

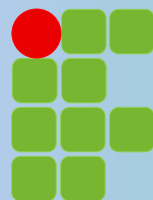


**DEPARTAMENTO DE ELETROELETRÔNICA
ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO**

Controle de Sistemas Contínuos I

Prof. Walterley A. Moura

contato: walterley.moura@cba.ifmt.edu.br

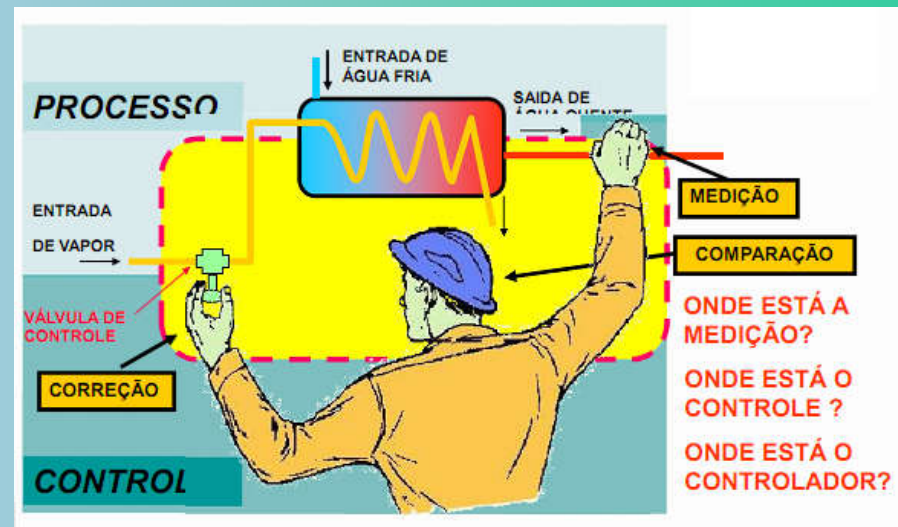
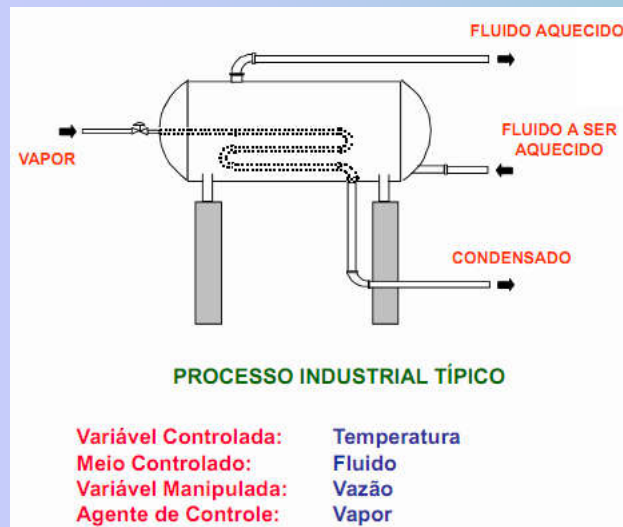


INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA
MATO GROSSO
CAMPUS CUIABÁ - OCTAYDE JORGE DA SILVA

Introdução aos Sistema de Controle

1 - Conceito de sistema de controle

É uma coleção de componentes funcionando simultaneamente sob o comando de alguma máquina inteligente.



Circuito eletrônico

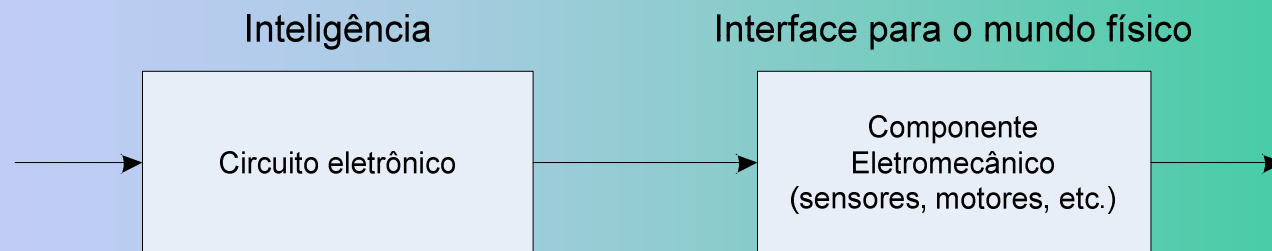


Fornece a inteligência

Componente eletromecânico



*Fornece a interface
para o mundo físico*



Exemplo de um sistema de controle moderno

- ❖ *Um bom exemplo é o automóvel moderno vários sensores equipam o computador de bordo com informações sobre as condições do motor;*
- ❖ *O Computador calcula a quantidade correta de combustível para ser injetado no motor e ajusta o momento da ignição;*
- ❖ *As peças mecânicas do sistema incluem o motor, a transmissão, as rodas, etc.*

2 – Classificação dos sistemas de controle (quanto ao tipo)

1) Sistema regulador (*regulator system*): mantém automaticamente um parâmetro (ou próximo) de um valor especificado.

Ex.: *sistema de aquecimento e refrigeração doméstica que mantém a temperatura apesar das mudanças da temperatura externa.*

2) Sistema seguidor (*follow-up system*): induz uma saída para seguir um caminho pré especificado.

Ex.: *Robô industrial movimentando peças de um lugar para outro.*

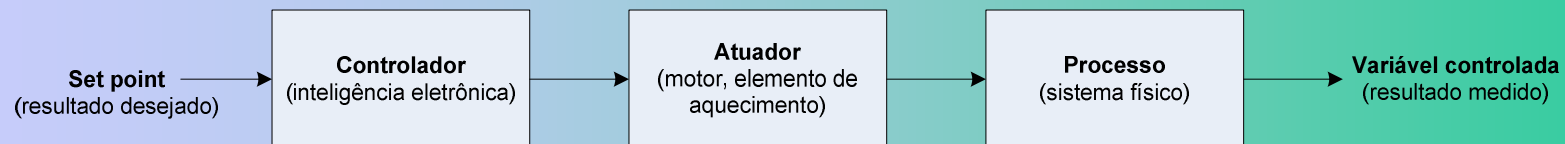
3) Sistema de controle de eventos (*event control system*):
controla uma sequência de eventos

Ex.: *máquina de lavar cíclica através de uma série passos programados.*

3 – Diagrama de blocos de um sistema de controle

Todo sistema de controle existe, pelo menos:

- **controlador,**
- **atuador**
- **processo**

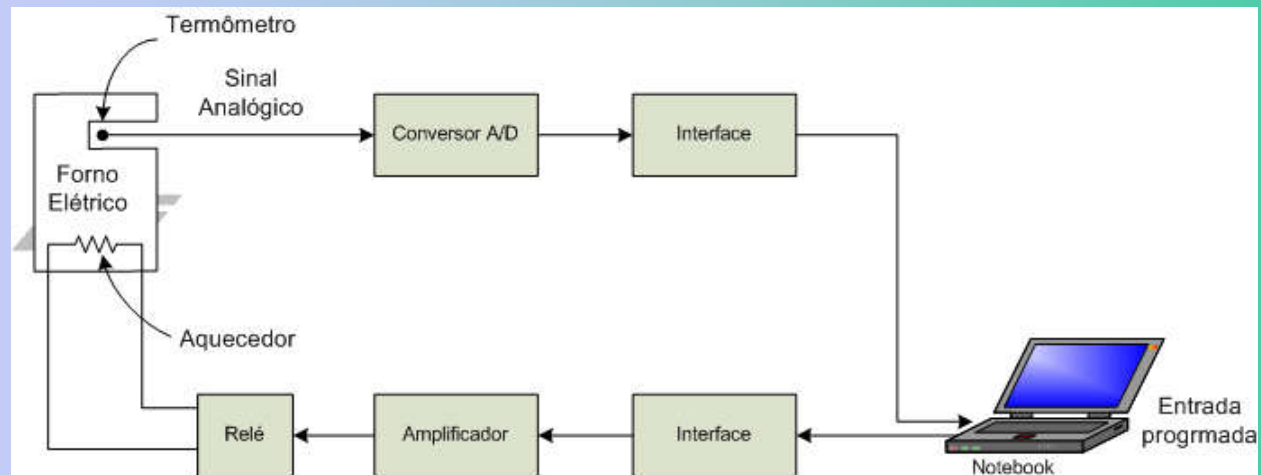


- **Controlador:** é a inteligência do sistema e usualmente é um circuito eletrônico.
- **Set Point (Valor desejado):** representa a saída desejada do sistema.
- **Atuador:** é um dispositivo eletromecânico que captura o sinal do controlador e converte em algum tipo de ação física.
Exemplo: motor elétrico, válvula controlada eletricamente, elemento de aquecimento, entre outros.
- **Processo:** representa um processo físico sendo influenciado pelo atuador.
- **Variável controlada:** é o resultado medido do processo.

Exemplos:

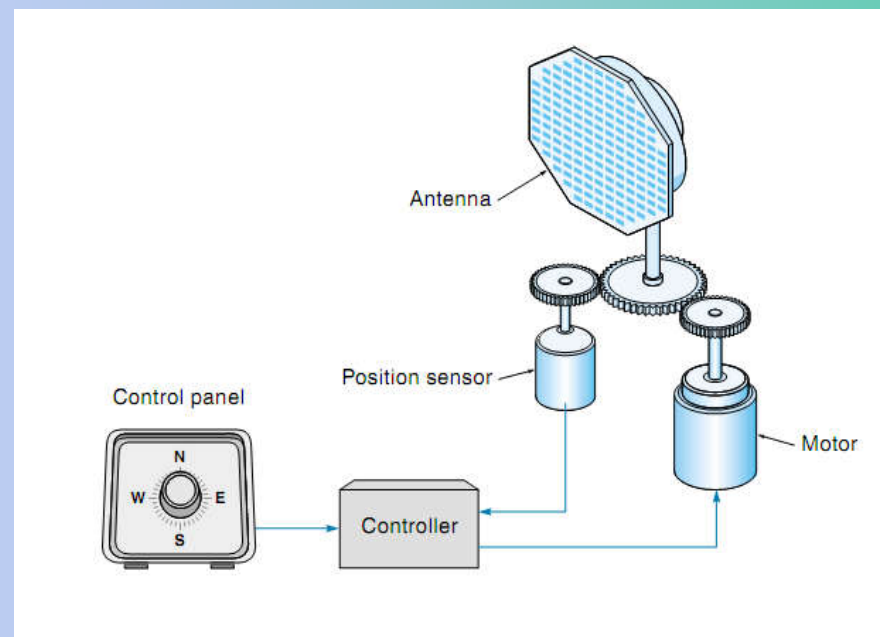
a) Forno elétrico

Se o **atuador** é um elemento elétrico de aquecimento de um forno, então o **processo** é o “aquecimento do forno” e a **variável controlada** é a “temperatura do forno”.



b) Antena

Se o **atuador** é um motor elétrico que gira uma antena, então o **processo** é a “rotação da antena” e a **variável controlada** é a “posição angular da antena”.



c) Automóvel

- Entrada: Velocidade desejada
- Processo: Deslocamento do Automóvel
- Sensor: Olhos do motorista
- Controlador: Cérebro do motorista
- Variável Controlada: Velocidade
- Atuador: Motor do automóvel

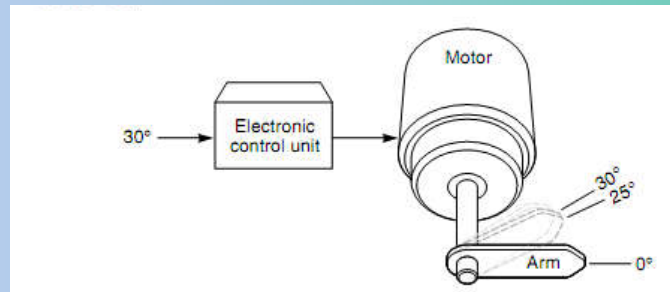
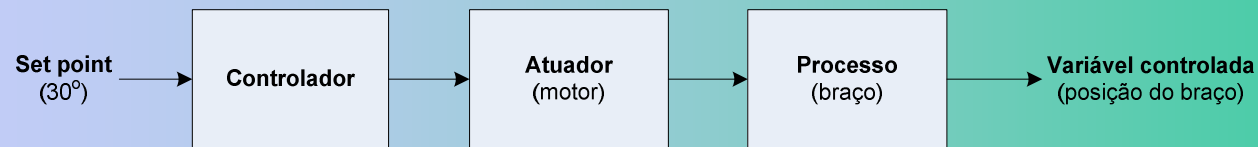
2.2 – Tipos de malhas de controle

a) *Malha Aberta:*

O controle em malha aberta consiste em aplicar um sinal pré-determinado na entrada do sistema, esperando-se que ao final de um determinado tempo a variável de saída atinja um determinado valor ou apresente um determinado comportamento. Portanto, o que caracteriza este tipo de malha é o fato de não haver realimentação do sistema. O sistema não recebe a informação de retorno para saber se a saída atou como desejado.

Exemplo:

Deseja-se manter a velocidade constante de 80 km/h de um automóvel sem velocímetro. O motorista estima então com qual pressão ele deve pisar no acelerador e mantém o acelerador com esta pressão.



Em um sistema *malha aberta*, o *controlador* calcula independentemente a exata tensão ou corrente necessária para o atuador realizar o *tarefa* e envia (tensão ou corrente). Dessa maneira, o *controlador* nunca sabe se o *atuador* fez o que ele supôs, por que não existe *feedback* (realimentação).

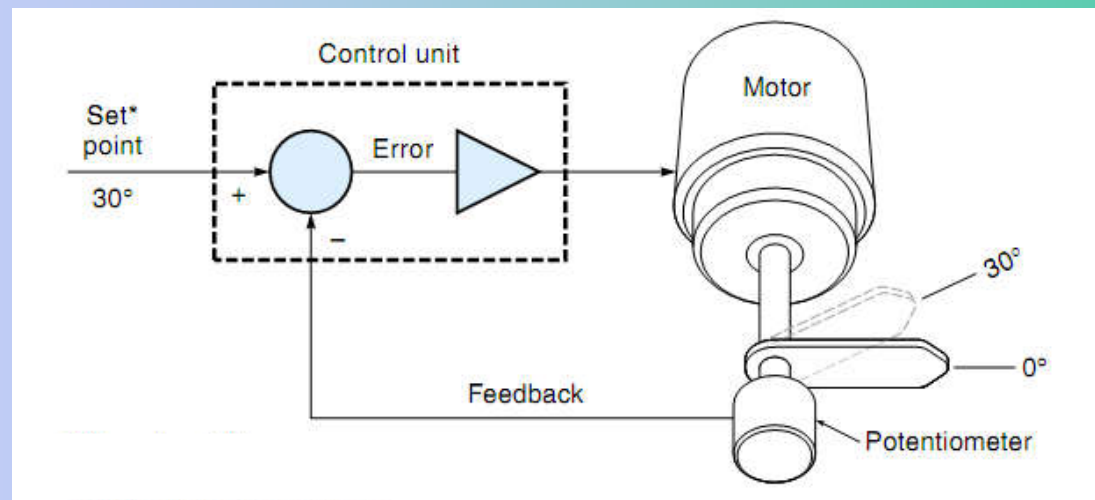
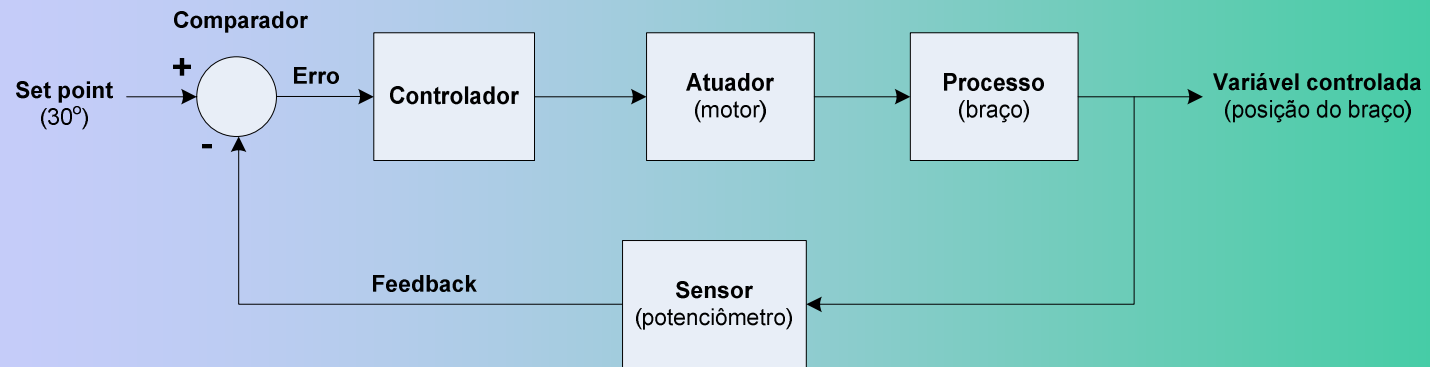
- *atuador*: é o motor que aciona o braço do robô
- *processo* é o movimento do braço
- *variável controlada* é a posição do braço.

b) Malha Fechada

No controle em malha fechada, informações relativas à saída de controle do sistema são utilizadas para determinar o sinal de controle que deve ser aplicado ao processo. Esta leitura da resposta do sistema é denominada realimentação e ela faz com que o próprio sistema se mantenha estável, sem necessidade de interferências externas.

Exemplo:

Considerando o mesmo exemplo do automóvel, mas supondo agora que ele possui um velocímetro. O motorista recebe a informação de como o sistema está reagindo (velocidade do carro) à pressão no acelerador. Baseado nesta informação ele pode aumentar ou reduzir a pressão a fim de manter o carro à velocidade constante de 80 km/h.



Em um sistema **malha fechada** a saída do **processo** é constantemente monitorada por um **sensor**. O sensor faz amostragem da saída do sistema e transmite de volta para o **controlador**. O **controlador** sabe o que o sistema está fazendo e pode fazer qualquer ajuste necessário para manter a saída onde na posição desejada.

Exemplo:

Considere um robô com repouso em 0° . Um potenciômetro conectado ao eixo no motor. O eixo gira e a resistência do potenciômetro muda. A resistência é convertida em tensão e então realimenta o controlador.

Para comandar o braço na posição de 30° o **set point** de tensão correspondente a 30° enviado ao controlador. Devido ao fato do estar ainda em repouso em 0° , o erro do sinal pula para 30° . Imediatamente o controlador inicia o movimento do motor para reduzir o erro. A medida que o braço aproxima de 30° o controlador desacelera o motor; quando o braço atinge 30° o motor pára.

2.3 – Função de transferência

Um sistema de controle é uma coleção de componentes...

Cada componente no sistema converte energia de uma forma em outra.

Exemplo:

- i) O sensor de temperatura converte **graus** em **volt***
- ii) O motor converte **volts** para **revolução por minutos***

Para descrever o desempenho de todo o sistema, temos que ter uma linguagem que possamos calcular os efeitos combinados dos diferentes componentes no sistema. Este é o conceito de FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA.

Definição de Função de Transferência (FT): $FT = \frac{Saída}{Entrada}$

Característica da Função de Transferência:

- i) Independente do tempo*
- ii) Estado estacionário*

Exemplo:

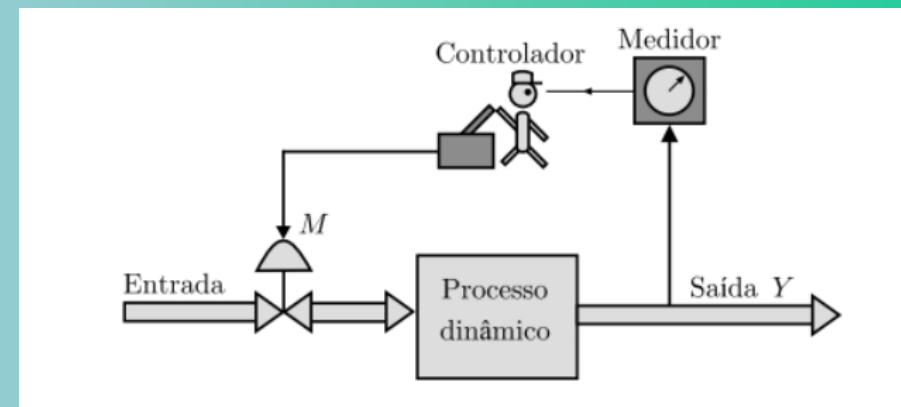
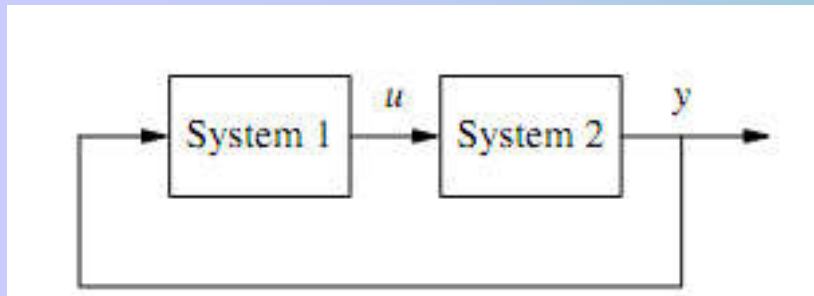
Um potenciômetro é utilizado como sensor de posição tal que 0° de rotação produz 0 V e 300° produz 10 V. Encontre a função de transferência.

$$FT = \frac{Saída}{Entrada} = \frac{10V}{300^\circ} = 33,33 \text{ mV/ grau}$$

2.4 – Sistema Dinâmico

É um sistema cujo comportamento muda com o tempo, frequentemente em resposta ao estímulo externo.

O que é **Feedback** (realimentação, reação): refere-se a uma situação em que dois ou mais sistemas dinâmicos são conectados ao mesmo tempo tal que cada sistema influencia o outro e sua dinâmicas estão assim fortemente acopladas

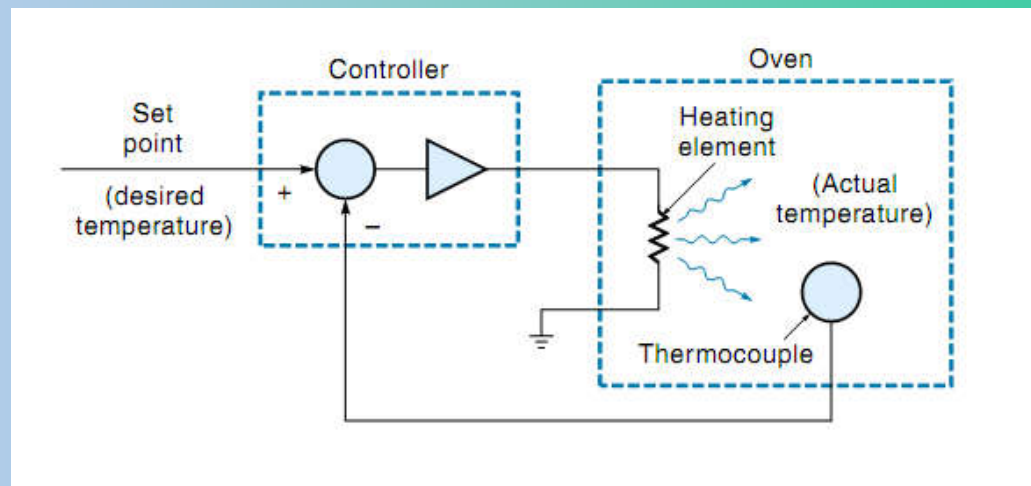


3 – Classificação dos Sistemas de Controle (quanto à sua aplicação)

a) *Controle de Processos*

Sistema de controle que inspeciona algum processo industrial de forma a manter uma saída exata.

Exemplo clássico \Rightarrow



Controlador : circuito eletrônico que regula a potência para o elemento de aquecimento

Atuador : elemento de aquecimento

Variável controlada : temperatura

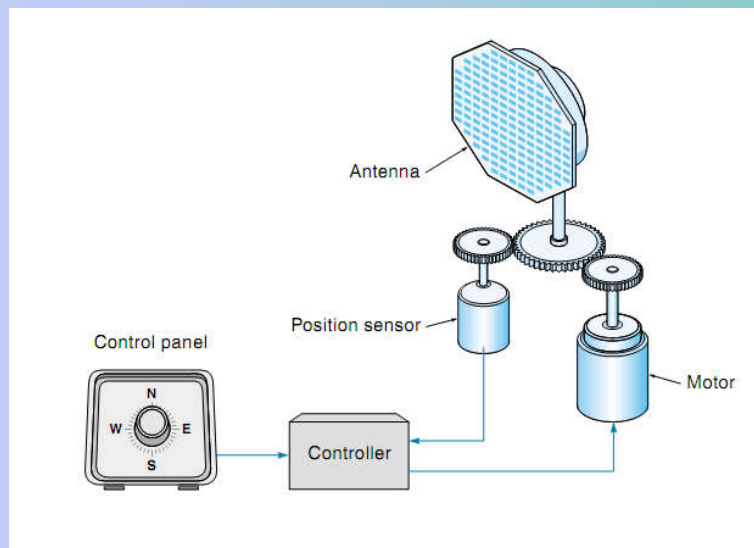
Sensor : termopar (converte temperatura em tensão)

b) Sistema controlado sequencialmente

Sistema de controle que controla um processo que é definido como uma série de tarefas a serão executadas, ou seja, uma sequência de operações, uma após a outra.

c) Servomecanismo

É um termo tradicional aplicado para descrever um sistema de controle eletromecânico de malha fechada que supervisiona o movimento preciso de um objeto físico.

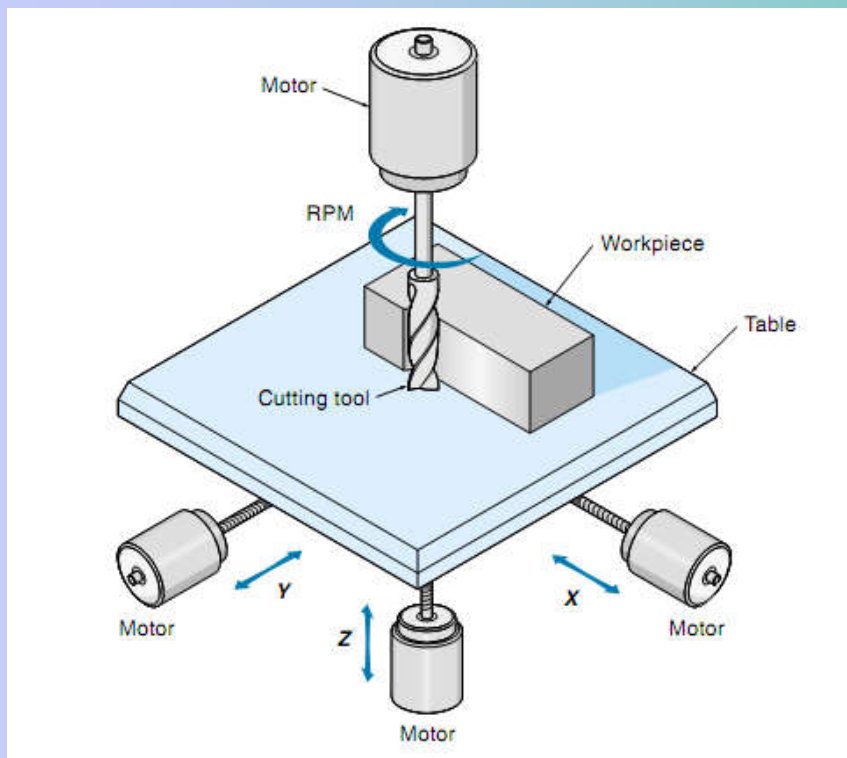


Servomecanismo: Sistema remoto de posicionamento de antena.

d) Controle Numérico

É um tipo de controle digital em máquinas operatrizes tal como torno mecânico e fresa.

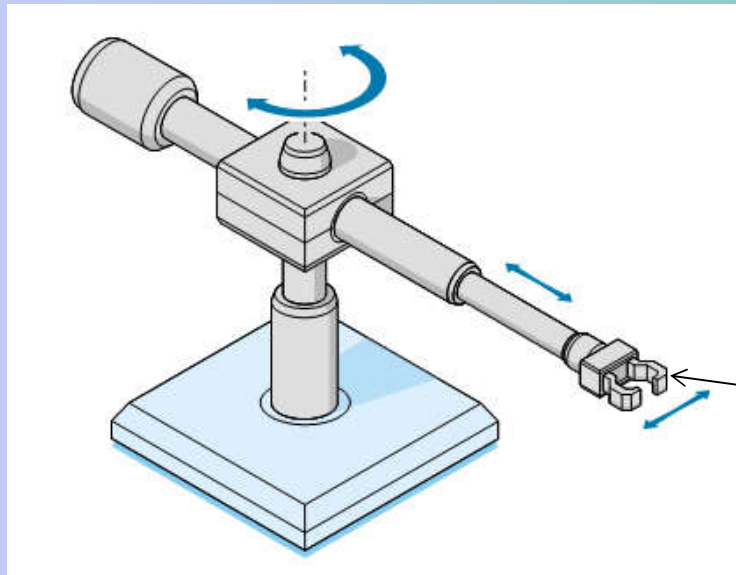
Estas máquinas podem cortar e dar forma sem a presença de um operador humano.



Fundamentos de uma fresa controlada numericamente.

e) *Robótica*

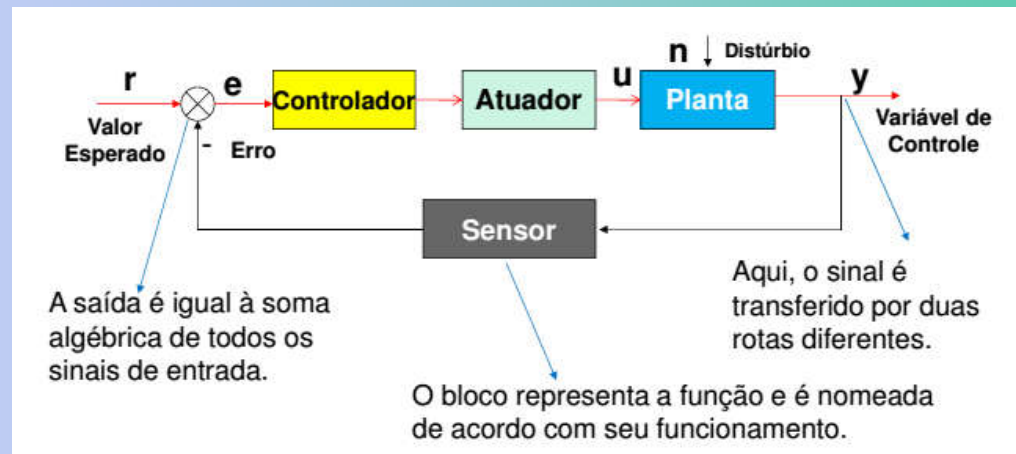
- Típico sistema de controle de posição.
- É um tipo de controle digital em máquinas operatrizes tal como torno mecânico e fresa.
- Estas máquinas podem cortar e dar forma sem a presença de um operador humano.



Robô tipo "pick-and-place"

Robotics end effector.
dispositivo acoplado no
braço do robô para interagir
com o ambiente

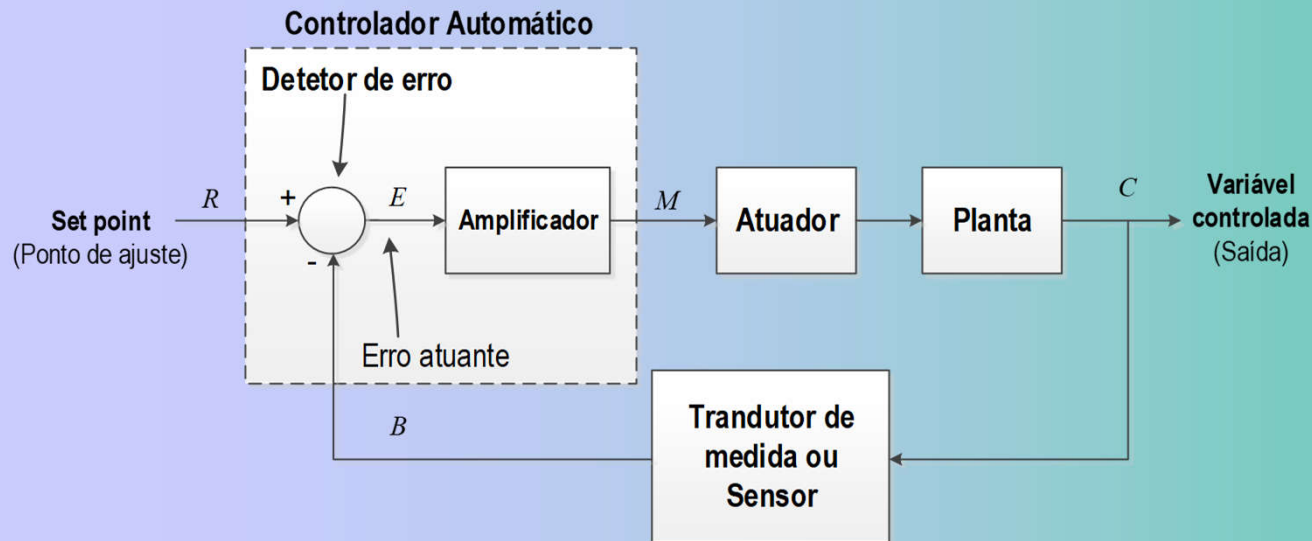
4 - Diagrama de blocos de um Sistema de Controle Malha Fechada



Elementos básicos de um Sistema de Controle

- Planta
- Variável de controle
- Valor esperado
- Controlador
- Atuador
- Sensor
- Distúrbio

5 - Sistema de controle automático



R: referência

E: erro atuante

M: variável manipulada

C: saída do processo

B: saída com a mesma unidade de R

Um controlador automático compara o valor real de saída da planta com a entrada de referência (valor desejado), determina o desvio (erro atuante) e produz um sinal de controle que vai reduzir o erro a zero ou a um valor pequeno. A maneira pela qual o controlador automático produz o sinal de controle é chamada de **Ação de Controle**.

O **controlador detecta** o sinal de erro atuante, de baixa potência, e o amplifica em um nível suficientemente alto. A saída de um controlador automático alimenta um atuador (motor elétrico).

O **sensor**, ou elemento de medição, é um dispositivo que converte a variável de saída em outra variável conveniente, que pode ser utilizada para comparar a saída ao sinal de entrada.

- Planta

Objeto real a ser controlado (um dispositivo mecânico, um robô, um foguete, ...)

- Variável de controle

A saída do sistema.

- Valor esperado

O valor desejado da variável de controle baseado nos requisitos do sistema (usado como valor de referência)

- Controlador

Um agente que calcula o sinal de controle necessário.

- Atuador

é um dispositivo eletromecânico que captura o sinal do controlador e converte em algum tipo de ação física

- Sensor

Um dispositivo que converte um elemento físico em um sinal.

- Distúrbio

Fator inesperado.

6 – Algumas definições

- Sistema

É uma combinação de componentes interligados para atingir um certo objetivo.

- Distúrbio

É um sinal que tende a afetar adversamente o valor da saída de um sistema. Se o distúrbio é gerado dentro do sistema ele é chamado de **interno**; se o distúrbio é gerado fora do sistema ele é chamado de **externo** e constitui uma entrada.

- **Sistema de controle realimentado**

É aquele que tende a manter uma relação prescrita entre a saída e a entrada de referência, comparando-as e utilizando a diferença como um meio de controle.

- **Servomecanismo**

É sistema de controle realimentado na qual a saída é alguma posição mecânica, velocidade ou aceleração.

- **Sistemas reguladores automáticos**

É um sistema de controle realimentado na qual a entrada de referência, ou a saída desejada, ou é uma constante ou varia lentamente com o tempo, e no qual a finalidade principal é manter a saída real em um valor desejado na presença de distúrbio.

- **Variável Controlada**

É a grandeza ou condição que é medida ou controlada.

- **Sinal de Controle ou Variável Manipulada**

É a grandeza ou condição modificada pelo controlador, de modo que afete o valor da variável controlada.

- **Processo**

É uma operação natural de progresso contínuo caracterizado por uma série de modificações graduais que se sucedem umas às outras de modo relativamente estável, avançando em direção a resultado.

Uma operação progressiva, artificial ou voluntária destinados a atingir determinados fins ou resultados.

Aqui processo será considerado toda operação controlada.

- Característica da realimentação
1. Precisão aumentada. Por exemplo, a capacidade de reproduzir fielmente a entrada;
 2. Tendência para oscilações e instabilidade
 3. Sensibilidade reduzida da razão da saída para a entrada às variações de parâmetros do sistema e outras características;
 4. Largura de faixa aumentada. A **largura de faixa** de um sistema é a medida da resposta de frequência (filtragem) do sistema a variações (ou frequência) no sinal de entrada;
 5. Efeito reduzido de distúrbios ou ruídos externos;
 6. Efeito reduzido das não linearidades.

7 - Sistemas de controle contínuos e discretos

1. Sistema de controle de tempo contínuo:

Um sinal dependente de uma série de valores da variável independente “ t ” é denominada de sinal de tempo contínuo ou analógico.

Exemplo: Uma tensão ou corrente que varia senoidalmente, disponível em uma tomada elétrica de sua casa é um sinal contínuo no tempo (analógico), pois o sinal é definido em qualquer instante de tempo “ t ”

2. Sistema de controle de tempo discreto

Um sinal definido apenas em instantes discretos da variável independente “ t ” é denominado de sinal de tempo discreto ou amostrado.

Exemplo: Se uma lâmpada conectada na tomada do exemplo anterior for ligada e imediatamente desligada a cada minuto, a luz da lâmpada é um sinal discreto, ativada apenas um instante a cada minuto.