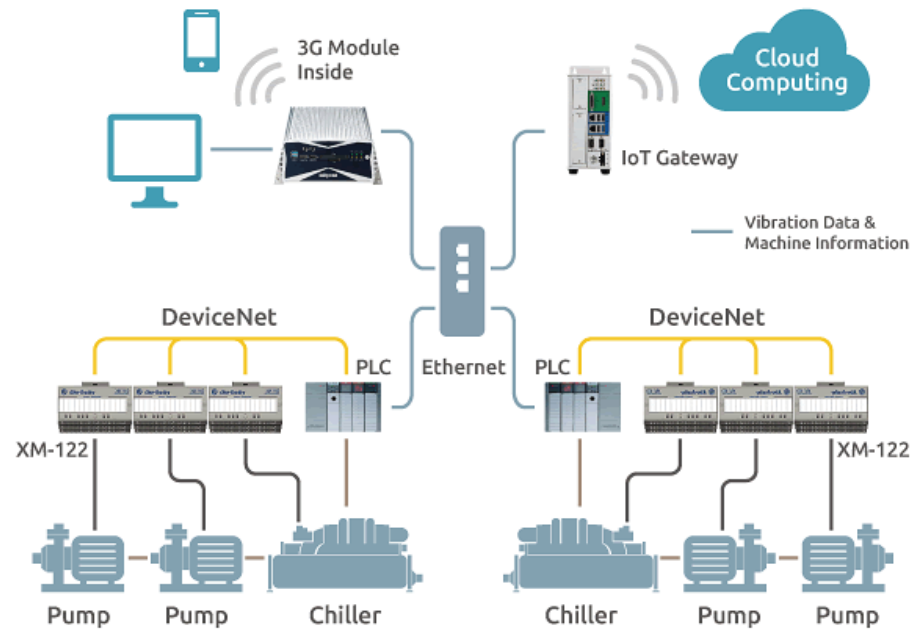


**Década de 1980 em diante:** avanço dos microprocessadores, assim como das redes de comunicação, permitindo a integração e monitoramento remoto de sistemas de controle.

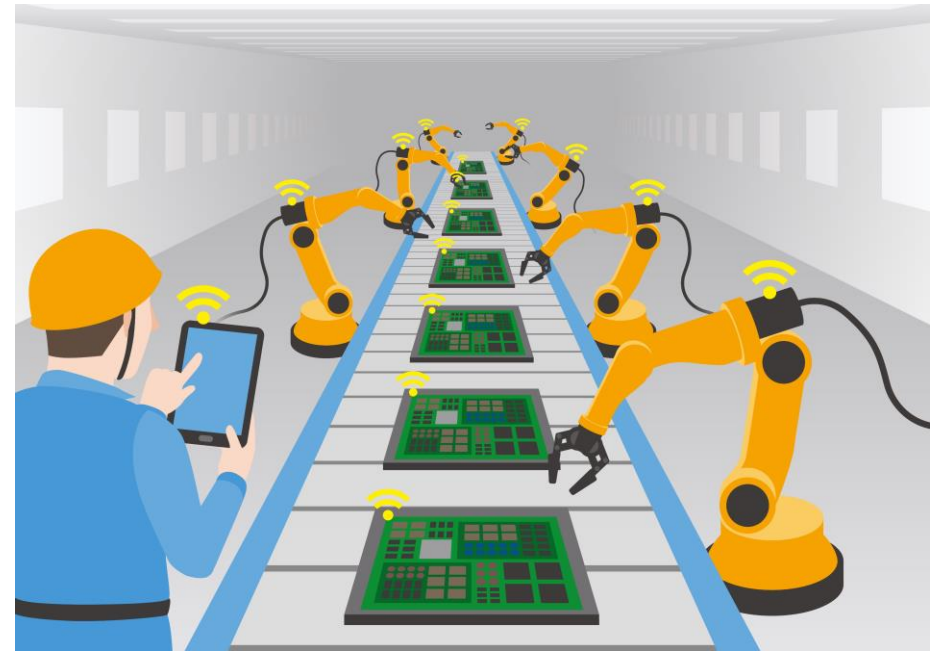


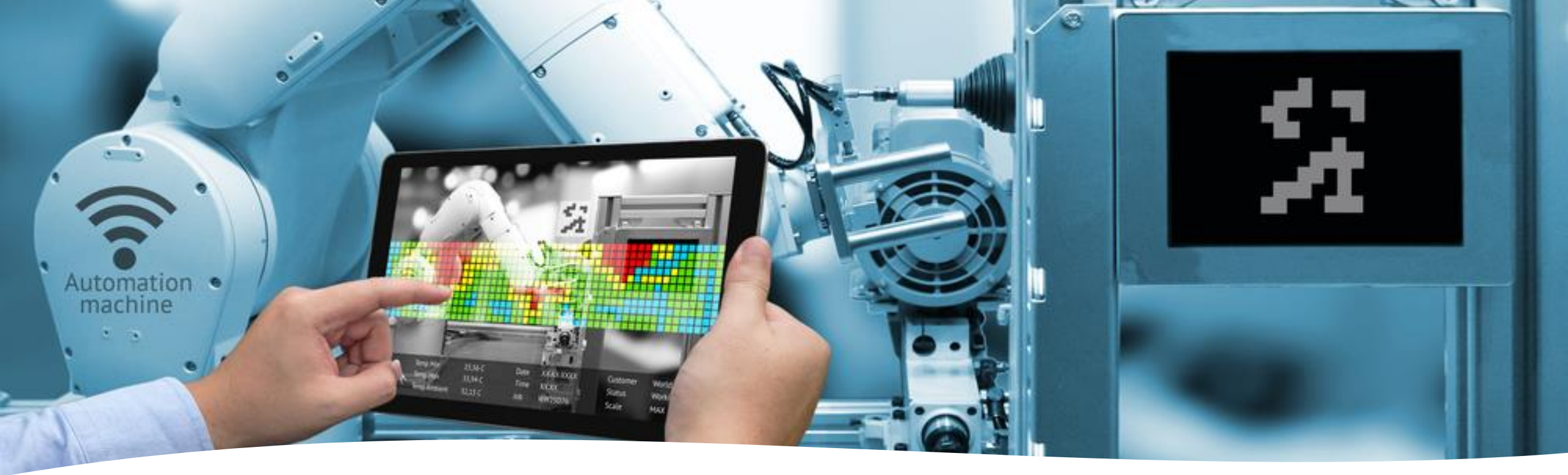
# Quarta Revolução Industrial (pós 2010)

**Internet das Coisas (IoT) e Computação em nuvem:** os controladores industriais estão cada vez mais conectados a redes industriais, permitindo a integração com outros sistemas e dispositivos remotamente.



**Inteligência Artificial:** A combinação de IA, CLPs, IoT e Computação em Nuvem permite aprimorar o controle de processos industriais, melhorar a eficiência e otimizar o desempenho dos sistemas de controle.





# Controle de Processos

Um controle de processos é um conjunto de componentes interconectados que trabalham para gerenciar e regular o comportamento de um sistema dinâmico.

O objetivo do controle de processos é manter as variáveis controladas dentro de um setpoint e responder a mudanças nas variáveis de entrada.



# Controle de Processos

---

- Os Controles de Processos são amplamente utilizados em diversas áreas, como:
  - Automação industrial;
  - Robótica;
  - Sistemas de energia;
  - Sistemas de transporte;
  - Etc;





# Categorias de Controle de Processo

**Processos Contínuos:** são processos em que as variáveis físicas, como temperatura, pressão, vazão, etc, variam continuamente ao longo do tempo. Por ex: comuns em indústrias como química, petroquímica, refinarias, siderúrgicas, entre outras.



Indústria de Petróleo

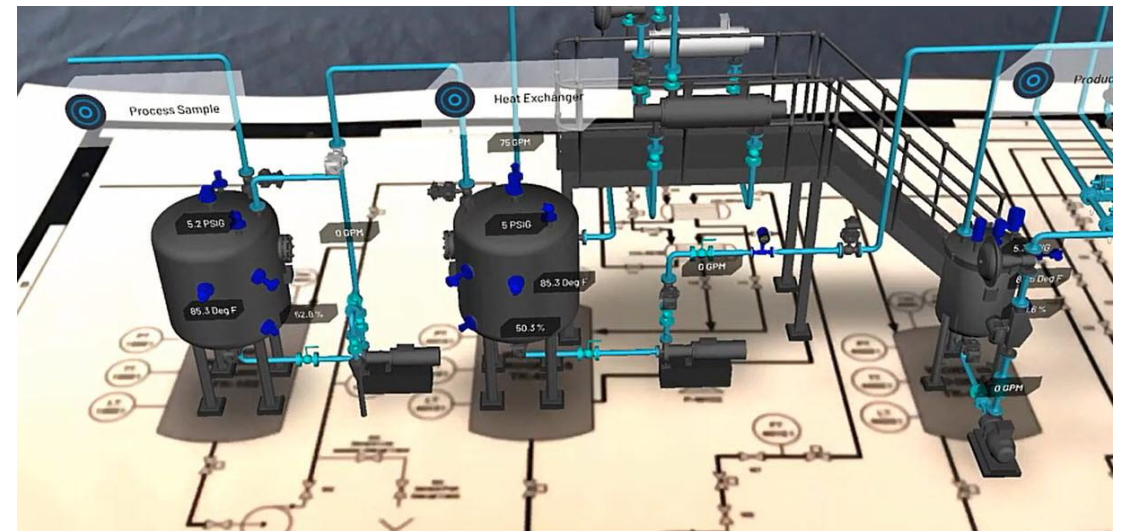
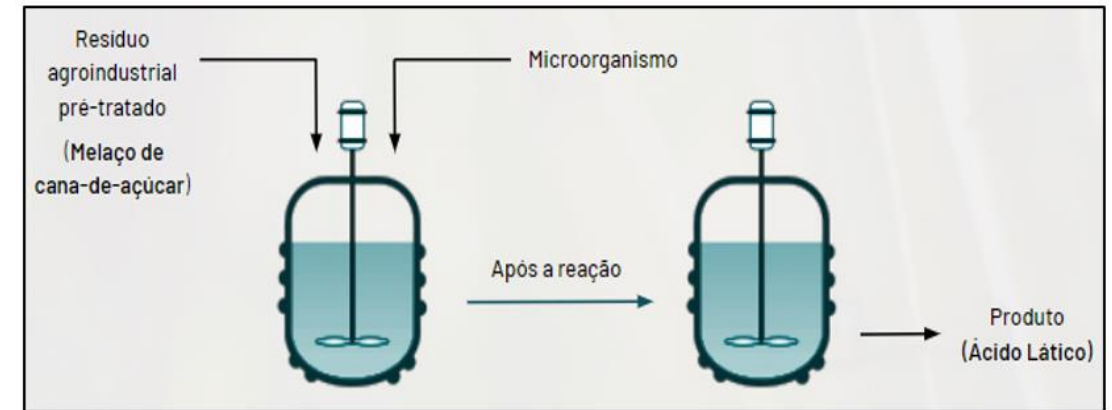
**Processos Discretos:** São processos em que as variáveis físicas mudam em etapas discretas, em vez de variarem continuamente. Por exemplo: a montagem automatizada de peças.



Linha de Montagem customizada de carros

# Processos Batch (batelada)

- São processos em que as operações ocorrem em lotes ou grupos de produtos.
- Os processos batch envolvem a produção de uma quantidade específica de produto em um determinado período, seguido de uma parada para limpeza, troca de produto ou ajustes.



Esses processos são comuns em indústrias farmacêuticas, alimentícias e químicas especiais.

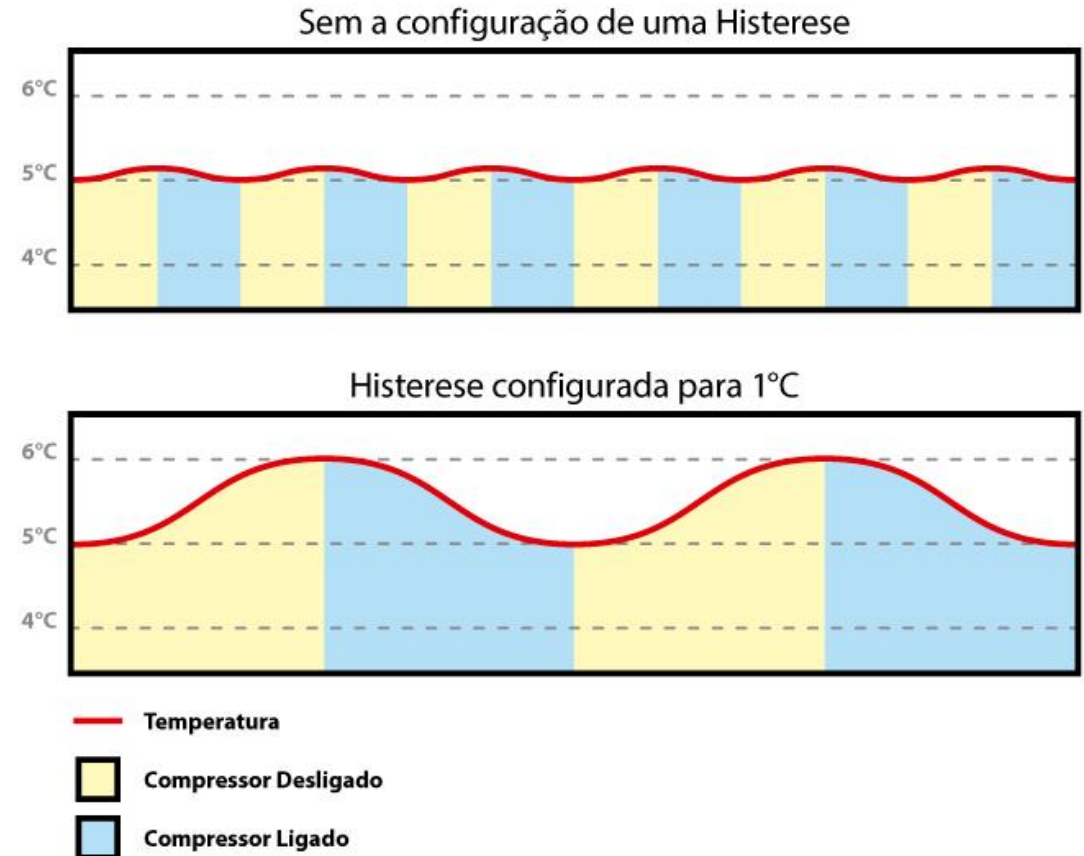
## Tipos de Controle de Processos

- **Controle On/Off:** é o tipo mais simples de controle em que um dispositivo é ligado ou desligado quando a variável controlada atinge um limite de referência.



# Controle ON/OFF

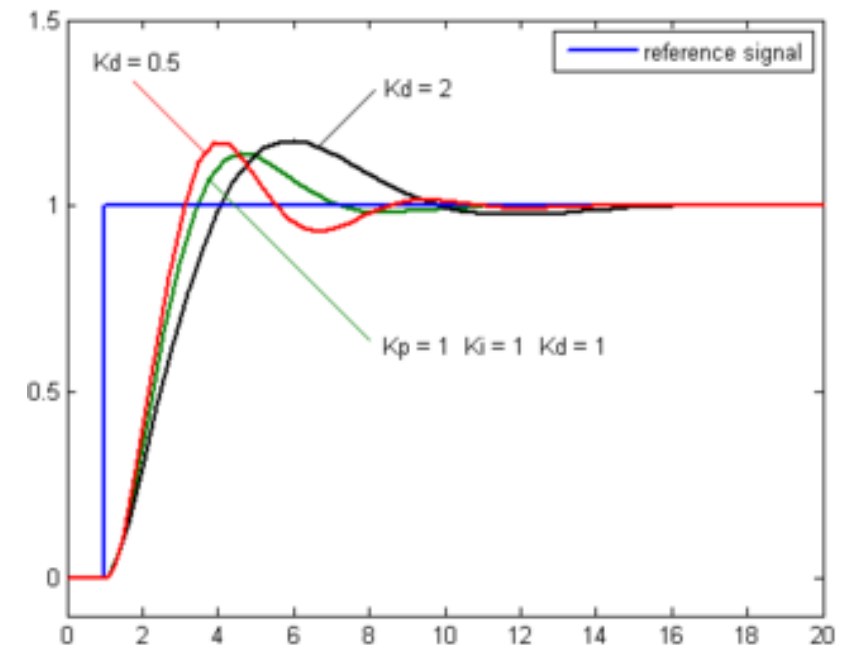
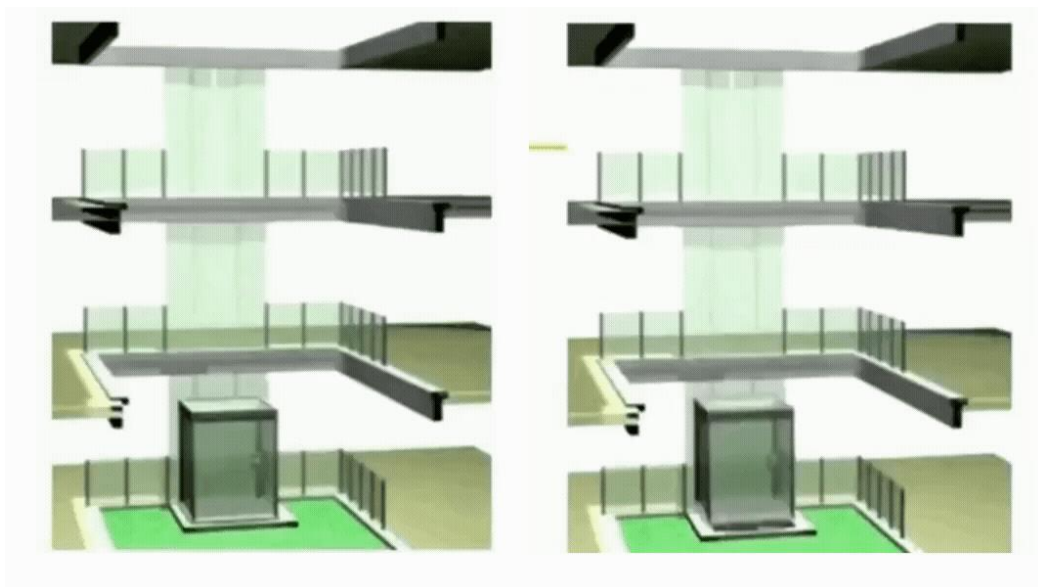
- Muitos desses controles quando ligados em malha fechada precisam de histerese, se não, o circuito pode queimar.
- No exemplo ao lado caso a histerese seja configurada para 1°C o compressor será acionado e permanecerá ligado até que a temperatura atinja 5°C (SetPoint).
- Em seguida, o compressor será desativado e só voltará a ligar quando a temperatura atingir 6°C (SetPoint + histerese).





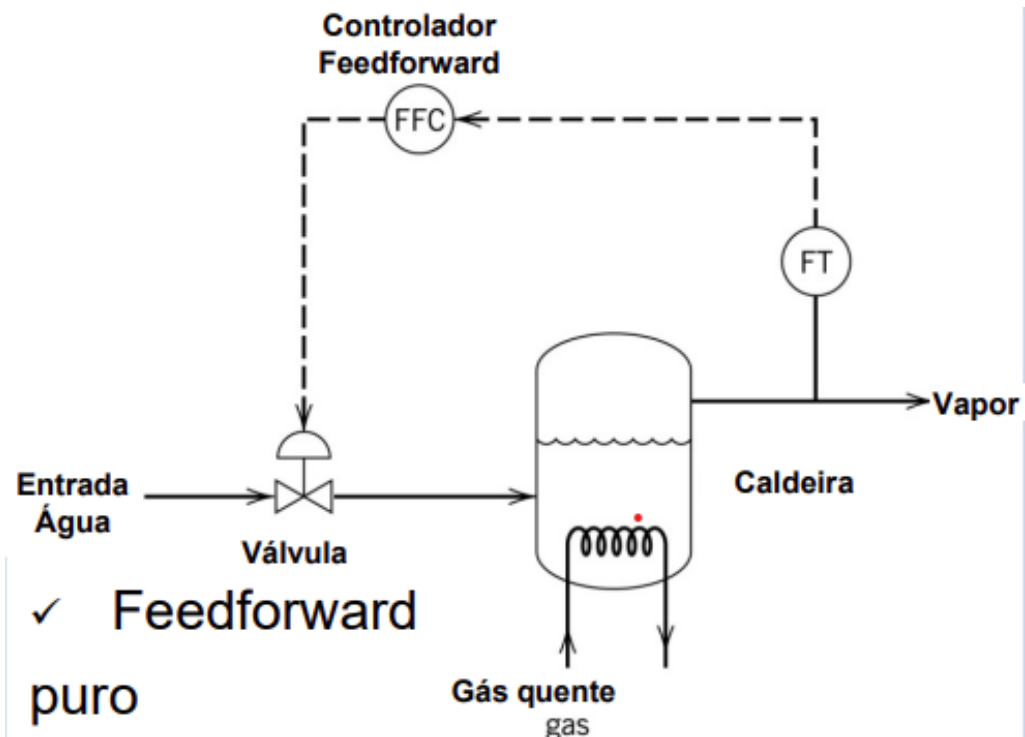
# Controle PID

- Utiliza um controlador que inclui ações proporcional, integral e derivativa (PID). Ele ajusta a ação de controle com base no erro atual para fornecer um controle mais preciso e estável.

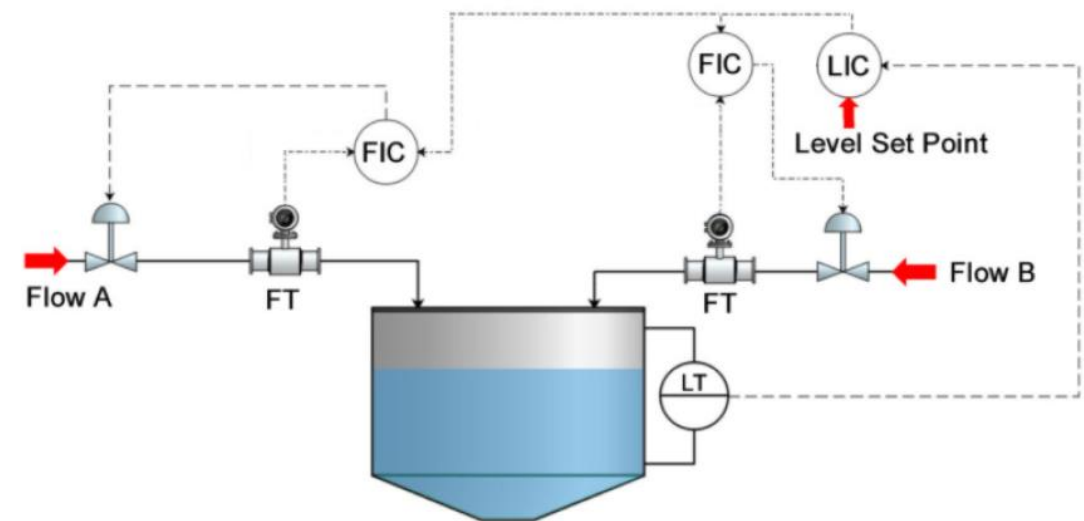


# Controle Avançado

- Inclui técnicas de controle mais complexas e avançadas, como feedforward, cascata, controle adaptativo, controle por modelo interno, controle seletivo, entre outros.

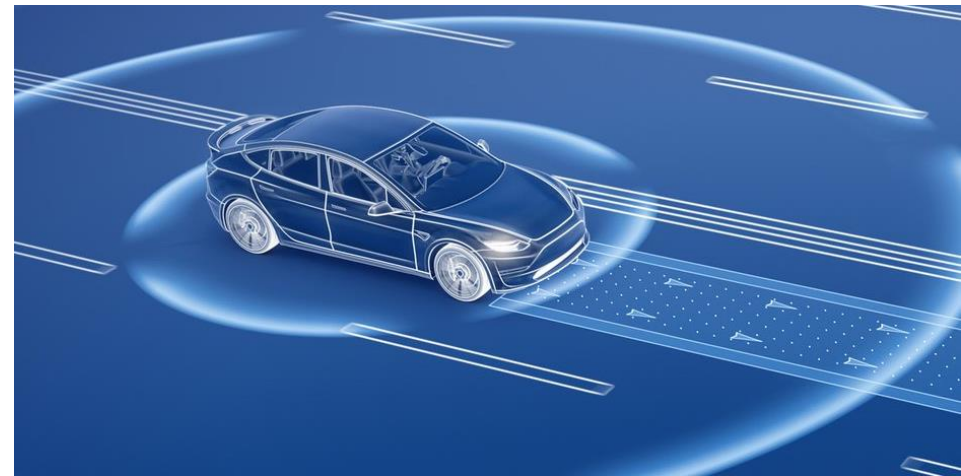


## CONTROLE CASCATA



# Controle Baseado em IA

- Utiliza algoritmos de aprendizado de máquina, redes neurais, lógica fuzzy e outras técnicas de IA para criar sistemas de controle que podem aprender e se adaptar às mudanças nas condições de processo.
- Os controladores baseados em IA podem evoluir e melhorar seu desempenho com o tempo, aprendendo a partir dos dados do processo.



# Elementos de Controle de Processos

- **Controlador:** recebe as informações das variáveis de entrada e toma decisões sobre o sinal de controle a ser enviado para o sistema para atingir o setpoint.
- **Sistema ou processo controlado:** é o sistema físico ou processo que está sujeito ao controle.
- **Atuadores:** são os dispositivos que convertem o sinal de controle gerado pelo controlador em ações físicas.
- **Sensores:** são os dispositivos que medem as variáveis do sistema e fornecem informações de feedback ao controlador.

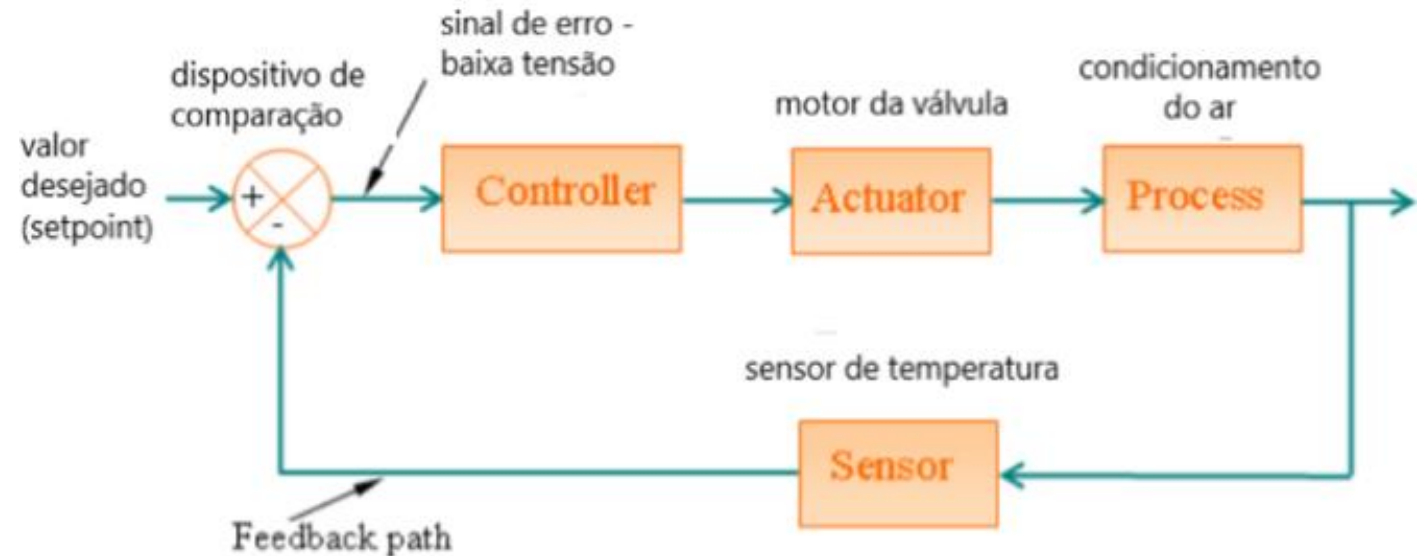
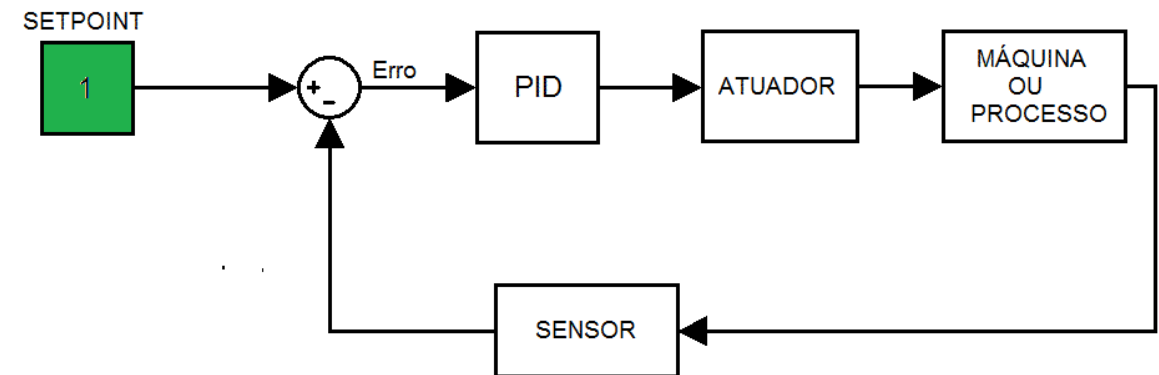
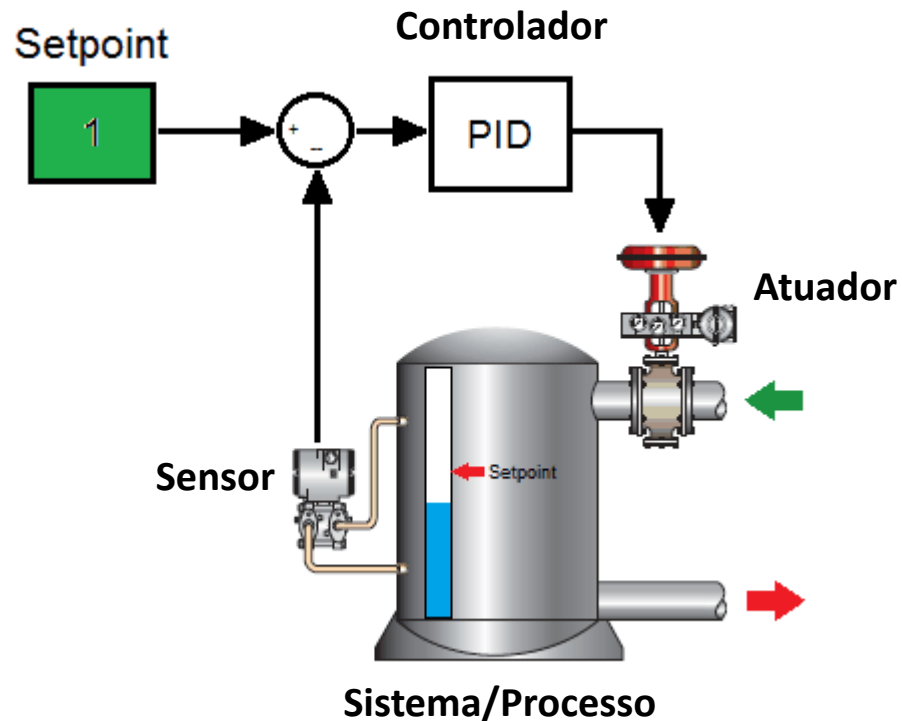


Diagrama básico de um sistema de controle

# Elementos de um Controle de Processos

- **Controlador:** pode ser baseado em regras, modelos matemáticos, algoritmos de aprendizado de máquina ou outros métodos. Normalmente na indústria é um CLP.
- **Sistema ou Processo:** Pode ser um equipamento industrial, um sistema mecânico, um processo químico, um sistema de energia, entre outros.
- **Sensores:** podem ser termômetros, medidores de pressão, encoders, entre outros.
- **Atuadores:** podem ser válvulas, motores, relés, entre outros.





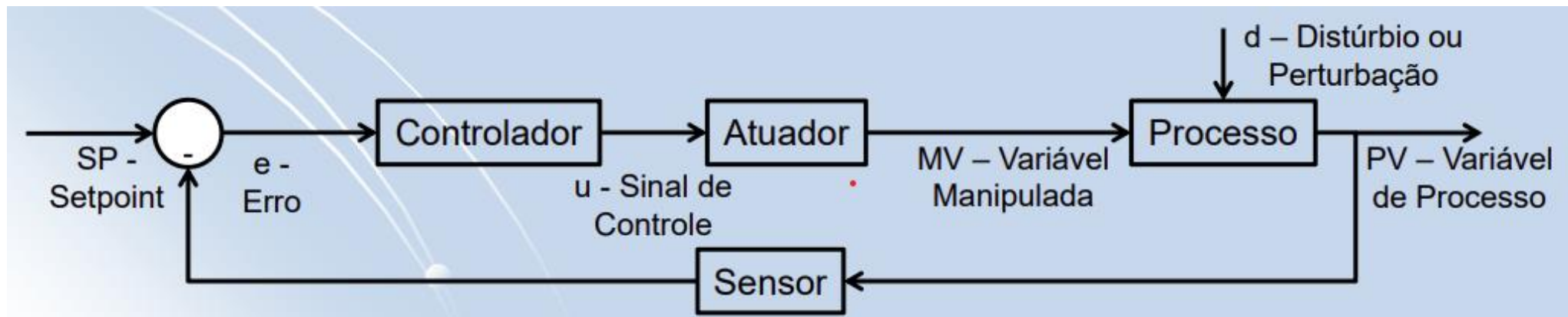
# Terminologia de Controle de Processos

**Variável controlada:** É a grandeza física do processo que está sendo controlada e mantida dentro de uma faixa desejada. Por ex: temperatura, pressão, nível, vazão, pH, entre outros.

**Variável manipulada:** É a variável que o controlador ajusta para influenciar a variável controlada. Pode ser uma taxa de fluxo, posição de uma válvula, potência aplicada, entre outros.

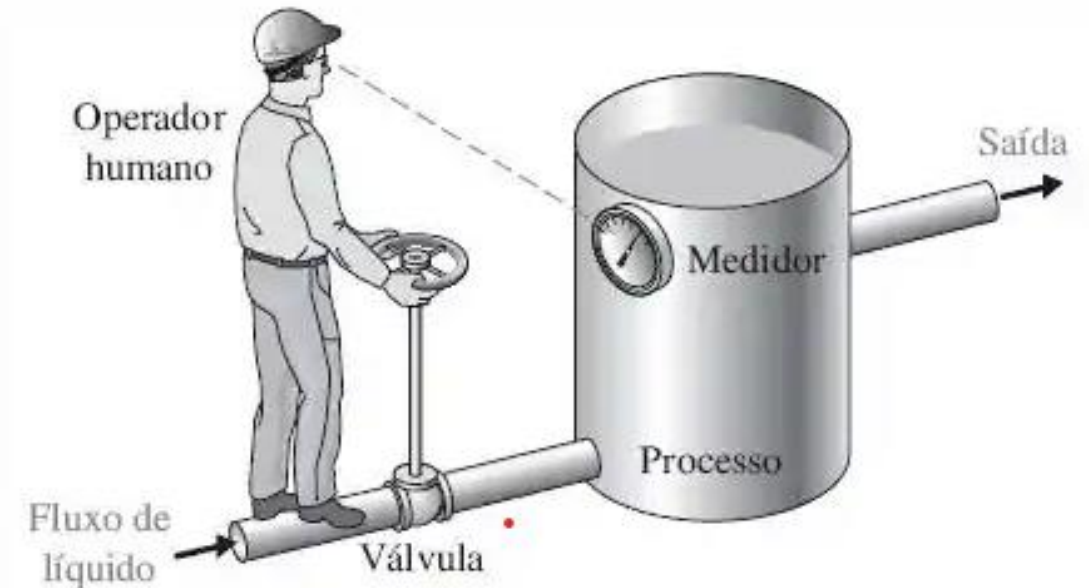
**Setpoint:** É o valor desejado ou objetivo da variável controlada. O controlador busca manter a variável controlada o mais próximo possível do setpoint.

**Erro:** É a diferença entre o valor atual da variável controlada e o setpoint. O controlador usa essa informação para tomar decisões e ajustar a ação de controle.



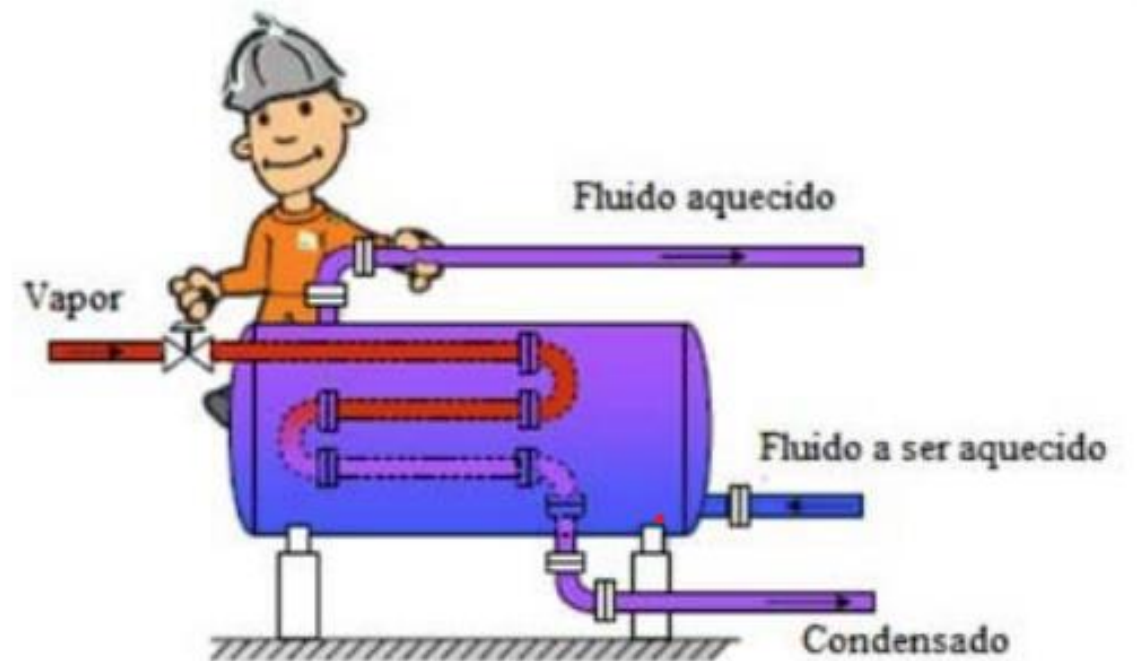
# Controle de Processos em Malha Aberta

- Saída do sistema não é comparada com a variável desejada ou de referência.
- Nesse tipo de controle, o sinal de controle é definido de antemão, sem considerar o estado atual do sistema ou quaisquer perturbações que possam ocorrer.
- A ação de controle é realizada com base em um modelo predefinido ou em valores fixos.
- Controle usado quando não há perturbações no sistema.
- São simples e baratos.



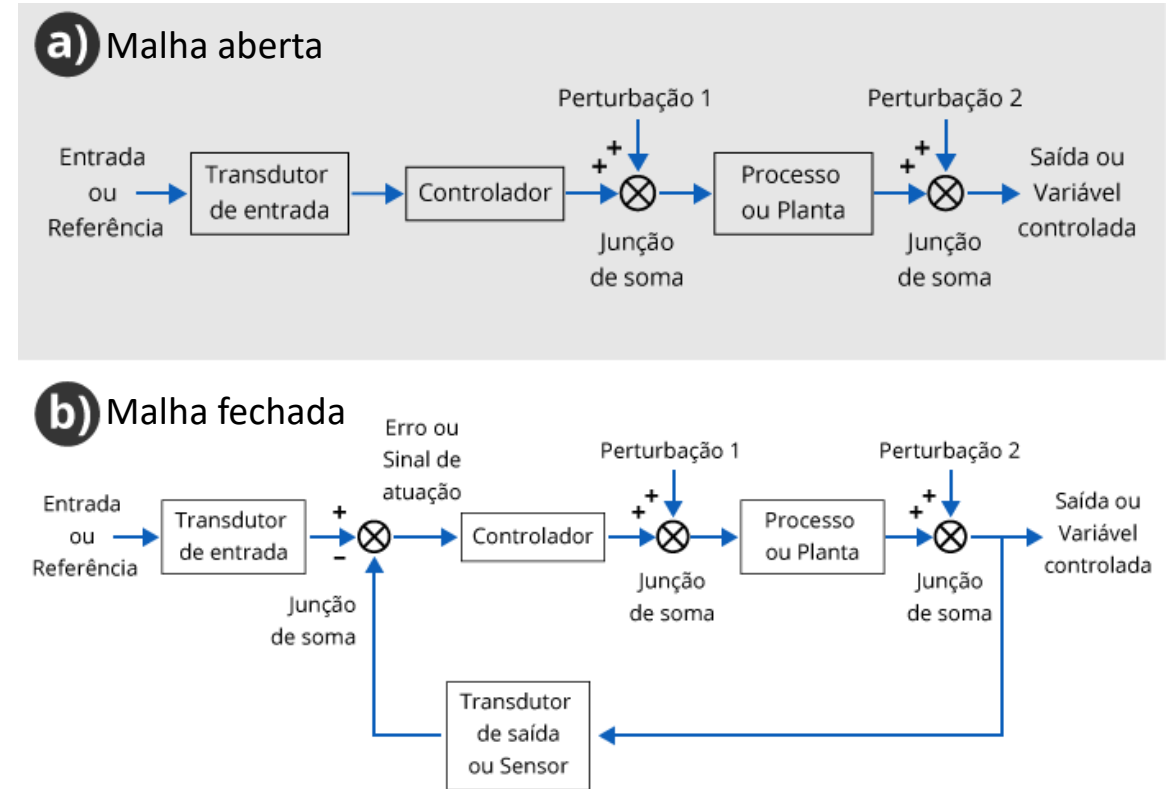
# Controle de Processos em Malha Aberta

- Controladores manuais e alguns controladores on/off são em malha aberta.



# Controle de Processos em Malha Fechada

- A saída do sistema é constantemente monitorada e comparada com a variável desejada ou de referência.
- O erro é utilizado para ajustar o sinal de controle e corrigir qualquer desvio.
- É usado um sistema de realimentação (feedback) para ajustar continuamente a saída do sistema.
- Sensores ou instrumentos de medição são usados para obter informações sobre o estado do processo.

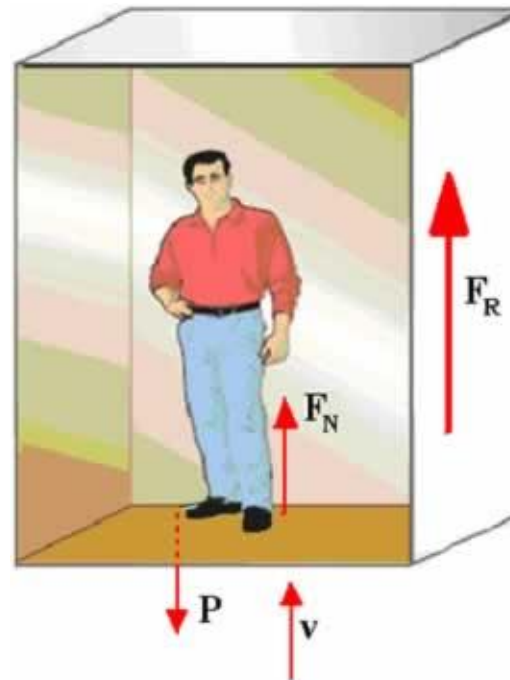


# Controle de Processos em Malha Fechada

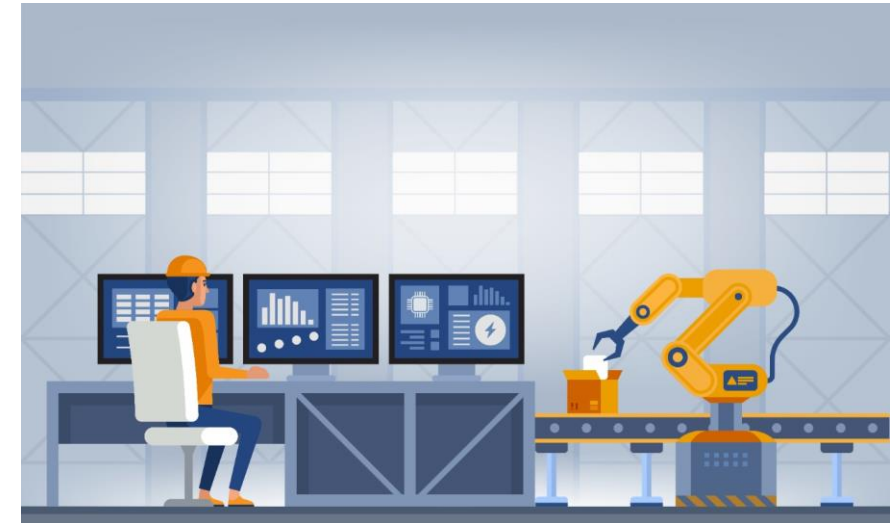
A maioria dos sistemas de controle são em malha fechada.



Ar condicionado usa controlador on/off em malha fechada



Elevadores usam controladores PID



Equipamentos de uma fábrica usam controladores avançados



# Conclusões

---

- Nesta aula foi ensinado a história dos controladores na história da revolução industrial.
- Foi ensinado o que é o controle de processos, as suas categorias, os seus tipos, a sua terminologia e os seus componentes.
- Foi explicado o que é controle de processo em malha aberta e fechada.
- Desta forma, o aluno tem o conhecimento para entender como e onde atuam os controladores no seu dia-a-dia, inclusive em uma planta industrial.

# DÚVIDAS?

---

# Exercícios

---

- Escolha um ou mais sistemas de controle do seu dia-a-dia que existam na universidade, em casa, no trabalho, no estágio, etc.
- Escolhendo o sistema de controle, qual é o seu tipo e seus elementos?
- Identificando seu tipo e elementos, o que você faria para melhorar esse sistema de controle?