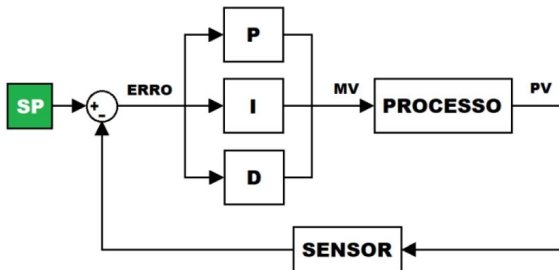


# Sistemas Embarcados (C213)

Prof. Samuel Baraldi Mafra

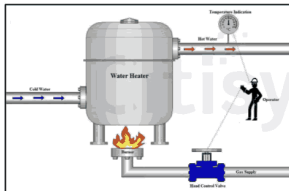


## Introdução aos controladores PID

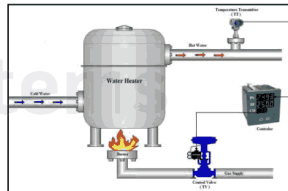


# Malha aberta x malha fechada

Controle em Malha Aberta



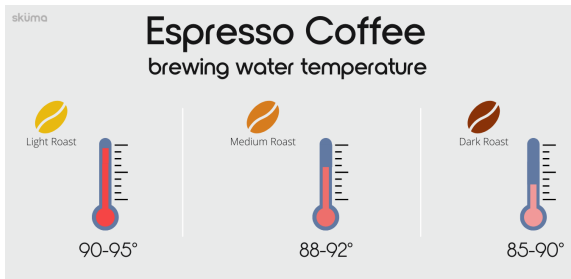
Controle em Malha Fechada



## Controle de temperatura secador de café



## Temperatura de preparo do café



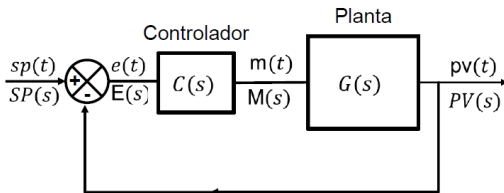
## Controladores PID

- O controlador Proporcional Integral Derivativo é o algoritmo de controle mais utilizado atualmente na indústria.
- Um algoritmo de controle calcula inicialmente o erro entre a variável medida no processo e o valor desejado, e em função desse erro, um sinal de controle é gerado

Os principais controladores utilizados na prática são

- Controlador Proporcional (P)
- Controlador Proporcional Integral (PI)
- Controlador Proporcional Derivativo (PD)
- Controlador Proporcional Integral Derivativo (PID)

O controlador irá apresentar uma saída  $m(t)$  que depende do valor do erro  $e(t)$  do sistema de controle e malha fechada.

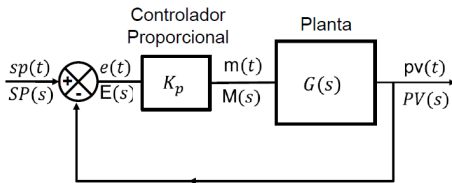




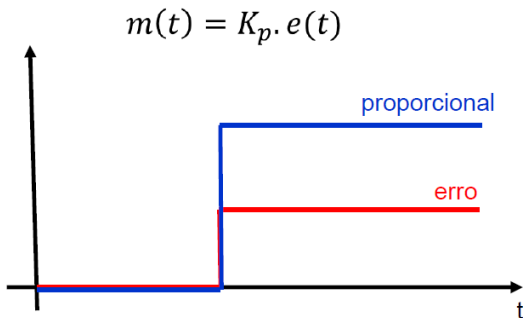
## Controlador Proporcional (P)

O controlador Proporcional gera sua saída proporcionalmente ao erro  $e(t)$ . O fator multiplicativo  $K_p$  é denominado ganho proporcional do controlador.

$$m(t) = K_p \cdot e(t)$$

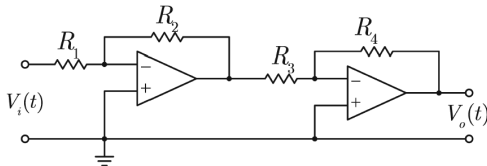


Para sintonia do controlador proporcional é necessário levar em consideração a condição de estabilidade do sistema, uma vez que a escolha errada do parâmetro  $K_p$  pode levar o sistema para condição de instabilidade.



## Implementação em circuito com AMPOP

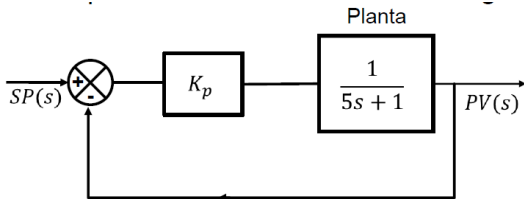
$$G_p(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{R_4 R_2}{R_3 R_1}.$$



## Controlador Proporcional (P)

- A utilização de um controlador proporcional na maioria das vezes não elimina o erro em regime permanente do sistema. No entanto, para alguns casos específicos esse erro é aceitável e este tipo de controlador pode ser utilizado.

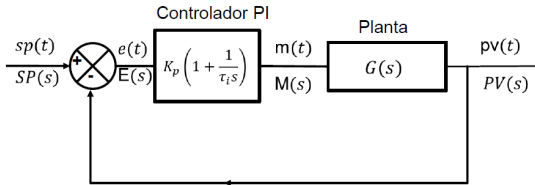
Exemplo Determine a função de transferência em malha fechada e o erro em regime para uma entrada do tipo degrau unitário para o sistema de controle a seguir:



Controlador Proporcional Integral (PI) O controlador Proporcional Integral gera sua saída proporcionalmente ao erro  $e(t)$  e proporcionalmente a integral do erro  $e(t)$ .

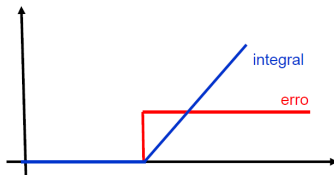
$$m(t) = K_p \cdot e(t) + K_p \cdot \frac{1}{\tau_i} \int e(t) dt$$

$$M(s) = K_p \cdot E(s) + K_p \cdot \frac{1}{\tau_i} \cdot \frac{1}{s} \cdot E(s)$$



## Controlador Proporcional Integral (PI)

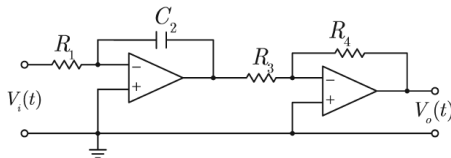
O fator multiplicativo  $1/\tau_i$  é denominado taxa de integração e define o número de integrações por segundo.



A saída integral do controlador aumenta indefinidamente enquanto houver erro.

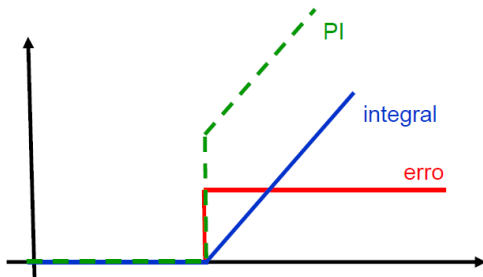
## Implementação em circuito com AMPOP

$$G_i(s) = \frac{V_0(s)}{V_i(s)} = \frac{R_4}{R_3} \frac{1}{R_1 C_2 s}$$





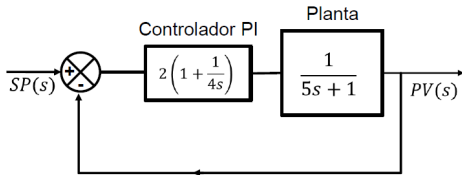
Controlador Proporcional Integral (PI) Neste caso, pode se observar que a saída do controlador varia instantaneamente com o erro, e vai aumentando em função da integral do erro.



A função da parcela integral do controlador é eliminar o erro em regime permanente para uma entrada do tipo degrau

## Controlador Proporcional Integral (PI)

Exemplo 2 Determine a função de transferência em malha fechada e o erro em regime para uma entrada do tipo degrau unitário para o sistema de controle a seguir:

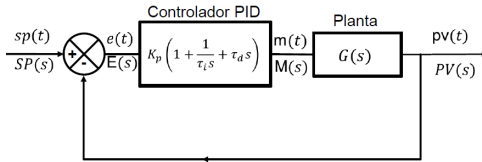


## Controlador Proporcional Integral Derivativo (PID)

O controlador Proporcional Integral Derivativo gera sua saída proporcionalmente ao erro  $e(t)$  e proporcionalmente a integral do erro  $e(t)$  e a derivada do erro  $e(t)$

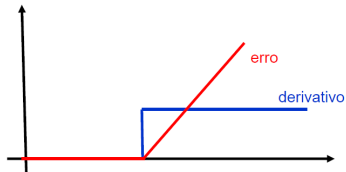
$$m(t) = K_p \cdot e(t) + K_p \cdot \frac{1}{\tau_i} \int e(t) dt + K_p \cdot \tau_d \cdot \frac{d}{dt} e(t)$$

$$M(s) = K_p \cdot E(s) + K_p \cdot \frac{1}{\tau_i} \cdot \frac{1}{s} \cdot E(s) + K_p \cdot \tau_d \cdot s \cdot E(s)$$



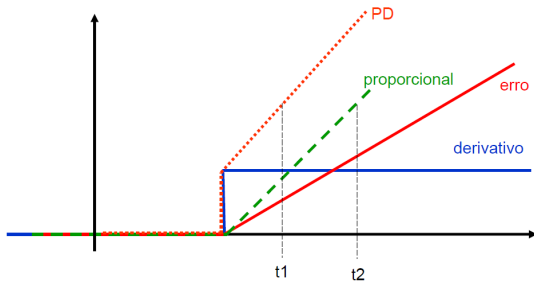
## Controlador Proporcional Integral Derivativo (PID)

O termo  $\tau_d$  é conhecido como tempo derivativo do controlador.



A saída derivativa do controlador é diferente de zero quando há variação do erro.

## Controlador Proporcional Derivativo (PD)



A ação proporcional do controlador é uma rampa e a ação derivativa soma um valor constante a essa rampa.

É possível observar que o tempo derivativo antecipa a ação que só aconteceria no instante  $t_2$  para o instante  $t_1$ . Desta forma o tempo derivativo antecipa a ação do controlador proporcional em  $\tau_d = t_2 - t_1$  segundos.

Portanto, pode-se concluir que a parcela derivativa do controlador PID tem caráter antecipatório e sua função é agir proporcionalmente a derivada do erro. Ou seja, só entra em ação quando o erro varia significativamente.

## Vídeo

- <https://www.youtube.com/watch?v=fusr9eTceEo>