

SERVOMECANISMO

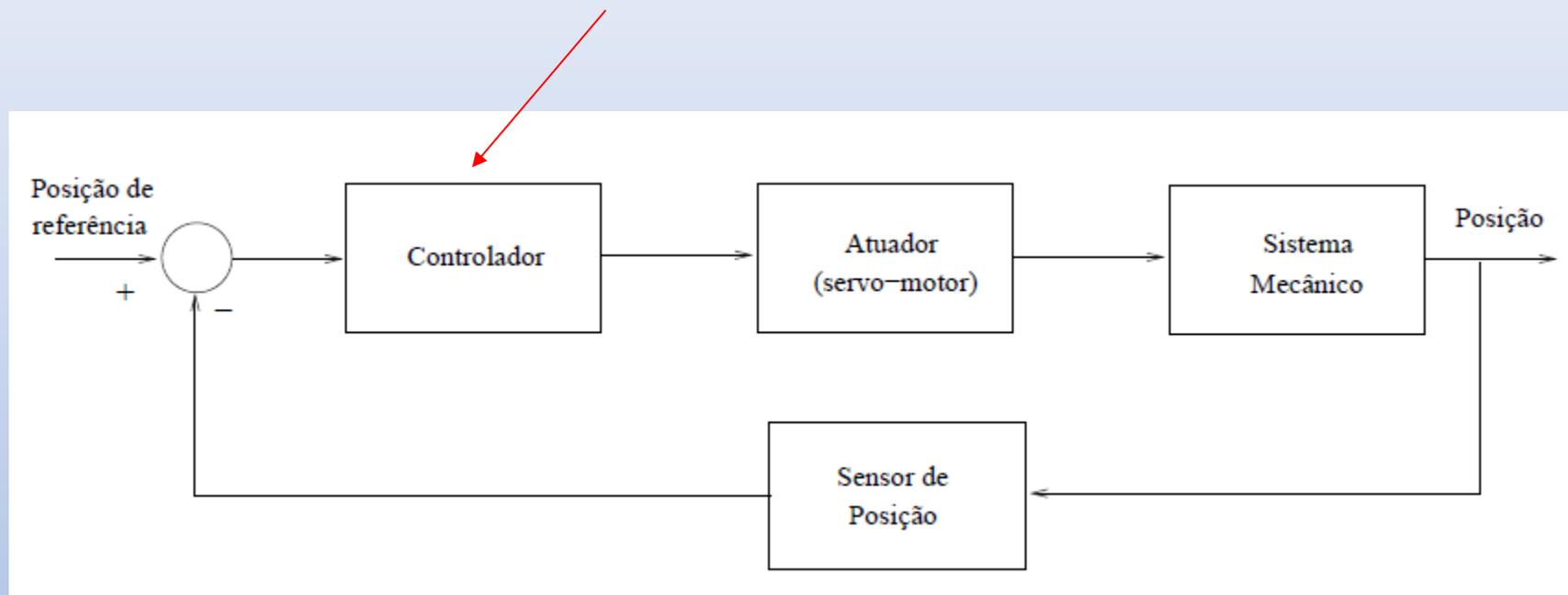
Controlador – Modos de Controle

Prof. Dr. Cesar da Costa

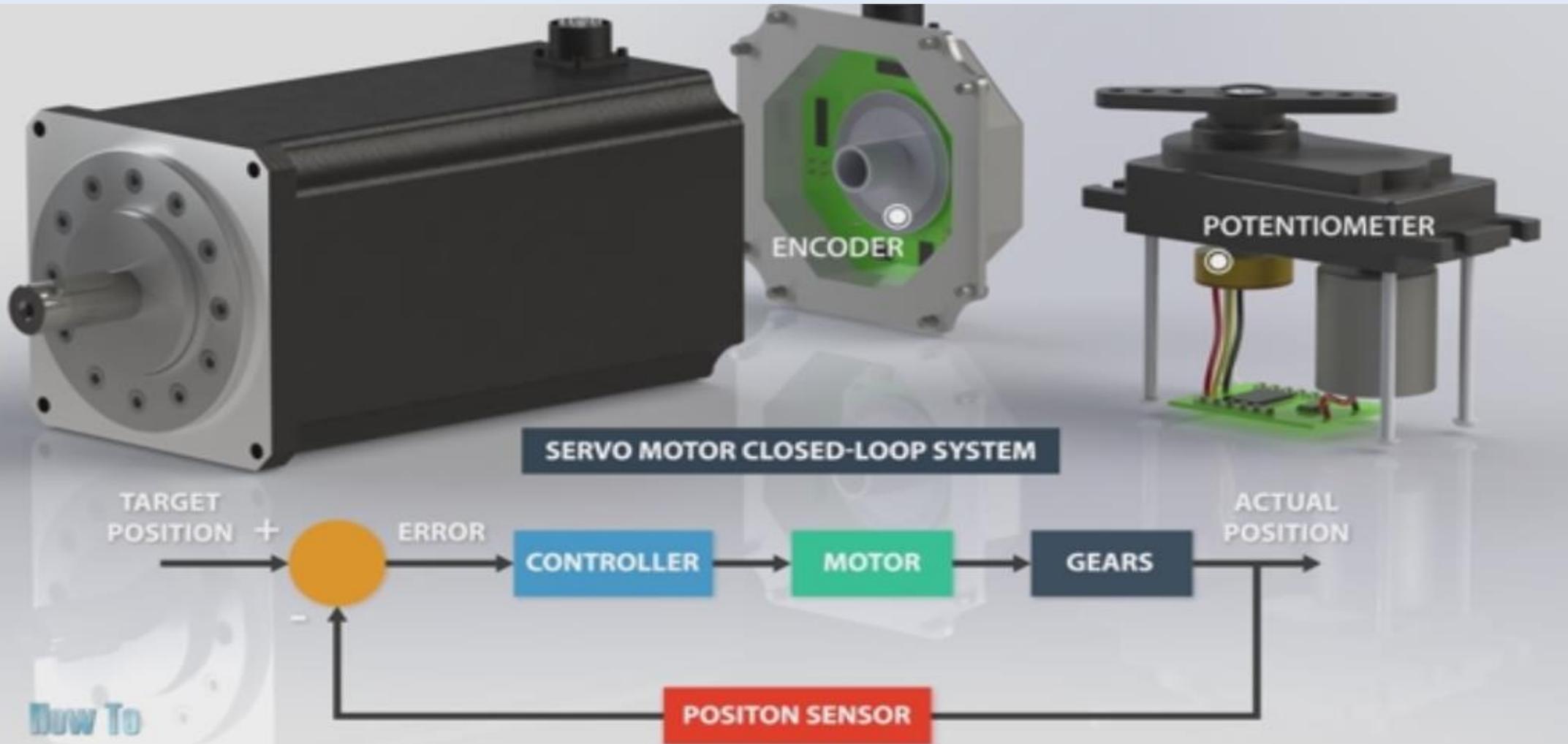
E-mail: ccosta@ifsp.edu.br

Site: www.professorcesarcosta.com.br

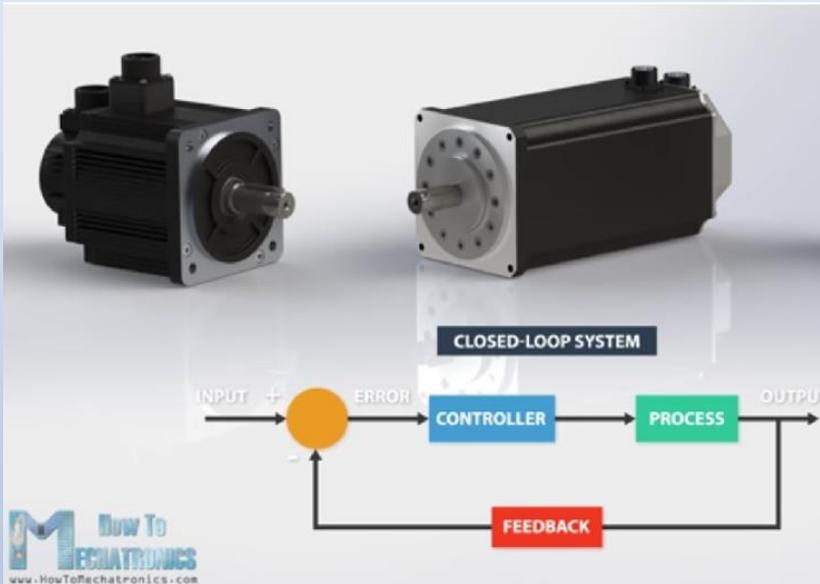
Diagrama de um servomecanismo



Servomecanismo



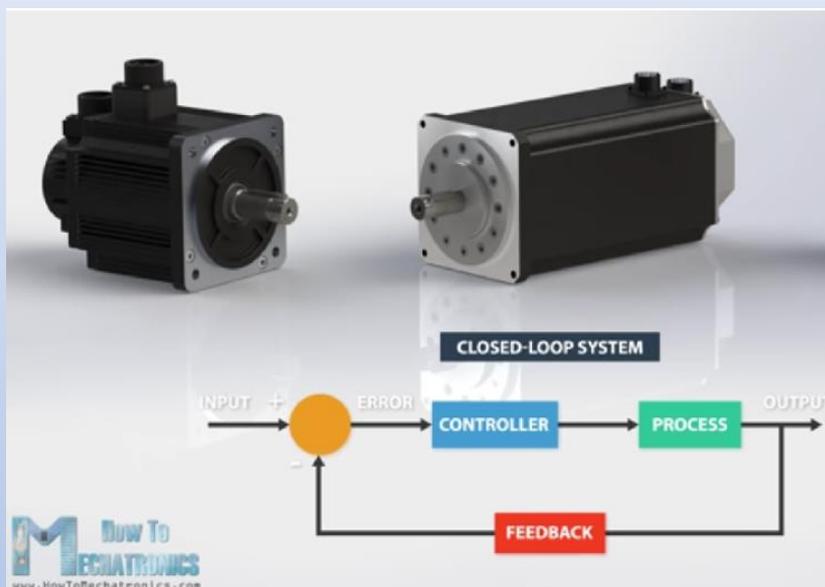
Modos de Controle



Malha Fechada

- ❑ O controle em malha fechada refere-se àquele cujo sinal de saída possui um efeito direto na ação de controle.
- ❑ Estes sistemas são conhecidos também como sistemas realimentados e tal realimentação (*feedback*) tem a finalidade de reduzir o erro do sistema.

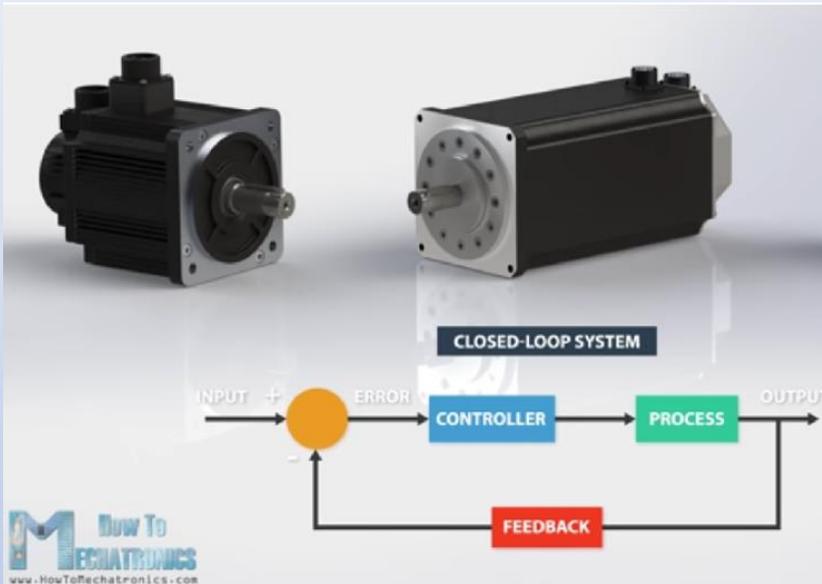
Modos de Controle



Malha Fechada

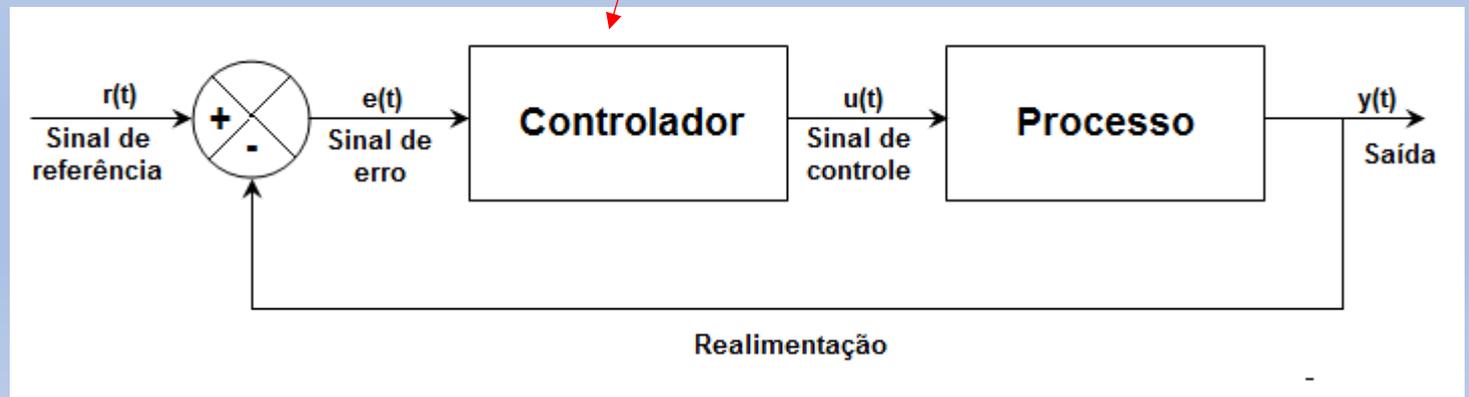
- ❑ Com o objetivo de tornar o sistema mais preciso e sensível às perturbações externas, o sinal de saída é geralmente comparado com um sinal de referência, chamado de *set-point*.
- ❑ Utiliza-se o erro ou desvio entre estes dois sinais para gerar o sinal de controle que deve ser aplicado ao processo.

Modos de Controle



Malha Fechada

- ❑ O sinal de controle é gerado de maneira a corrigir este erro entre a saída e o *set-point*. O dispositivo que utiliza o sinal de erro para determinar ou calcular o sinal de controle a ser aplicado à planta recebe a denominação de **controlador ou compensador**.



Modos de Controle



Malha Fechada

- ❑ Entende-se como controlador o dispositivo capaz de realizar determinadas operações matemáticas sobre o sinal de erro $[e(t)]$, a fim de produzir um sinal $[u(t)]$ a ser aplicado na planta.
- ❑ Com a função de satisfazer um determinado objetivo. Tais operações matemáticas constituem as ações de controle, que basicamente correspondem à **ação liga-desliga (on-off)**, **ação proporcional**, **ação integral** e **ação derivativa**.

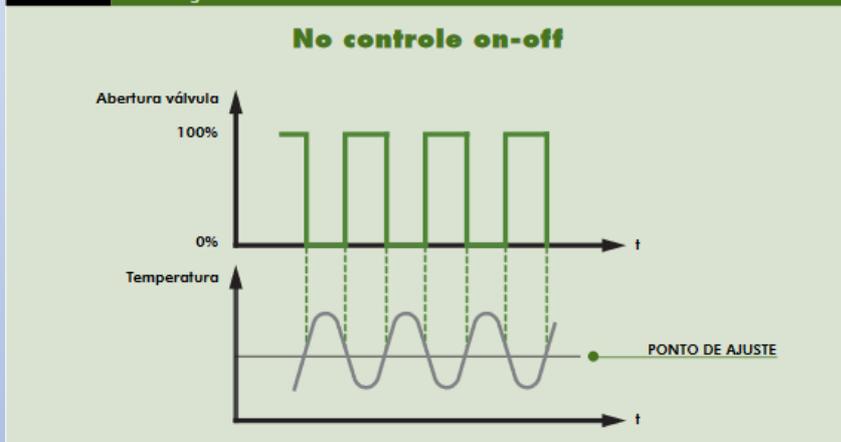
Modos de Controle

Controle On - Off

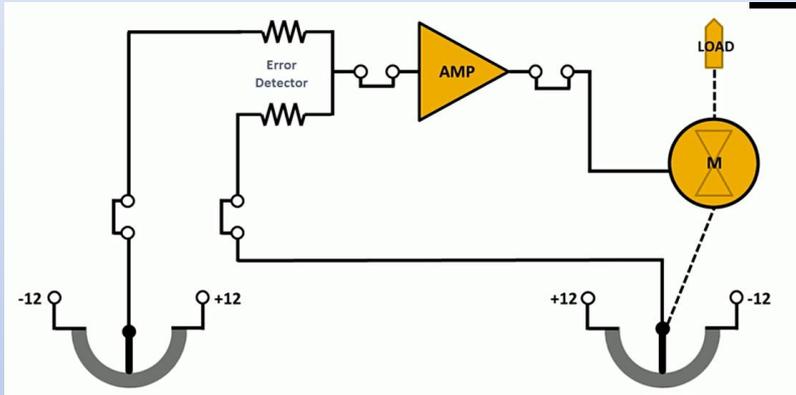
❑ É o mais simples e mais barato. Este modo de controle só permite duas posições do elemento final: **aberto/fechado** ou **ligado/desligado**.

❑ Seu uso fica restrito a processos que apresentam grande capacitância ou a processo em que a oscilação não seja prejudicial. É um controle muito utilizado em sistemas de segurança.

FIGURA 7B POSIÇÃO DA VÁLVULA X VARIÁVEL CONTROLADA



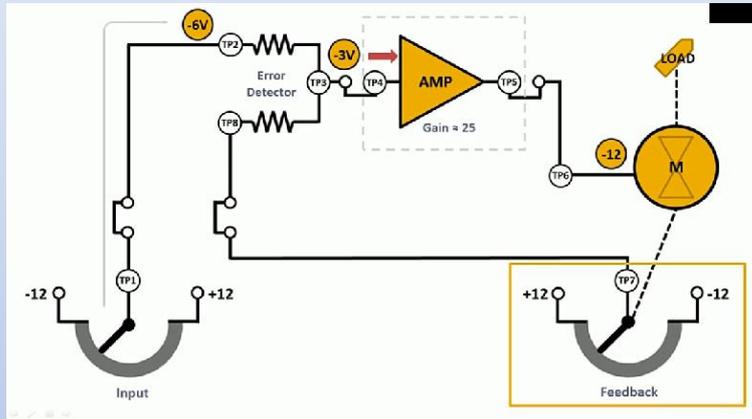
Modos de Controle



Controlador Proporcional

- ❑ Neste controle, a amplitude de correção é proporcional à amplitude do desvio. O elemento final se move para uma determinada posição, para cada valor de desvio.
- ❑ A informação de variação do processo chega ao controlador, onde é constatado o desvio do valor desejado. Neste momento o controlador começa a dar uma correção proporcional a este erro, mandando girar o motor, para que a variável possa retornar ao valor desejado.

Modos de Controle



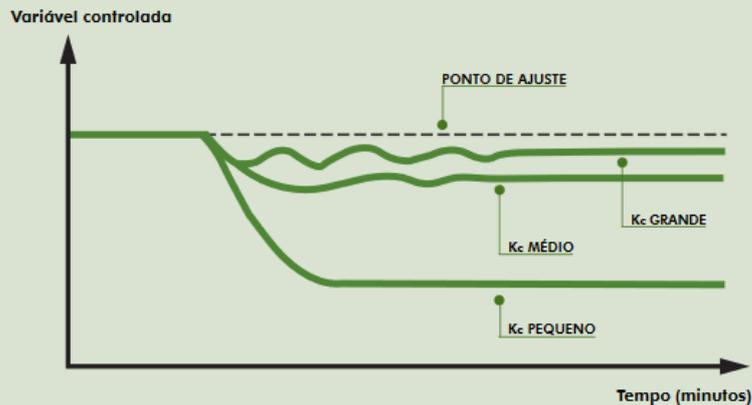
Controlador Proporcional

- ❑ Como neste modo de controle a correção é proporcional ao tamanho do erro, o motor reagirá para determinada posição, que causará uma nova situação de equilíbrio ao processo, diferente da anterior.

Modos de Controle

Controlador Proporcional

FIGURA 8.1 RESPOSTA DE UM CONTROLADOR PROPORCIONAL

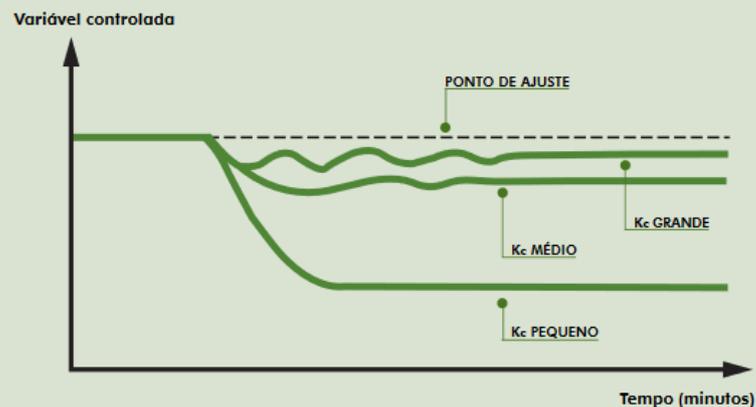


- ❑ Após este equilíbrio, verifica-se a presença de um erro final chamado de **off-set ou erro de regime**.
- ❑ Este erro torna-se limitante para o uso do controlador puramente proporcional. Vale ressaltar que este erro pode ser minimizado e não eliminado automaticamente, o que pode ser feito através de um ajuste do controlador proporcional.

Modos de Controle

Controlador Proporcional

FIGURA 8.1 RESPOSTA DE UM CONTROLADOR PROPORCIONAL



- A redução do *off-set* se faz possível através da alteração dos ajustes do controlador proporcional, que são ganho ou faixa proporcional. Cabe ressaltar que, através deste ajuste, poderemos minimizar o *off-set* e não eliminá-lo
- A eliminação do *off-set* só é possível, em um controlador puramente proporcional, através de um ajuste manual da saída do controlador. Para isso se faz necessário que passemos a malha de controle de automático para manual e alteremos os valores de saída do controlador de forma a eliminar o desvio deixado pela correção proporcional



**LEMBRE-SE
DISSO**

Faixa proporcional (ou banda proporcional)

- ❑ Faixa proporcional pode ser definida como a porcentagem do range do controlador que corresponde ao curso completo do elemento final de controle.

$$K_c = \frac{\Delta s}{\Delta e}$$

Quanto maior for o ganho, maior será a variação da saída do instrumento, para uma mesma variação da variável. O instrumento reagirá mais fortemente quanto maior for o seu ganho. Matematicamente, temos:

$$K_c = \frac{1}{BP}$$

ou

$$K_c = \frac{100\%}{BP}$$

Quando a BP for em percentual

Ganho ou sensibilidade

- É um outro conceito para expressar a proporcionalidade. Ganho é a relação entre a variação de saída do controlador para o motor e a variação da entrada do controlador (variável).

$$K_c = \frac{\Delta s}{\Delta e}$$

Quanto maior for o ganho, maior será a variação da saída do instrumento, para uma mesma variação da variável. O instrumento reagirá mais fortemente quanto maior for o seu ganho. Matematicamente, temos:

$$K_c = \frac{1}{BP}$$

ou

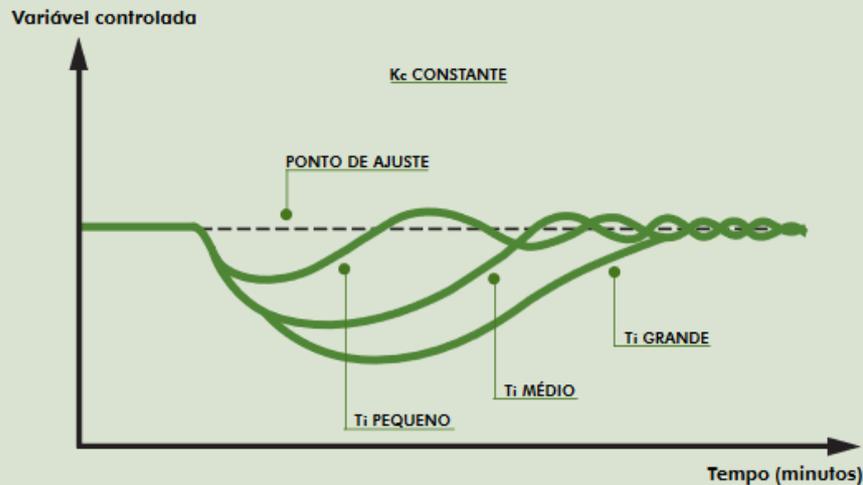
$$K_c = \frac{100\%}{BP}$$

Quando a BP for em percentual

Modos de Controle

Controlador Proporcional + Integral

FIGURA 85 CONTROLADORES PROPORCIONAL + INTEGRAL

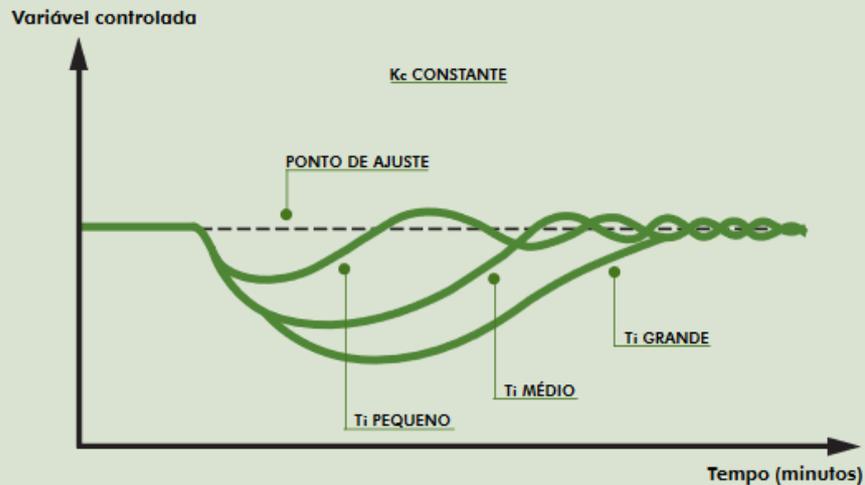


- ❑ Tem-se aí o melhor dos dois modos de controle. O modo proporcional, que corrige os erros instantaneamente, e o integral, que se encarrega de eliminar, ao longo do tempo, o **off-set** característico do modo proporcional.
- ❑ Neste controlador, o modo integral executa automaticamente o reajuste manual que o operador faria para eliminar o **off-set** do modo proporcional.

Modos de Controle

Controlador Proporcional + Integral

FIGURA 85 CONTROLADORES PROPORCIONAL + INTEGRAL



- A ação integral ocasiona uma correção tal que a velocidade de correção é proporcional à amplitude do desvio. O modo de correção integral não é utilizado sozinho, pois corrige muito lentamente.

Modos de Controle

- ❑ Taxa de reset ou tempo integral

$$R = \frac{1}{T_i}$$

Onde:

R = Taxa de *reset*: em repetições por minuto (rpm)

T_i = Tempo integral: em minuto por repetições (mpr)

Controlador Proporcional + Integral

- ❑ O ajuste do controlador integral é descrito pelo tempo integral (**reset time ou TI**) em minutos, podendo ser ajustado através do botão existente no controlador.
- ❑ Define-se como sendo o tempo necessário para que a ação integral repita uma vez o efeito da ação proporcional.

Modos de Controle

- ❑ Taxa de reset ou tempo integral

$$R = \frac{1}{T_i}$$

Onde:

R = Taxa de *reset*: em repetições por minuto (rpm)

T_i = Tempo integral: em minuto por repetições (mpr)

Controlador Proporcional + Integral

- ❑ A taxa de reset (**reset rate ou R**) é uma outra maneira de definir o tempo integral e expressa-se como sendo o número de vezes que a ação integral repete o efeito da ação proporcional no tempo de 1 minuto.

Controlador Proporcional + Integral

Características do ajuste:

- Quanto maior "R", mais rápida será a correção, devido à ação integral
- Quanto menor o "Ti", mais rápida será a correção, devido à ação integral
- Quando se altera o valor do ganho em um controlador P + I, alteram-se simultaneamente as correções do modo proporcional e integral
- Quando se altera "R" ou "Ti", altera-se somente a correção do modo integral
- Para se eliminar a ação integral, leva-se o "Ti" para o valor máximo

Controlador Proporcional + Integral

- O controlador P + I possui dois parâmetros de ajuste: o *ganho* (ou faixa proporcional) e a *taxa de reset* (ou tempo integral). Ambos ajustáveis por botões existentes no instrumento
- Da mesma maneira que no caso da ação proporcional, existe o perigo de oscilações, quando a ação integral é exagerada
- A ação Integral aumenta o tempo de estabilização. Por isso, ela deve ser corretamente ajustada para que se possa obter um controle preciso com o menor tempo de estabilização
- O controlador P + I, em geral, pode ser utilizado para controlar a maioria das grandezas físicas (variáveis) normalmente encontradas em processos industriais



**LEMBRE-SE
DISSO**

❑ Modos de Controle

FIGURA 84 RESPOSTA DE UM CONTROLADOR PROPORCIONAL

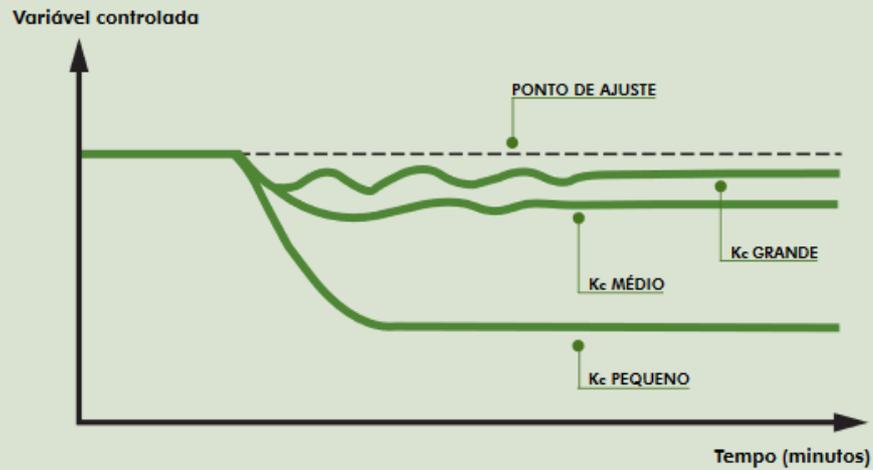
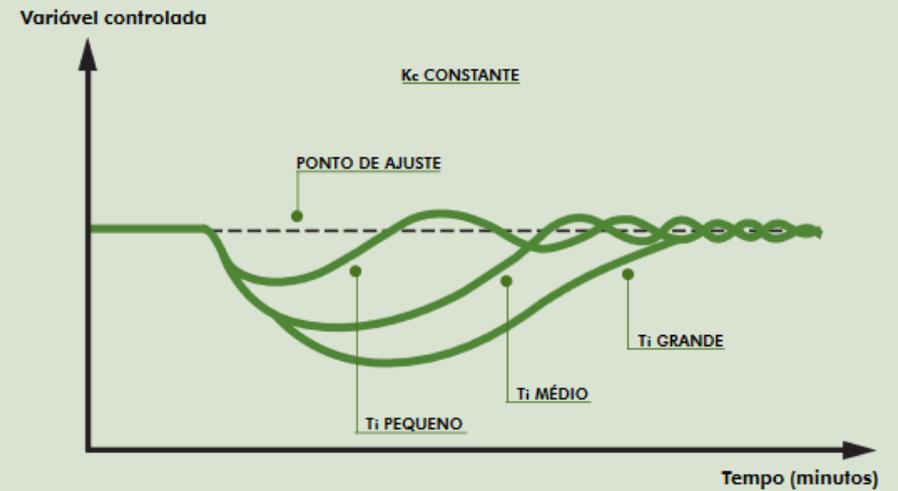


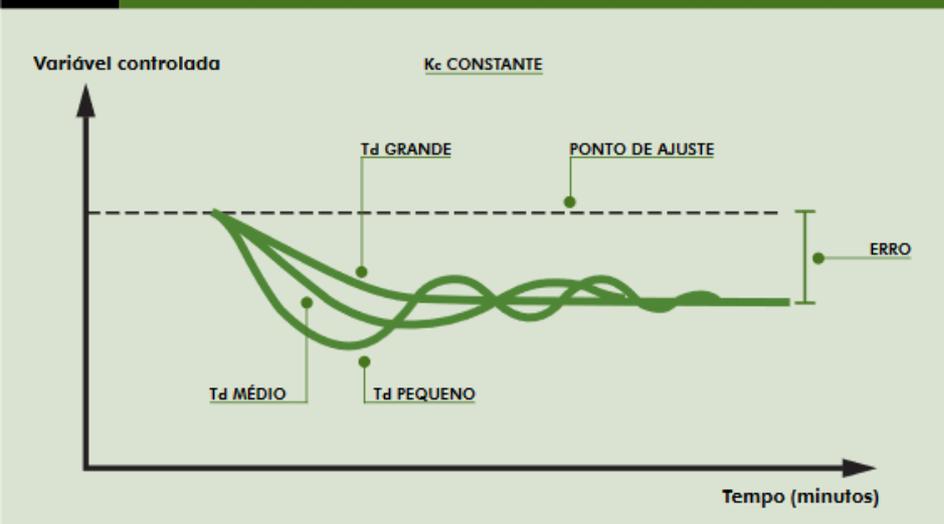
FIGURA 85 CONTROLADORES PROPORCIONAL + INTEGRAL



Modos de Controle

Controlador Proporcional + Derivativo

FIGURA 66 CONTROLADORES PROPORCIONAL + DERIVATIVO

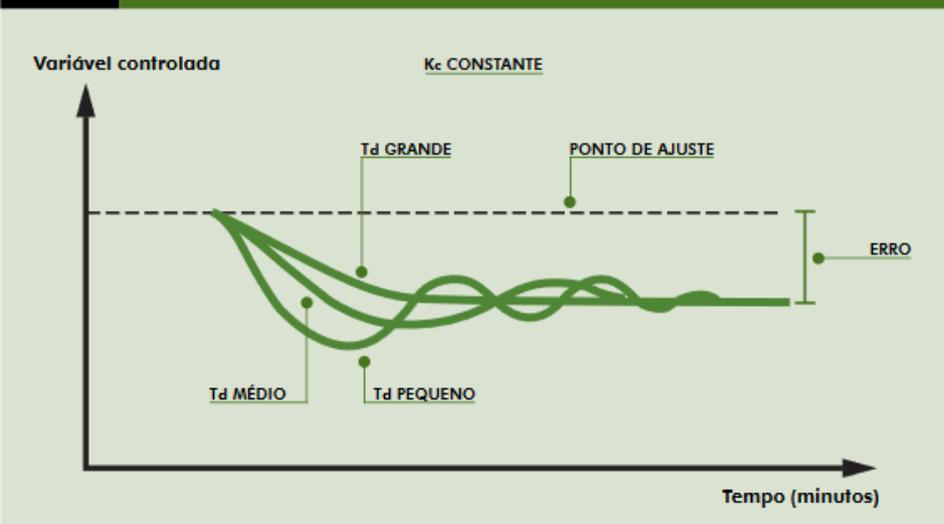


- ❑ Quando a variável se afasta do set-point, o modo derivativo faz com que a saída varie mais do que ocorreria somente com o modo proporcional.
- ❑ Como consequência, a variável tende a se aproximar mais rapidamente do set-point.

Modos de Controle

Controlador Proporcional + Derivativo

FIGURA 66 CONTROLADORES PROPORCIONAL + DERIVATIVO



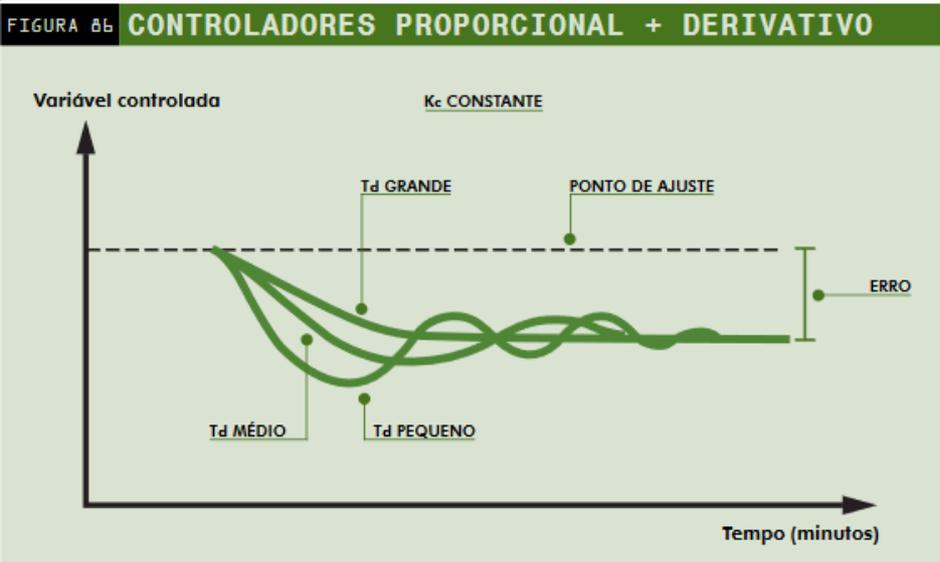
- Quando a variável está retornando ao set-point, o modo derivativo exerce uma ação contrária, reduzindo as eventuais oscilações e diminuindo o tempo de estabilização, diferente do que se houvesse somente a correção proporcional.

Modos de Controle

Controlador Proporcional + Derivativo

❑ O efeito estabilizante do modo derivativo permite que se utilize uma faixa proporcional menor, ocasionando um **off-set** menor.

❑ Note-se, entretanto, que o modo derivativo não é capaz de eliminar o **off-set**, visto que não exerce qualquer ação quando se tem um desvio permanente.

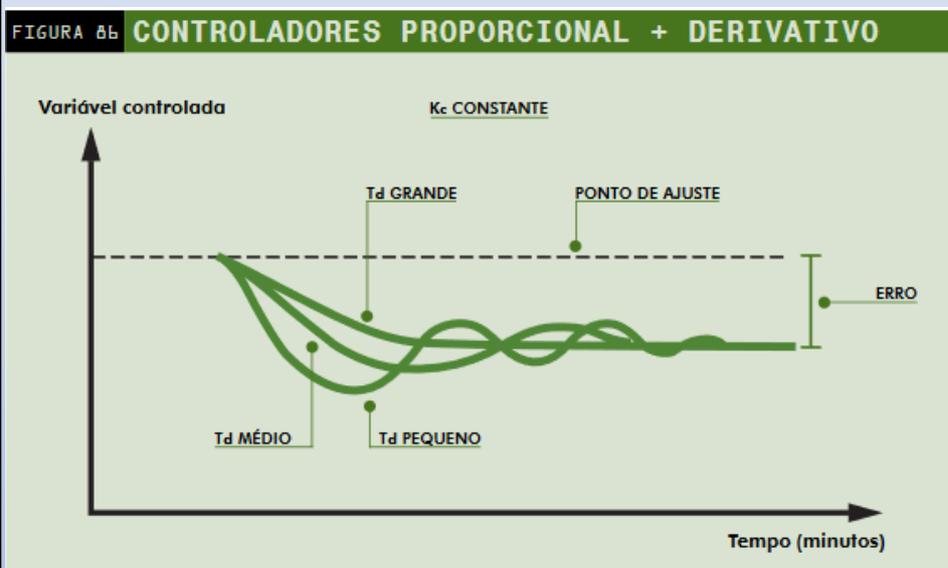


Modos de Controle

☐ Tempo derivativo

Controlador Proporcional + Derivativo

- ☐ É definido como o tempo em minutos em que o modo derivativo adianta o efeito do modo proporcional. Quanto maior o tempo derivativo (T_d), mais forte é a ação derivativa. Este tempo é expresso em minutos.



Controlador Proporcional + Derivativo

Características do ajuste:

- Quando o T_d tende a zero, vai-se inibindo a ação derivativa
- A ação derivativa pode ser considerada como um amortecimento para a resposta da variável controlada
- Quando se altera o valor do ganho em um controlador P + D, alteram-se simultaneamente as correções do modo proporcional e derivativo
- Para se eliminar a ação derivativa, leva-se T_d para zero

Controlador Proporcional + Derivativo

- O controlador P + D possui dois parâmetros de ajuste: o ganho (ou faixa proporcional) e o tempo derivativo, ambos ajustáveis por botões existentes no instrumento
- Tem uso limitado na prática Industrial, visto que, embora o modo derivativo tenha efeito estabilizante devido à sua característica de se opor às variações, o *off-set* não é eliminado
- O controlador P + D é mais utilizado em processos de variações lentas. Sua aplicação resulta em respostas mais rápidas



**LEMBRE-SE
DISSO**

☐ Modos de Controle

FIGURA 84 RESPOSTA DE UM CONTROLADOR PROPORCIONAL

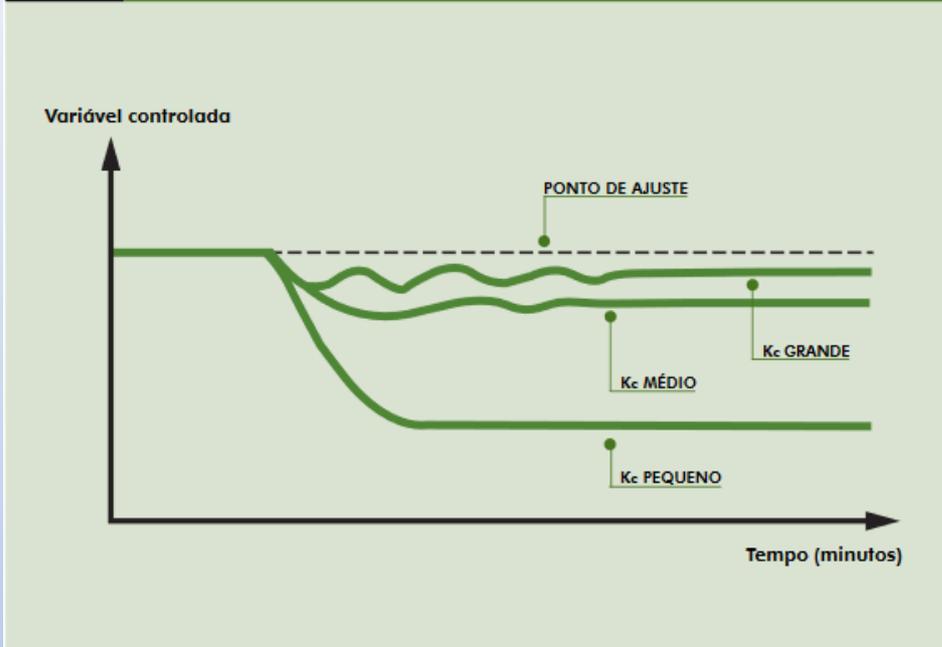


FIGURA 85 CONTROLADORES PROPORCIONAL + INTEGRAL

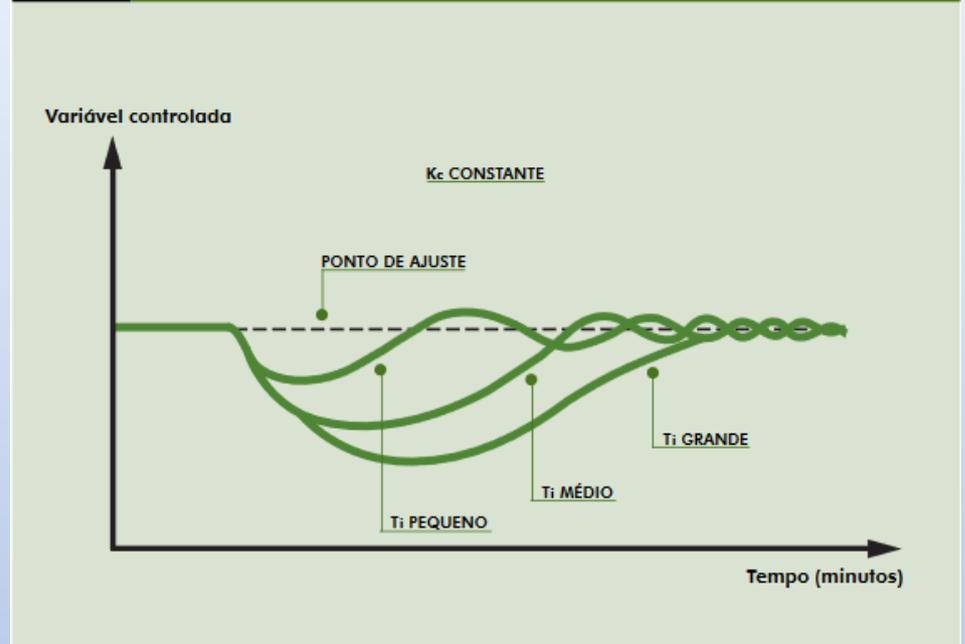
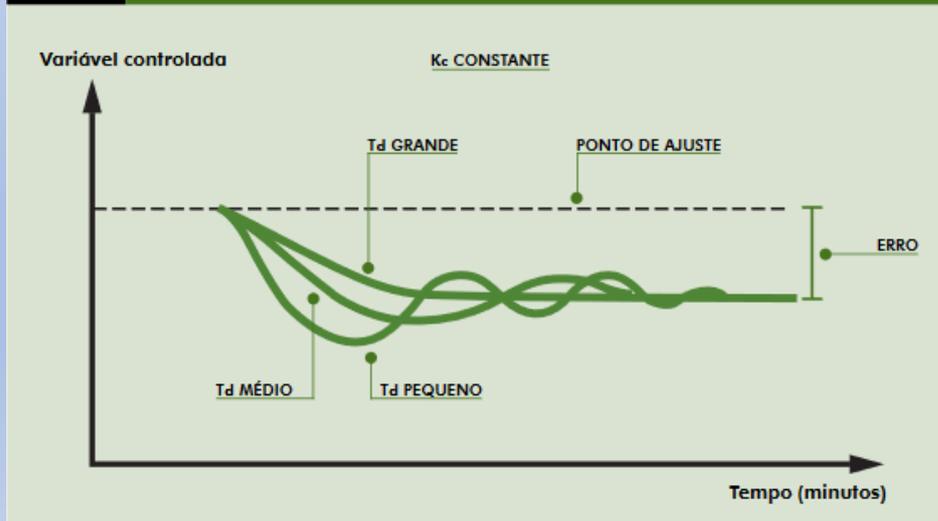


FIGURA 86 CONTROLADORES PROPORCIONAL + DERIVATIVO



Conclusões

<https://www.youtube.com/watch?v=YLGLrEwEiTQ>

<http://professorcesarcosta.com.br/disciplinas/n7srv>

