

Controle de Processos

- Na natureza o controle de processos é fundamental para a vida
 - Crescimento de plantas e animais
 - temperatura corporal
 - batimento cardíaco
 - Pressão sanguínea
 - Movimento e estabilidade do corpo
- Principais características do controle automático
 - Ajuste automático da variável a ser controlada
 - Manutenção da variável independente de fatores externos
 - Possibilidade de alteração do valor desejado

Controle de Processos

- Sequência típica de controle de um processo:
 - 1) Medida do valor atual da variável que se quer controlar.
 - 2) Comparação do valor atual com o valor desejado (definido pelo operador humano ou por um computador) e determinação do sinal de erro.
 - 3) Utilização do sinal de erro (ou desvio) para gerar um sinal de correção.
 - 4) Aplicação do sinal de correção ao atuador do sistema de modo a minimizar o erro, de maneira a reconduzir-se a variável ao valor desejado.

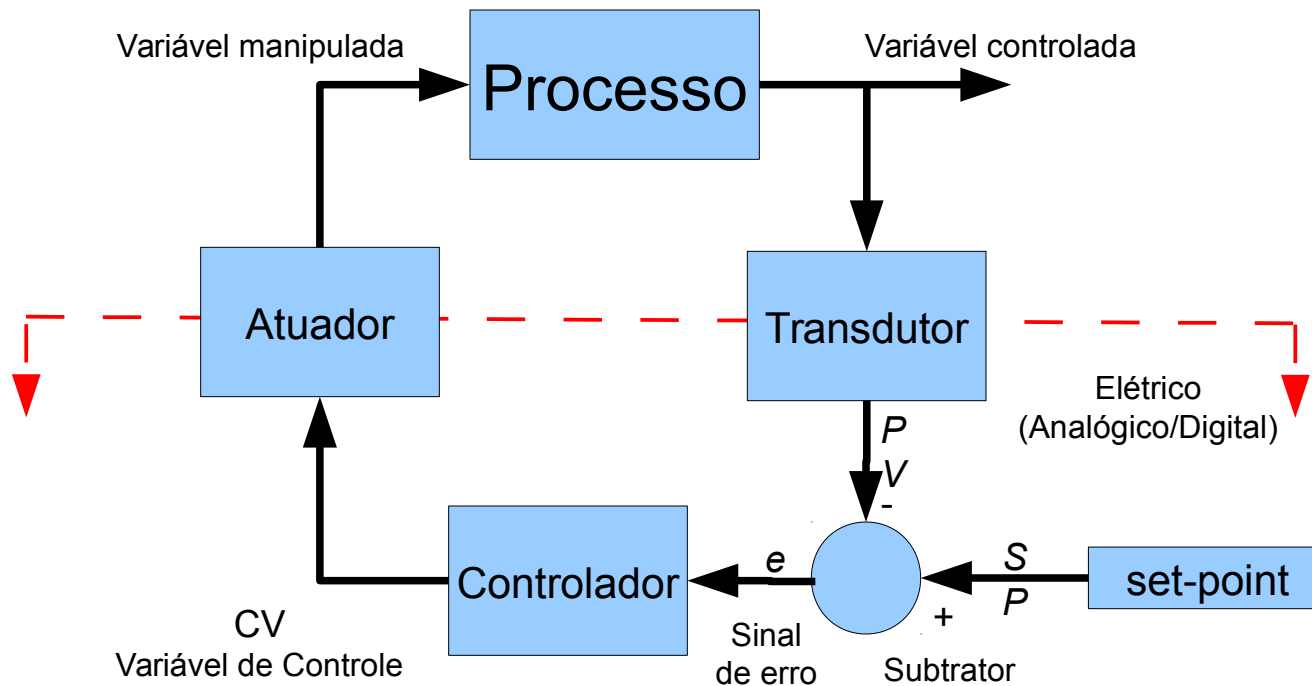
Obs: O sinal de correção introduz desta forma variações de sentido contrário ao erro

Controle de Processos

- Principais grandezas utilizadas em controle:
 - Temperatura, pressão, umidade, vazão
 - Tensão, corrente, potência, frequência
 - Posição, ângulo, velocidade, aceleração
- Em controle identifica-se 4 elementos principais:
 - Processo a ser controlado
 - Medida da(s) variável(is) do processo
 - Comparação com o valor desejado (set-point)
 - Controle e atuação

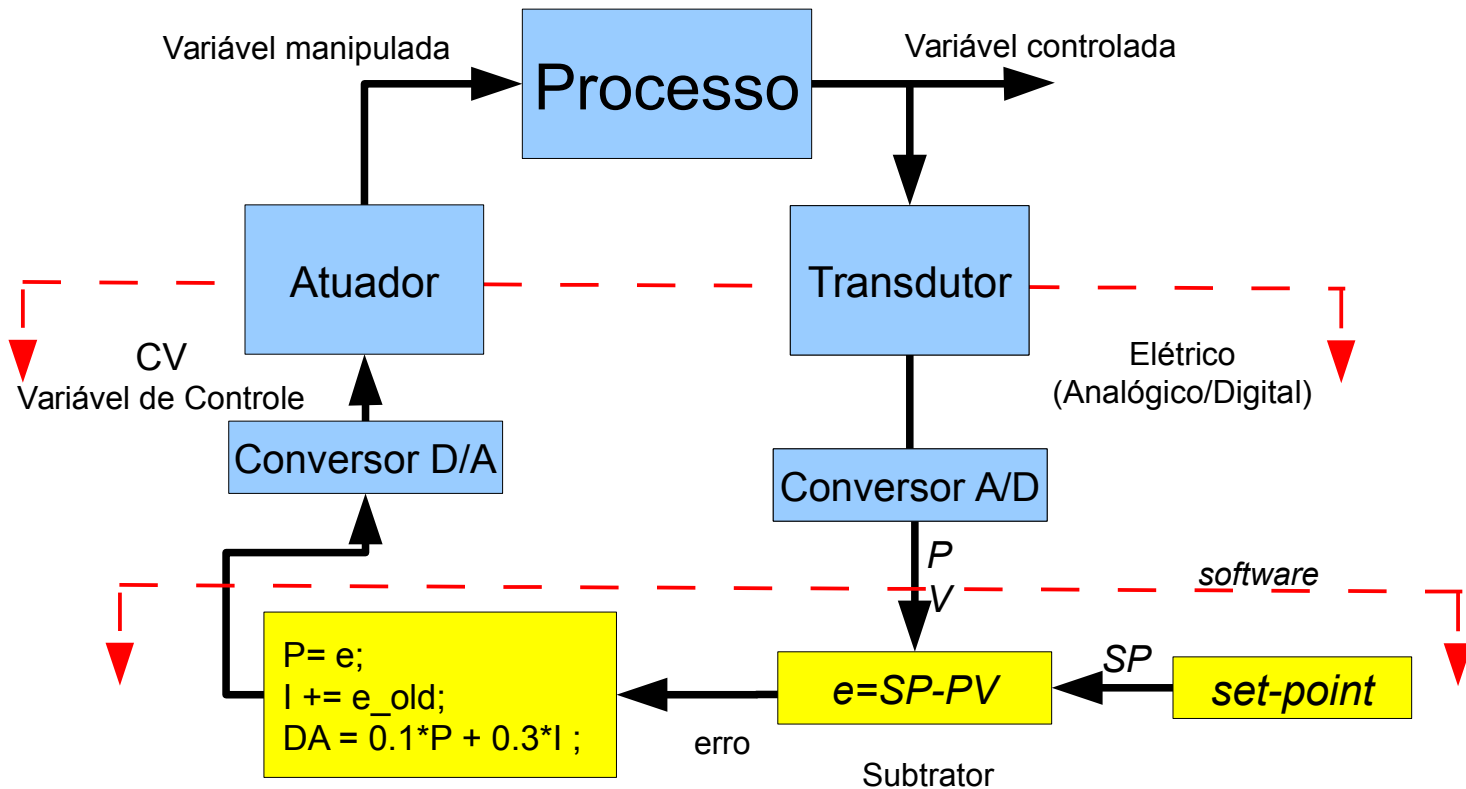
Controle de Processos

- Fluxo de controle de um processo:



Controle de Processos

- Fluxo de controle digital de um processo:



Controle de Processos



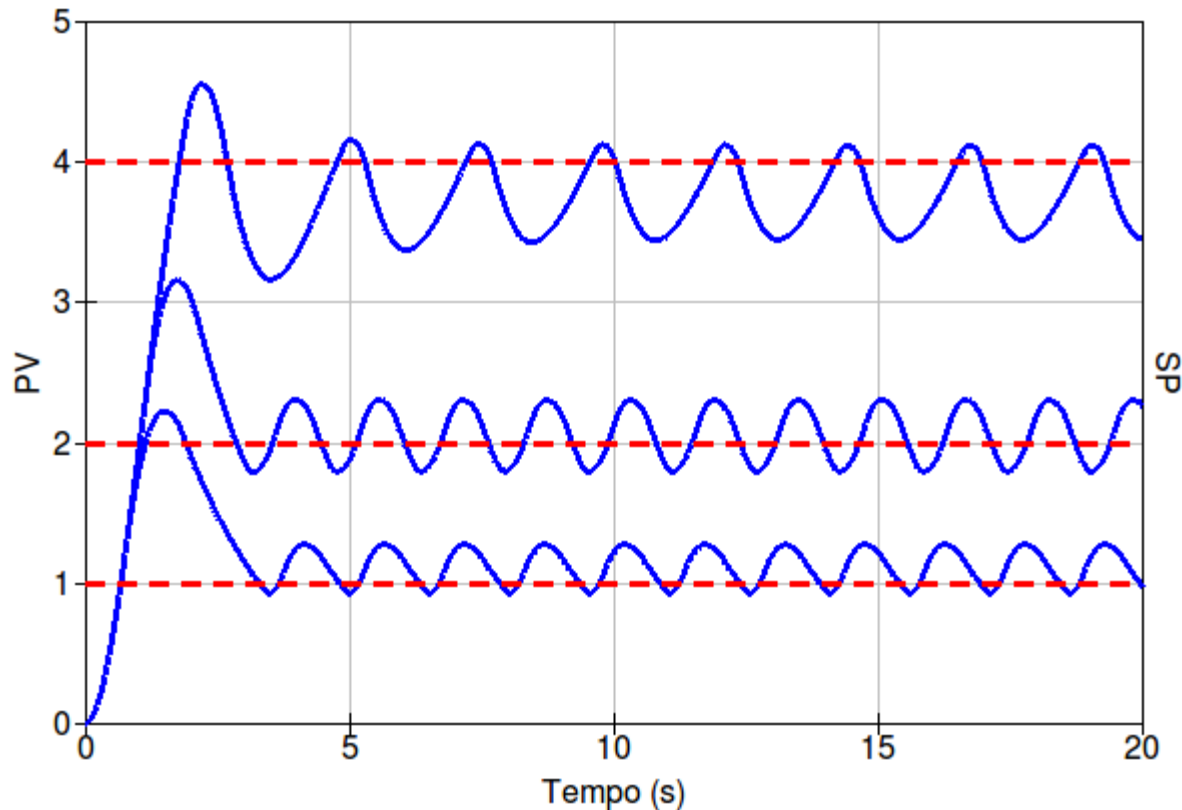
- Principais tipos de controladores
 - Liga-desliga (on-off)
 - Proporcional
 - Integral
 - PI
 - Derivativo
 - PD
 - PID

Controle Liga-desliga

- É o tipo mais simples de controlador
- É baseado em apenas dois estados de atuação:
 - erro negativo ($PV < SP$) \Rightarrow liga atuador
 - erro positivo ($PV > SP$) \Rightarrow desliga atuador
- É usado no controle de variáveis de processo “lentas” e pouco críticas
- Não exige conhecimento prévio do sistema

Controle Liga-desliga

- Curva típica de um controlador liga-desliga:



Controle Liga-desliga

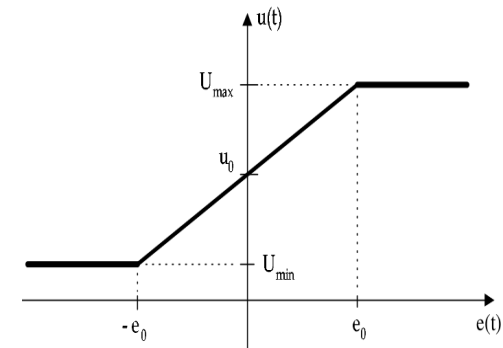
- Características:
 - Não é necessário cálculos ou identificação do sistema
 - A correção independe da intensidade do erro
 - O valor de PV possui sempre uma oscilação
 - Está sujeito a altos valores de sobre-elevação (overshoot)
 - O valor médio do PV possui um erro em relação ao SP
- Aplicações principais:
 - Controle de temperatura (geladeira, ar condicionado, etc)
 - Controle de nível de líquidos

Controle Proporcional

- O valor da variável de controle (CV) é proporcional ao valor do erro dentro da faixa linear do atuador

$$CV = K_p e + CV_0$$

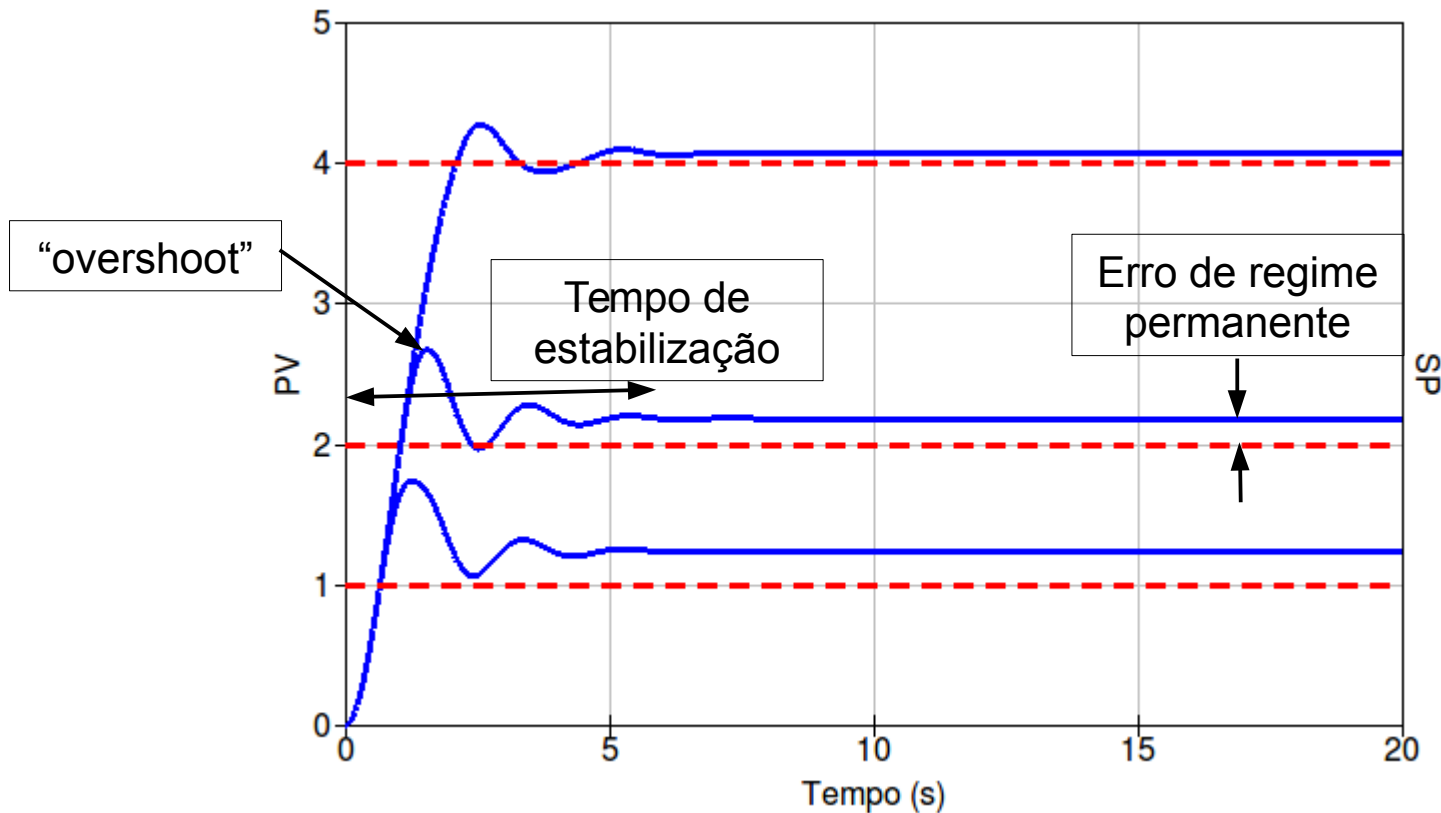
- K_p : ganho proporcional



- O atuador deve possuir ajuste contínuo
- É usado no controle de variáveis de processo que toleram erros em regime permanente
- Exige conhecimento prévio do sistema

Controle Proporcional

- Curva típica de um controlador proporcional:



Controle Proporcional

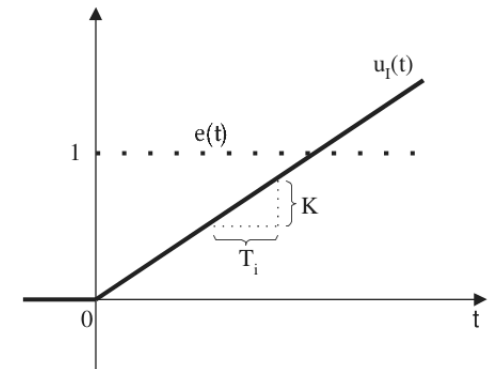
- Características:
 - É necessário cálculos e identificação do sistema
 - A correção depende da intensidade do erro
 - O valor de PV pode ser estável
 - Está sujeito a sobre-elevação (overshoot)
 - O valor médio do PV possui um erro em relação ao SP
- Aplicações principais:
 - Controle de velocidade (motores)
 - Controle de temperatura

Controle Integral

- O valor da variável de controle (CV) é proporcional à integral temporal do valor do erro dentro da faixa linear do atuador

$$CV = K_I \int e dt + CV_0$$

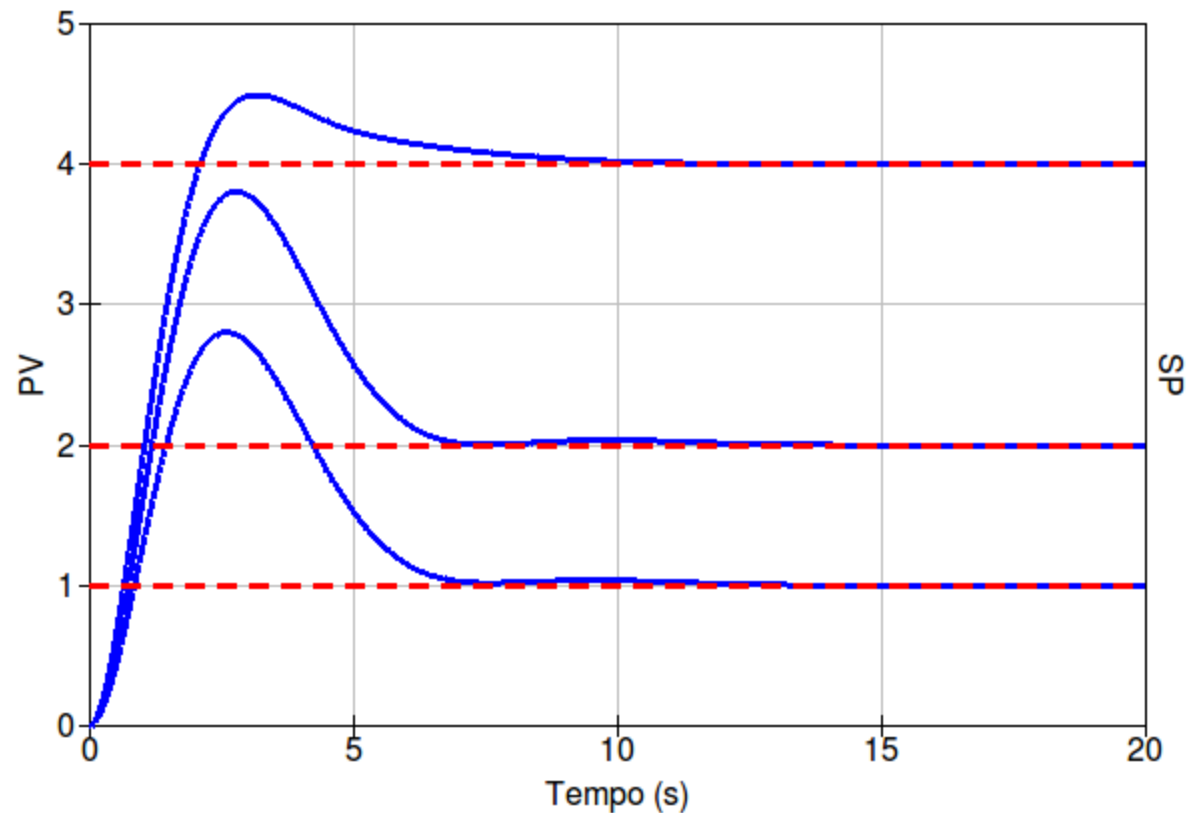
- K_I : ganho integral



- O atuador deve possuir ajuste contínuo
- É usado no controle de variáveis de processo que não toleram erros em regime permanente
- Exige conhecimento prévio do sistema

Controle Integral

- Curva típica de um controlador integral:



Controle Integral

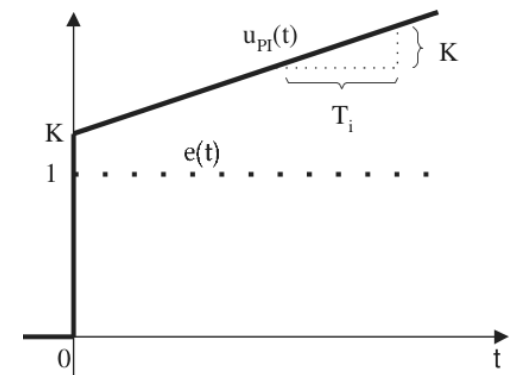
- Características:
 - É necessário cálculos e identificação do sistema
 - A correção depende da intensidade do erro e do tempo
 - O valor de PV pode ser estável
 - Está sujeito a grande sobre-elevação (overshoot)
 - O erro em regime permanente é "zero"
- Aplicações principais:
 - Controle de velocidade e posição
 - Controle de temperatura

Controle PI

- O valor da variável de controle (CV) é proporcional ao valor do erro somado à sua integral temporal dentro da faixa linear do atuador

$$CV = K_P e + K_I \int e dt + CV_0$$

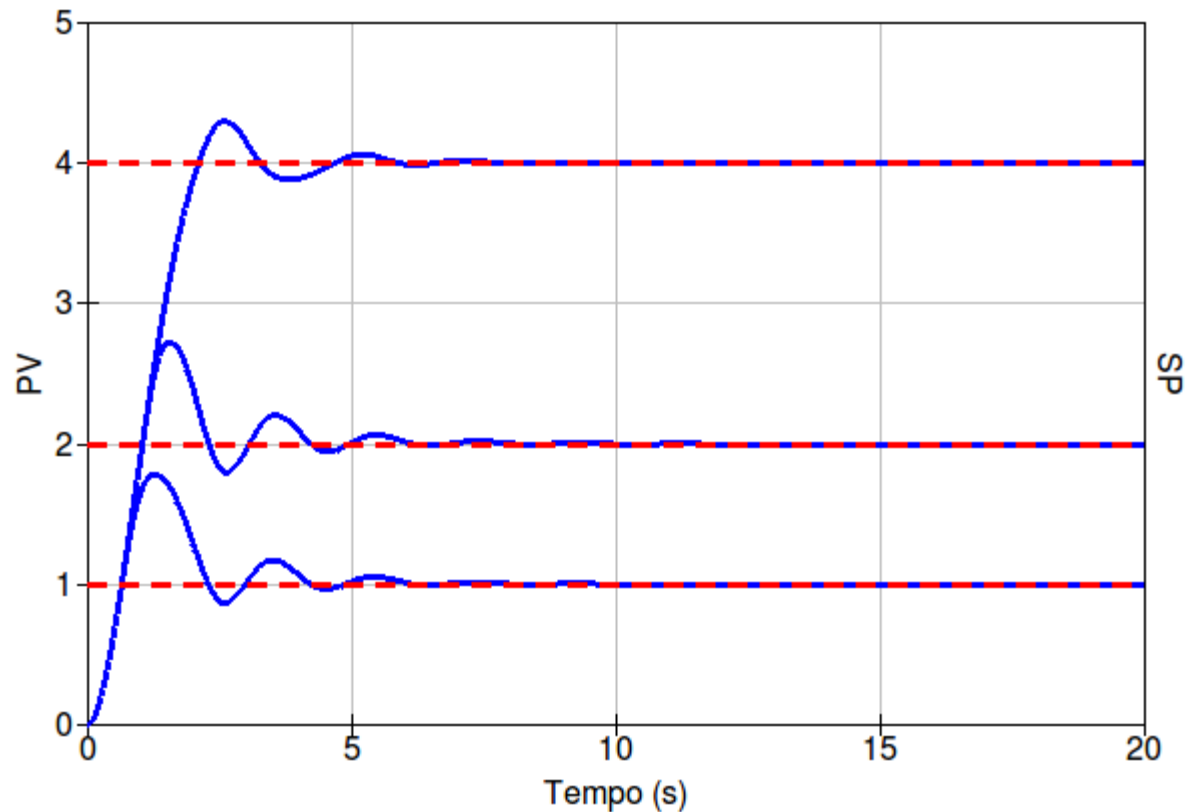
- K_P : ganho proporcional
- K_I : ganho integral



- O atuador deve possuir ajuste contínuo
- É usado no controle de variáveis de processo que não toleram erros em regime permanente
- Exige conhecimento prévio do sistema

Controle PI

- Curva típica de um controlador PI:



Controle PI

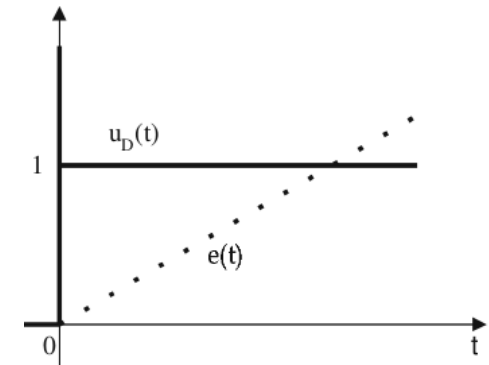
- Características:
 - É necessário cálculos e identificação do sistema
 - A correção depende da intensidade do erro e do tempo
 - O valor de PV pode ser estável
 - Está sujeito a grande sobre-elevação (overshoot)
 - O erro em regime permanente é "zero"
- Aplicações principais:
 - Controle de velocidade (motores)
 - Controle de temperatura

Controle PD

- O valor da variável de controle (CV) é proporcional ao valor do erro somado à sua derivada temporal dentro da faixa linear do atuador

$$CV = K_P e + K_D \frac{de}{dt} + CV_0$$

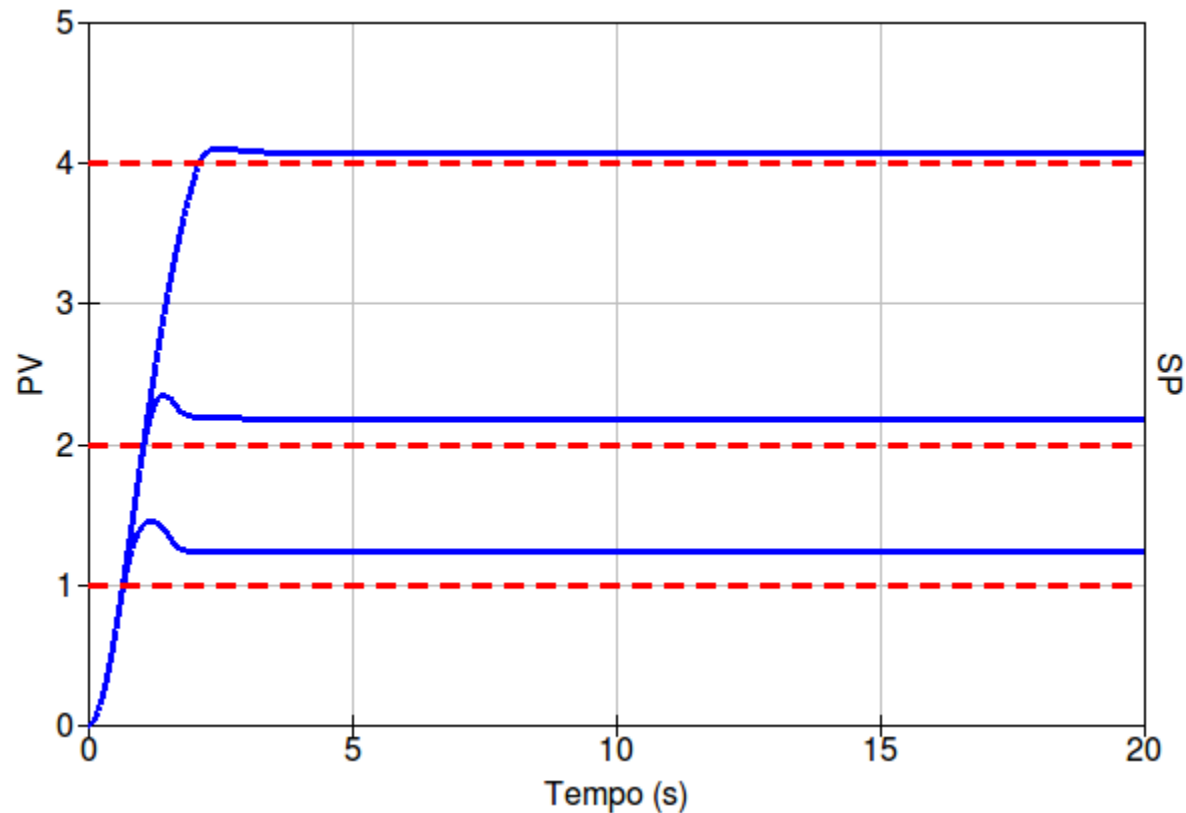
- K_P : ganho proporcional
- K_D : ganho derivativo



- O atuador deve possuir ajuste contínuo
- É usado no controle de variáveis de processo que são sujeitas a oscilações e toleram erros em regime permanente
- Exige conhecimento prévio do sistema

Controle PD

- Curva típica de um controlador PD:



Controle PD

- Características:
 - É necessário cálculos e identificação do sistema
 - A correção depende da intensidade do erro e do tempo
 - O valor de e é estável
 - Possui pequena sobre-elevação (overshoot)
 - Existe erro em regime permanente
- Aplicações principais:
 - Controle de velocidade, posição, ângulo
 - Controle de temperatura
 - Controle de pressão, vazão

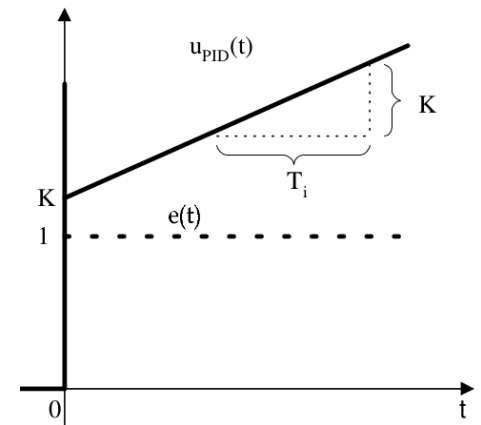
Controle PID

- O valor da variável de controle (CV) é proporcional ao valor do erro somado à sua integral e derivada temporal dentro da faixa linear do atuador

$$CV = K_P e + K_I \int e dt + K_D \frac{de}{dt} + CV_0$$

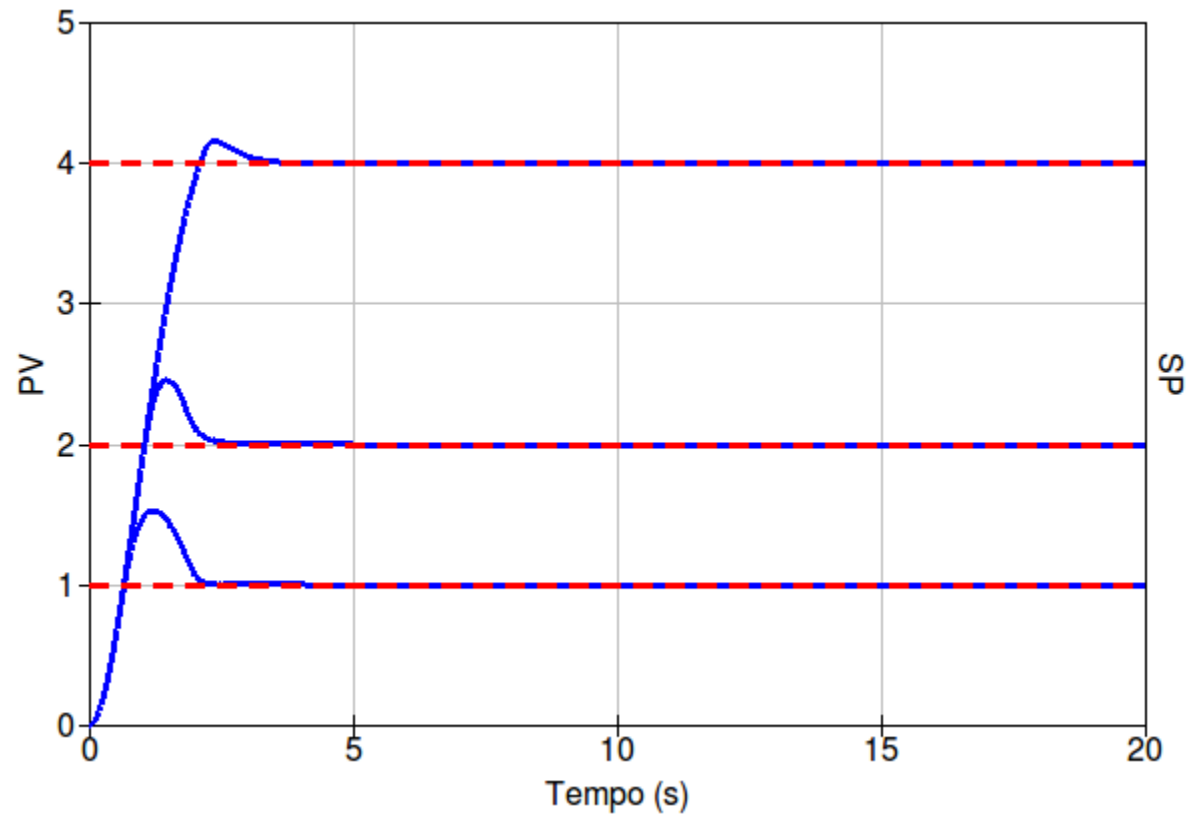
- K_P : ganho proporcional
- K_I : ganho integral
- K_D : ganho derivativo

- O atuador deve possuir ajuste contínuo
- É usado no controle de variáveis de processo que são sujeitas a oscilações e não toleram erros em regime permanente
- Exige conhecimento prévio do sistema



Controle PID

- Curva típica de um controlador PID:

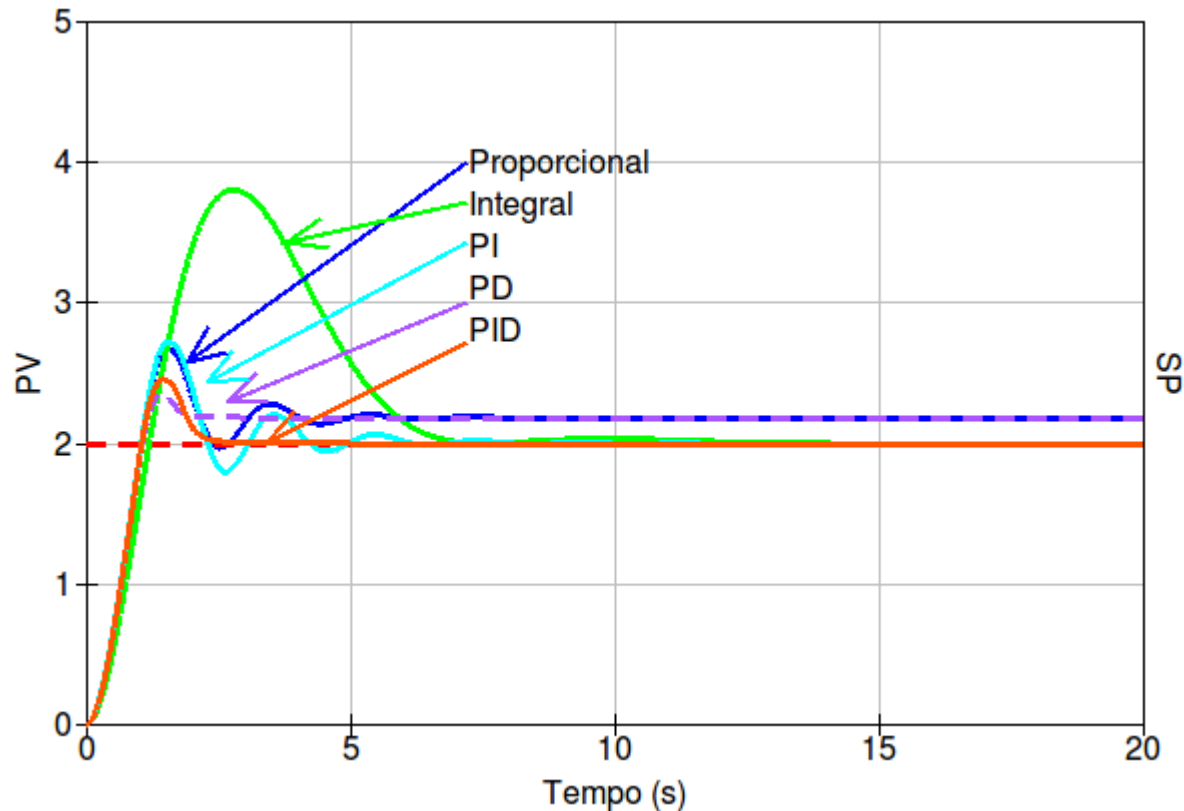


Controle PID

- Características:
 - É necessário cálculos e identificação do sistema
 - A correção depende da intensidade do erro e do tempo
 - O valor de PV é estável
 - Proporciona pequena sobre-elevação (overshoot)
 - O erro em regime permanente é "zero"
- Aplicações principais:
 - Controle de velocidade (motores)
 - Controle de temperatura

Controle P, I, PI, PD, PID

- Comparativo da resposta de controladores:



Controle P, I, PI, PD, PID

- Quadro comparativo da resposta de controladores:

	Erro em regime permanente	“overshoot”	Tempo de estabilização
P	grande	médio	médio
I	“zero”	grande	grande
PI	“zero”	médio	grande
PD	grande	pequeno	pequeno
PID	“zero”	pequeno	pequeno

Controle P, I, PI, PD, PID

- Referências:
- <http://lorien.ncl.ac.uk/ming/digicont/digimath/dpid1.htm#Laplace>
- https://controls.engin.umich.edu/wiki/index.php/PIDTuningClassical#Closed_Loop_.28Feedback_Loop.29
- http://en.wikipedia.org/wiki/Ziegler%E2%80%93Nichols_method
- <http://www.edaboard.com/thread98387.html>