

Sistemas Embarcados

Prof. Josenalde Oliveira

TADS UFRN

Sistemas de Controle Automático

O objetivo de um sistema de controle consiste em aplicar sinais adequados na entrada de controle a fim de fazer com que o sinal de saída apresente um comportamento pré-especificado, e que o efeito da ação das perturbações sobre este comportamento seja minimizado ou mesmo Completamente eliminado.

Conceitos:

PROCESSO ou PLANTA: sistema a ser controlado

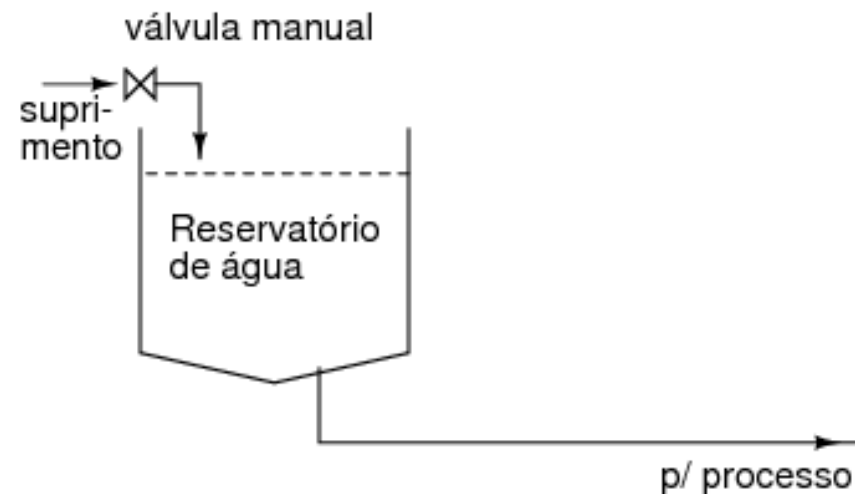
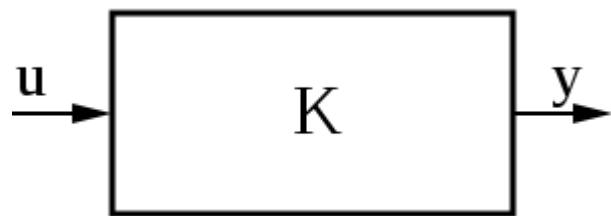
SINAL DE CONTROLE ou VARIÁVEL MANIPULADA (MV): sinal a ser aplicado na entrada da PLANTA

VARIÁVEL CONTROLADA ou VARIÁVEL DE PROCESSO (PV): saída do processo o que se deseja controlar

Sistemas de Controle Automático

CONFIGURAÇÕES:

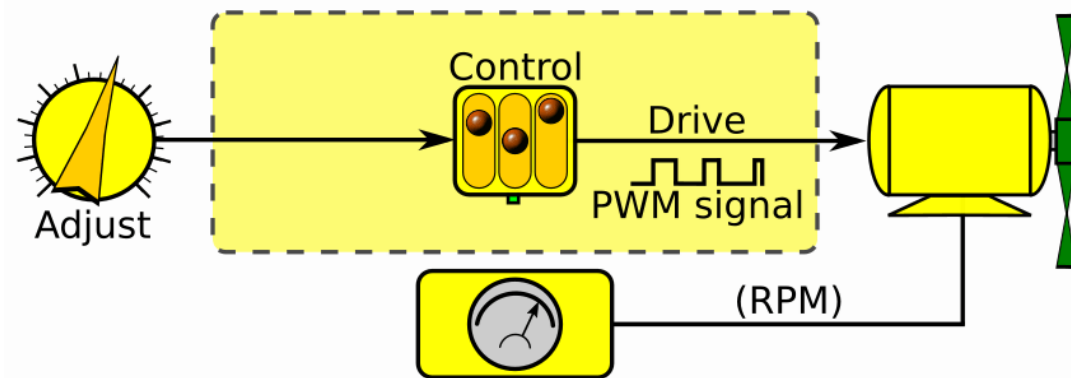
MALHA ABERTA: sinal de controle predeterminado, imprecisão, Não rejeita perturbações externas, não necessita sensores, pois não há uso de feedback, mais barato e simples (ex: micro-ondas, máquina de lava Cafeteira etc.)



Sistemas de Controle Automático

CONFIGURAÇÕES:

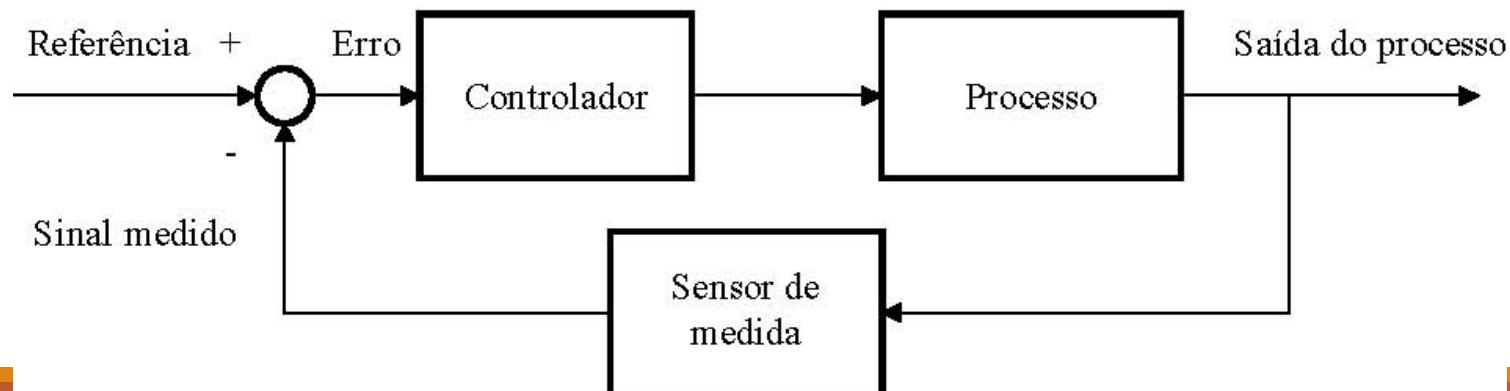
MALHA ABERTA: sinal de controle predeterminado, imprecisão, Não rejeita perturbações externas, não necessita sensores, pois não há uso de feedback, mais barato e simples (ex: micro-ondas, máquina de lava Cafeteira etc.)



Sistemas de Controle Automático

CONFIGURAÇÕES:

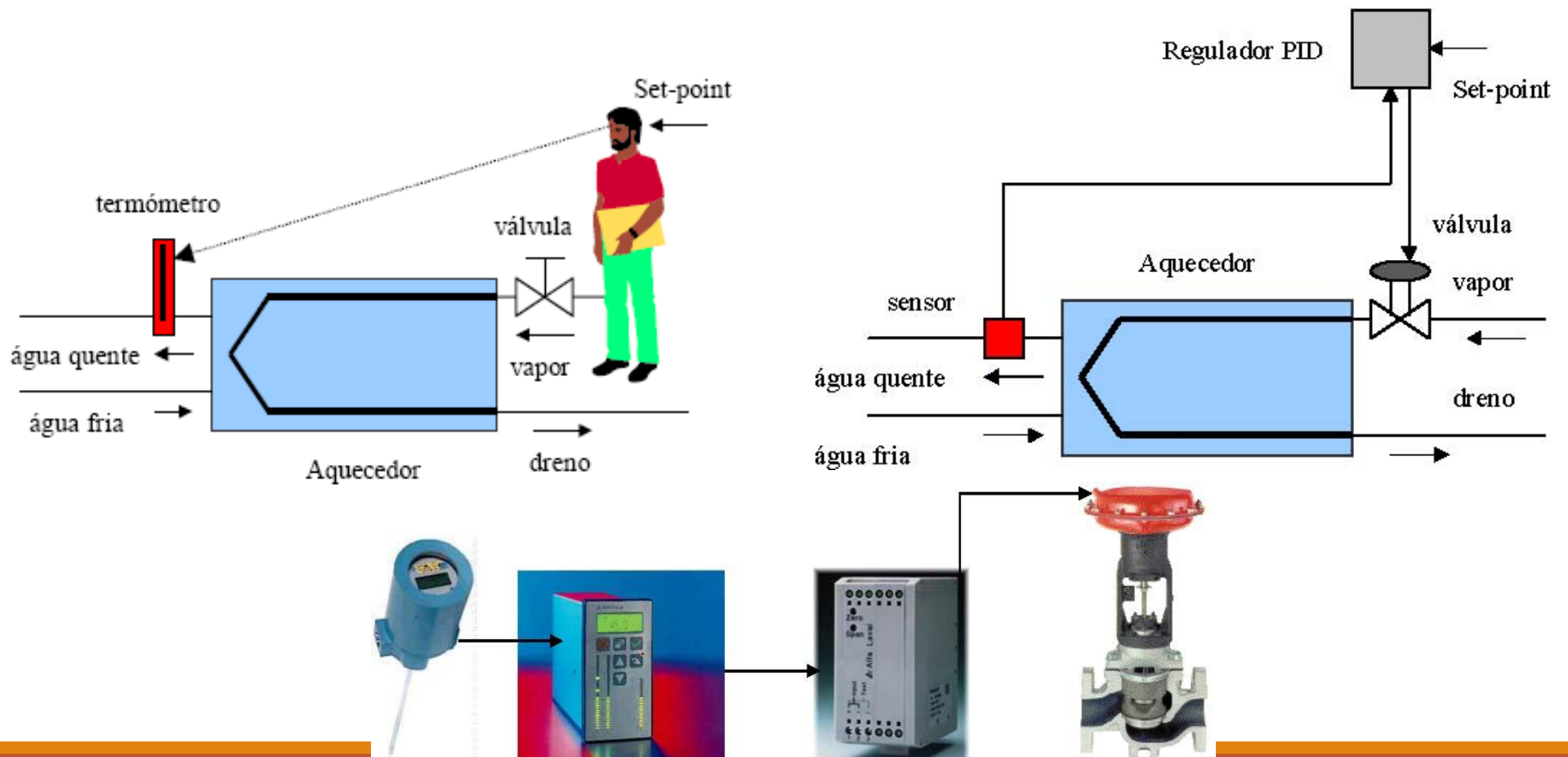
MALHA FECHADA: informações sobre como a saída (medida) do processo está evoluindo são utilizadas para determinar o sinal de controle a cada instante de tempo. Este processo de usar a saída para corrigir a entrada comparando com o set point é chamado realimentação. Em geral o sinal de controle é de baixa corrente, sendo necessário elemento atuador, como Válvulas proporcionais, resistências, drivers de motores etc.



Sistemas de Controle Automático

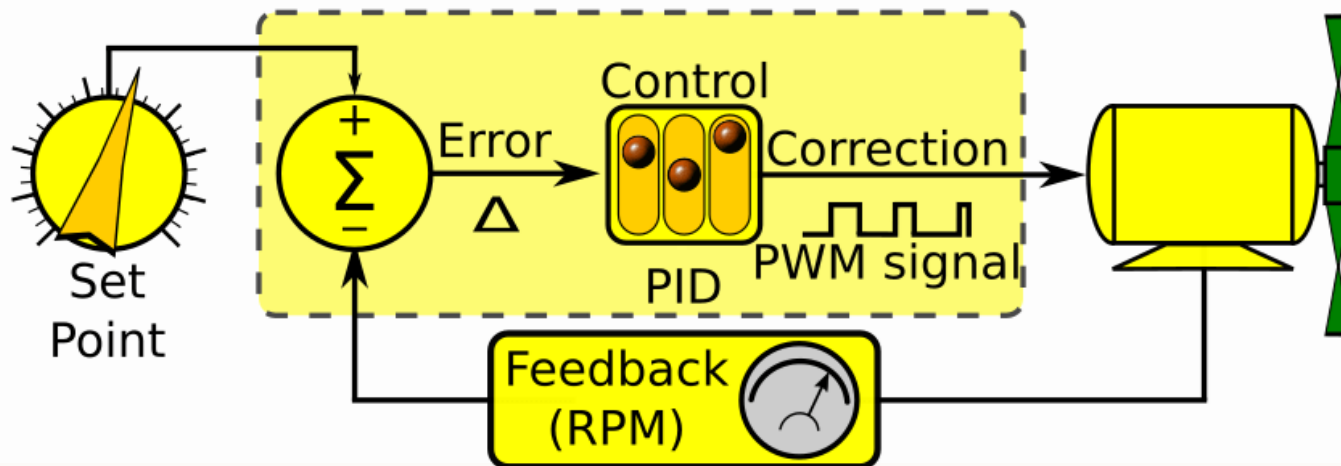
Fonte: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAenKIAE/sistemas-controle>

EXEMPLO EM MALHA FECHADA:



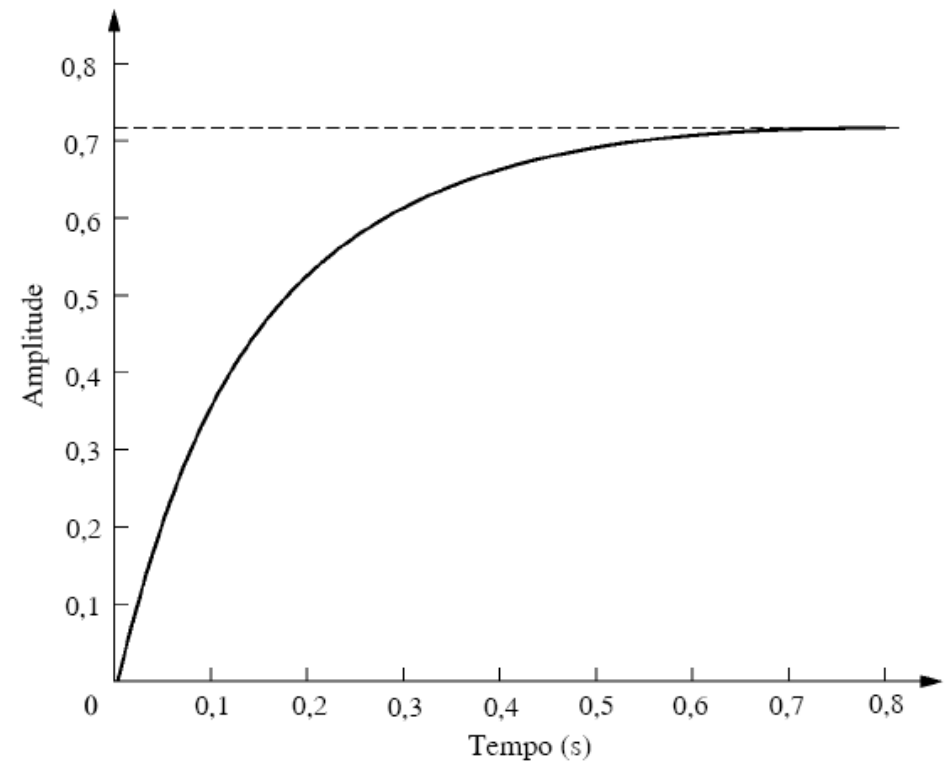
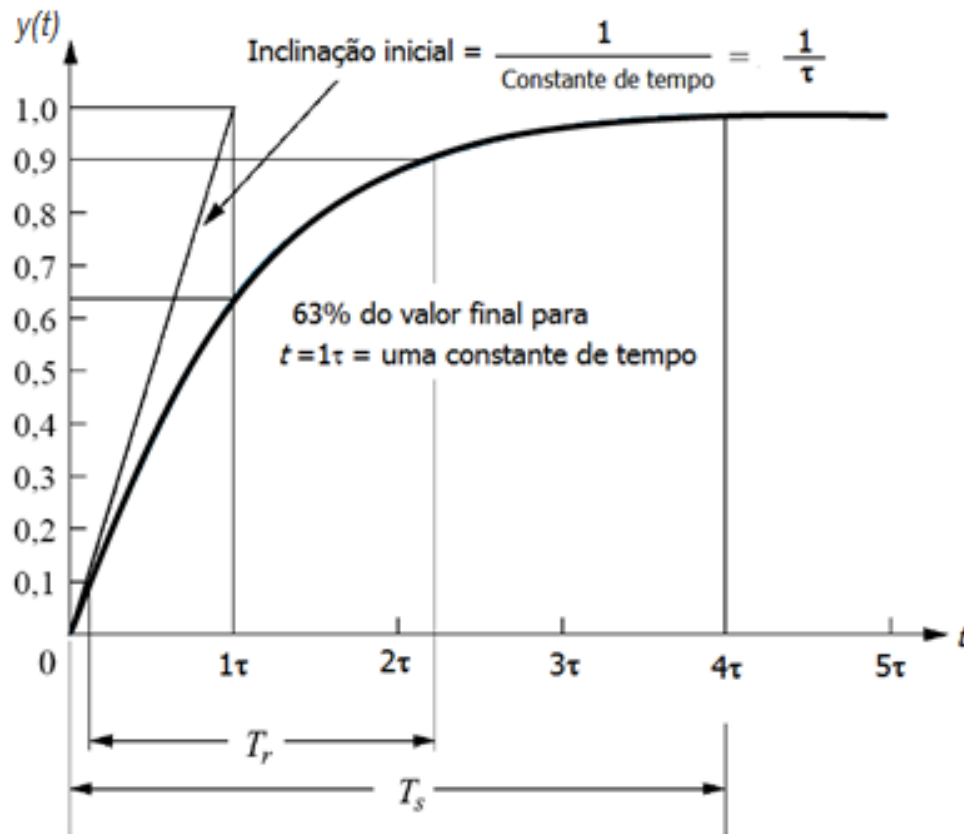
Sistemas de Controle Automático

OBS sobre comparação SETPOINT, FEEDBACK: os valores devem estar na mesma unidade. Exemplo: num controle de velocidade de um motor Elétrico , o sensor tacômetro possui ganho (relação) de 10 mV/rpm. No display (frontend) do controlador, o usuário iria definir setpoint de 1500 rpm, mas internamente o valor do sensor (em volts) será comparado Com **1500 rpm x fator, ou seja, $1500 \times 10 \text{ mV/rpm} = 15\text{V}$.**



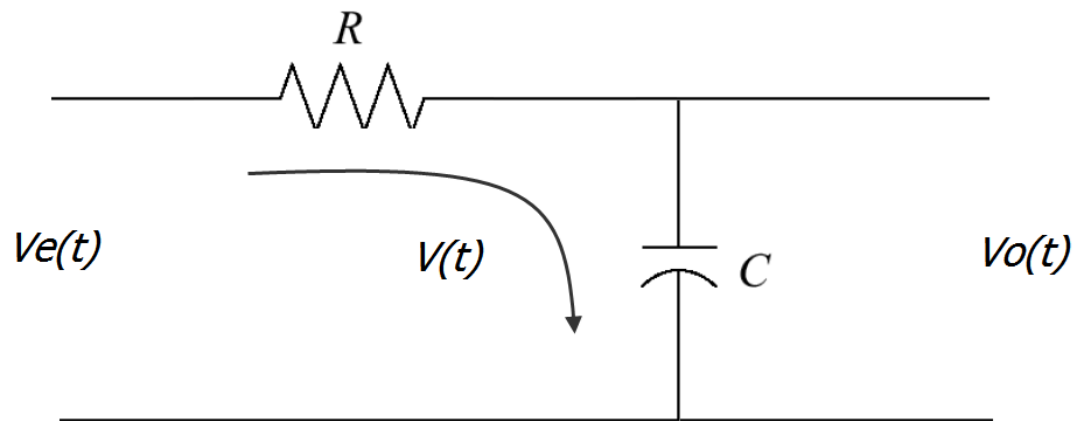
Sistemas de Controle Automático

Respostas típicas de sistema: ordem 1 (térmico, nível ...)



Sistemas de Controle Automático

Respostas típicas de sistema: ordem 1 (térmico, nível ...)



Carga $V(t) = E(1 - e^{-t/RC})$

Descarga $V(t) = Ee^{-t/RC}$

t	E
τ	63,2%
2τ	86,5%
3τ	95%
4τ	98,2%
5τ	~100%

Tabela 1: carga sobre o capacitor para tempos múltiplos da constante de tempo

$$V_o/V_e = 1/RCs + 1 \text{ ou } (1/RC) / (s + 1/RC)$$

Função de Transferência: representa a relação Saída/Entrada de um Sistema
Permite obter resposta em malha aberta e ajustar controlador

Sistemas de Controle Automático

Simular no TinkerCad o Sistema de Ordem 1 RC: $1/s + 1$, com $R = 10K$ e $C = 100\mu F$

Existem inúmeras técnicas/algoritmos/regras para sintonia de parâmetros PID

ZIEGLER NICHOLS

RESPOSTA AO DEGRAU (AMIGO, COHEN-COON)

GANHO CRÍTICO (malha fechada)

FERRAMENTAS DE AUTO TUNING (pidtuner, MATLAB etc.)

Etc.

$$K_p = \left(\frac{1}{K}\right) \left(0.2 + 0.45 \frac{T}{L}\right)$$

$$T_i = \left(\frac{0.4L + 0.8T}{L + 0.1T}\right) L$$

$$T_d = \frac{0.5LT}{0.3L + T}$$

Vamos aplicar as regras AMIGO

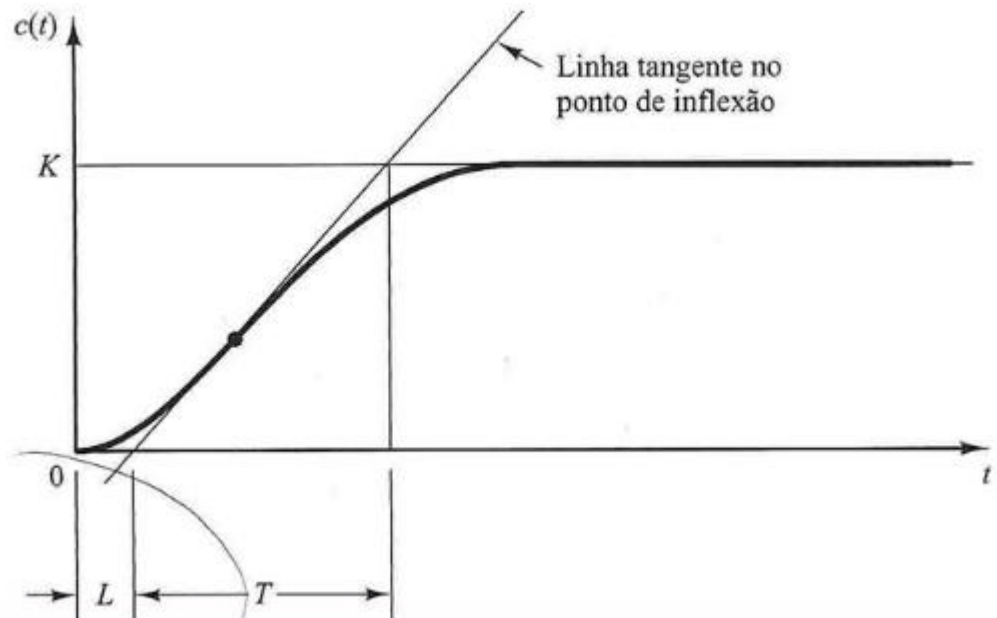
(Astrom, Hagglund, 2004)

Vídeos Prof. Paulo Oliveira (UTAD)

<https://www.youtube.com/watch?v=i-A0GrpPcGY>

Sistemas de Controle Automático

Método da resposta ao degrau



Forma geral

$$G(s) = K / (Ts + 1) * e^{-Ls}$$

$$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1} e^{-\theta s}$$

□ Proposta de Ziegler-Nichols

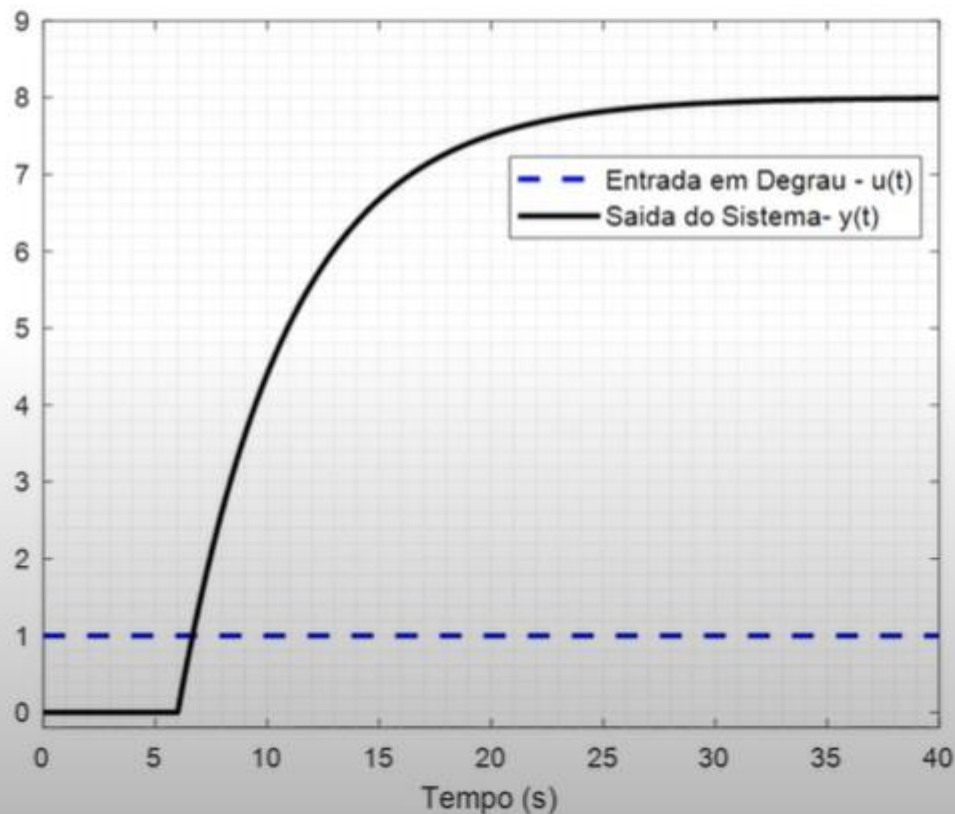
Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0,9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0,5L$

Comparativo de métodos num trocador de calor: <http://www.ijserd.com/articles/IJSRDV3I40567.pdf>

Exemplo

<https://www.youtube.com/watch?v=i-A0GrpPcGY>

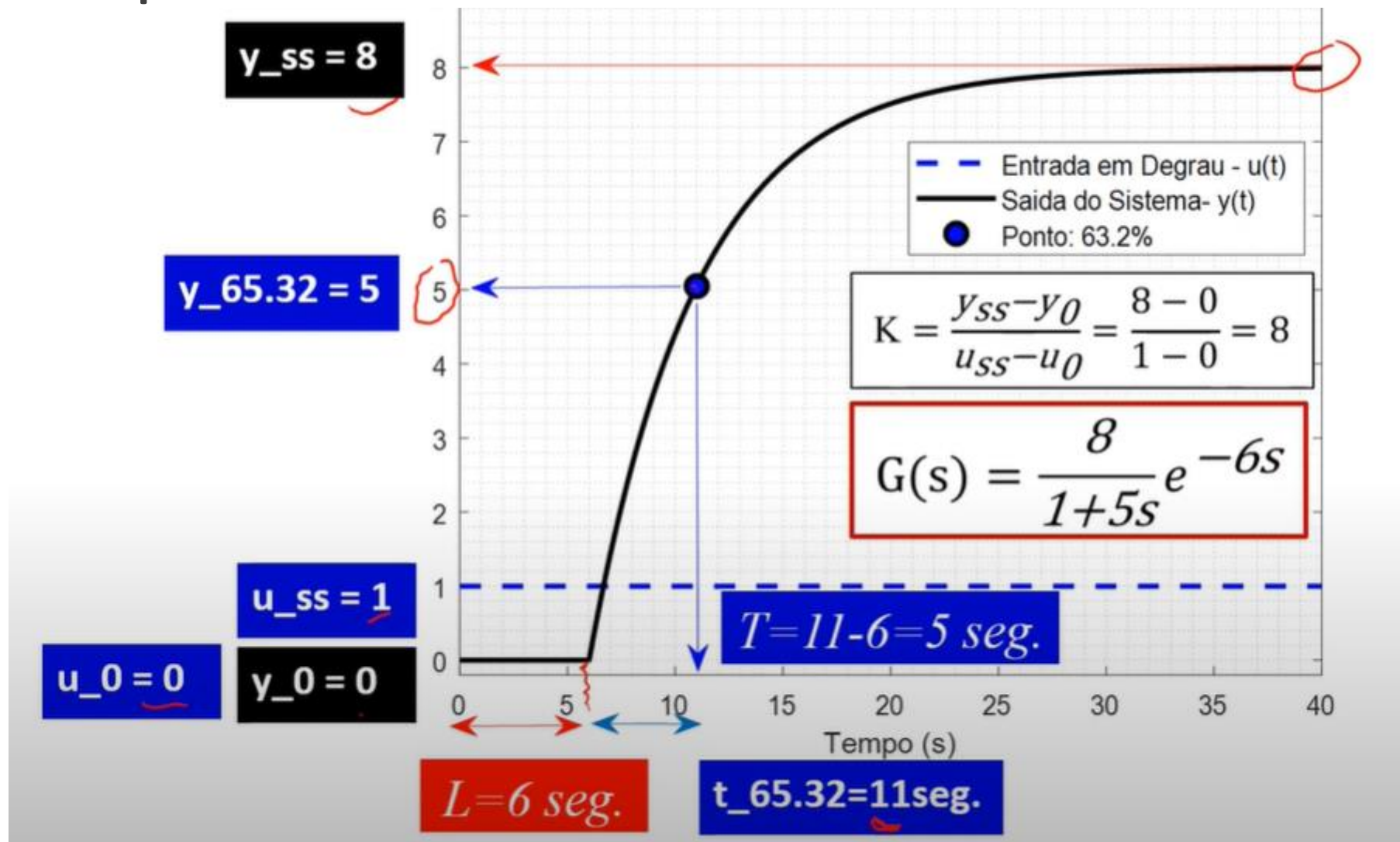
Considere a seguinte resposta de um sistema, para uma entrada em degrau unitário, obtida em malha aberta. A partir desta resposta obtenha um modelo de primeira ordem com atraso no tempo.



By Oliveira, P. UTAD

Exemplo

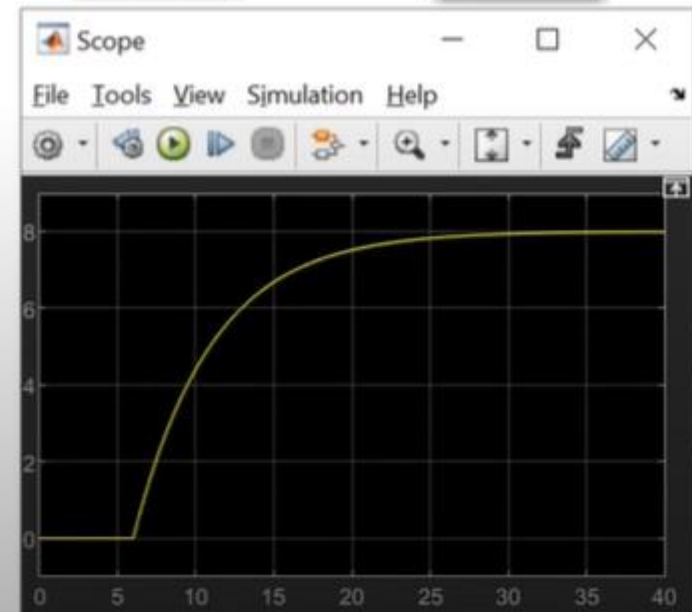
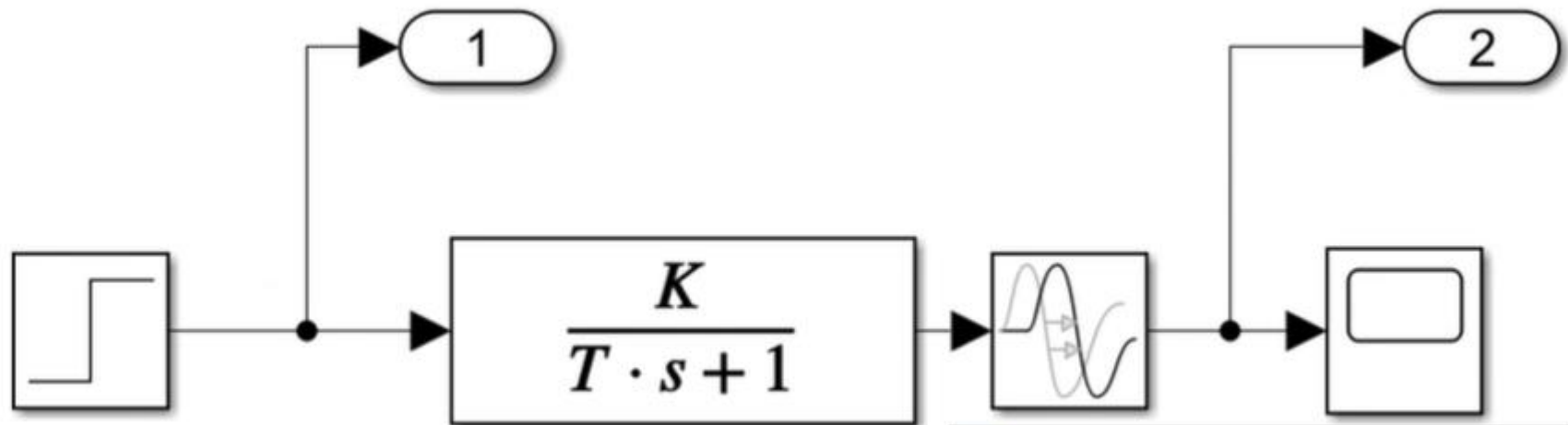
<https://www.youtube.com/watch?v=i-A0GrpPcGY>



By Oliveira, P. UTAD

Exemplo

<https://www.youtube.com/watch?v=i-A0GrpPcGY>



Simulação gráfica SIMULINK - MATLAB

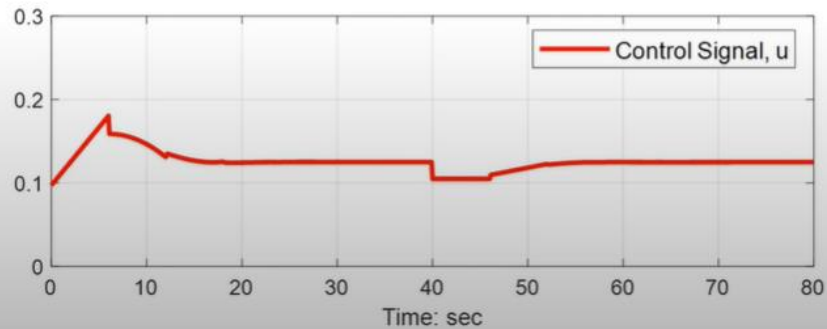
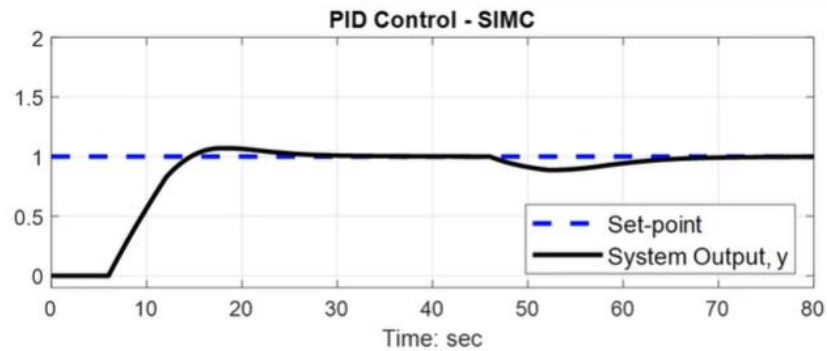
By Oliveira, P. UTAD

Exemplo

<https://www.youtube.com/watch?v=i-A0GrpPcGY>

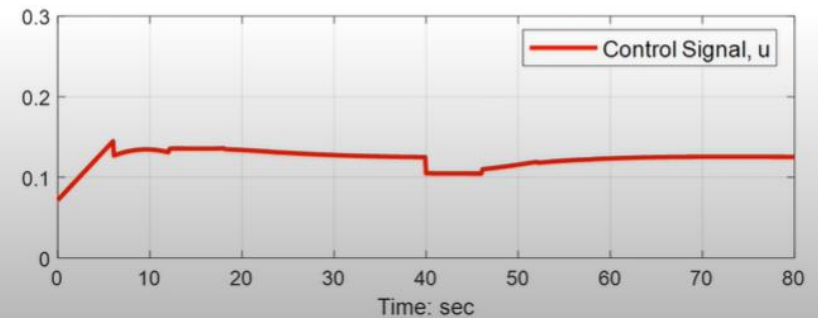
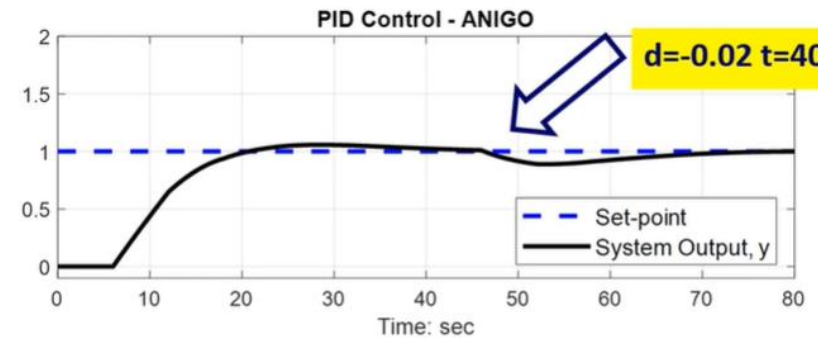
Regras SIMC [2]

$K_p=0.097, T_i=7s, T_d=1.43s$



Regras AMIGO [1]

$K_p=0.072, T_i=5.91s, T_d=2.21s$

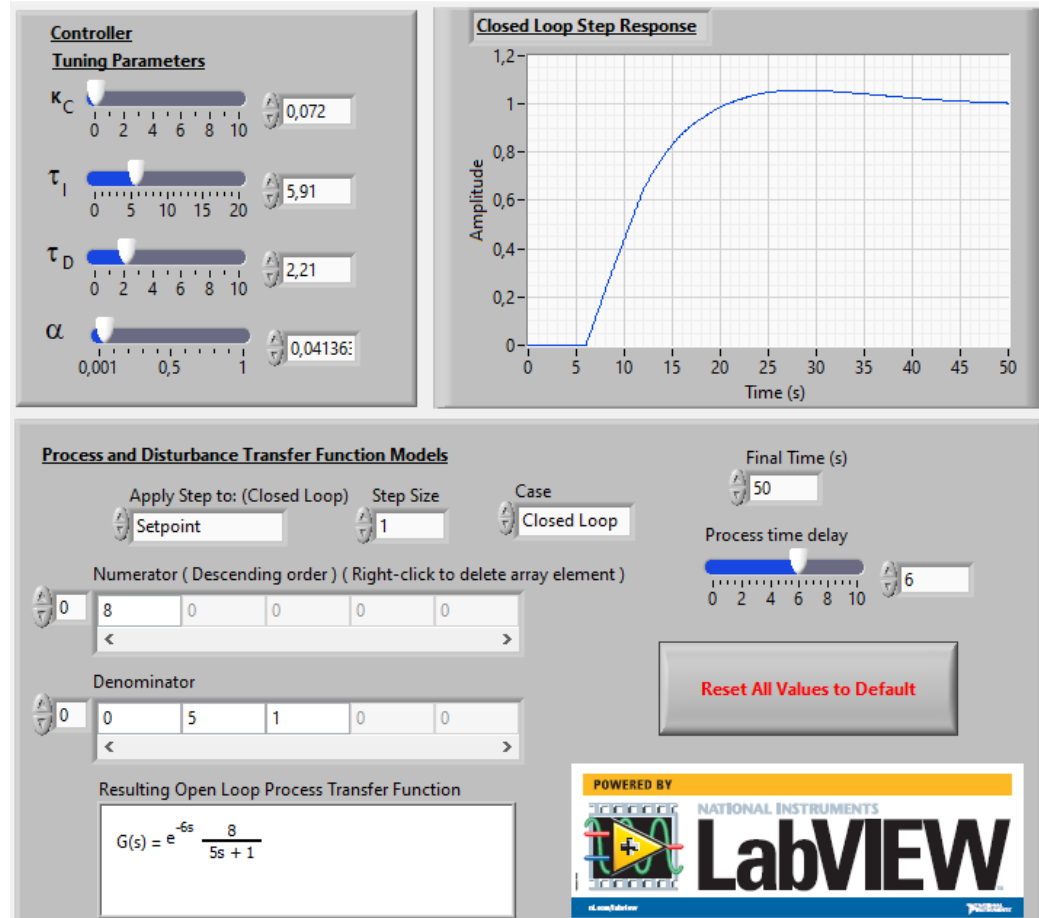


$d=-0.02$ $t=40\text{seg}$ (Carga)

By Oliveira, P. UTAD

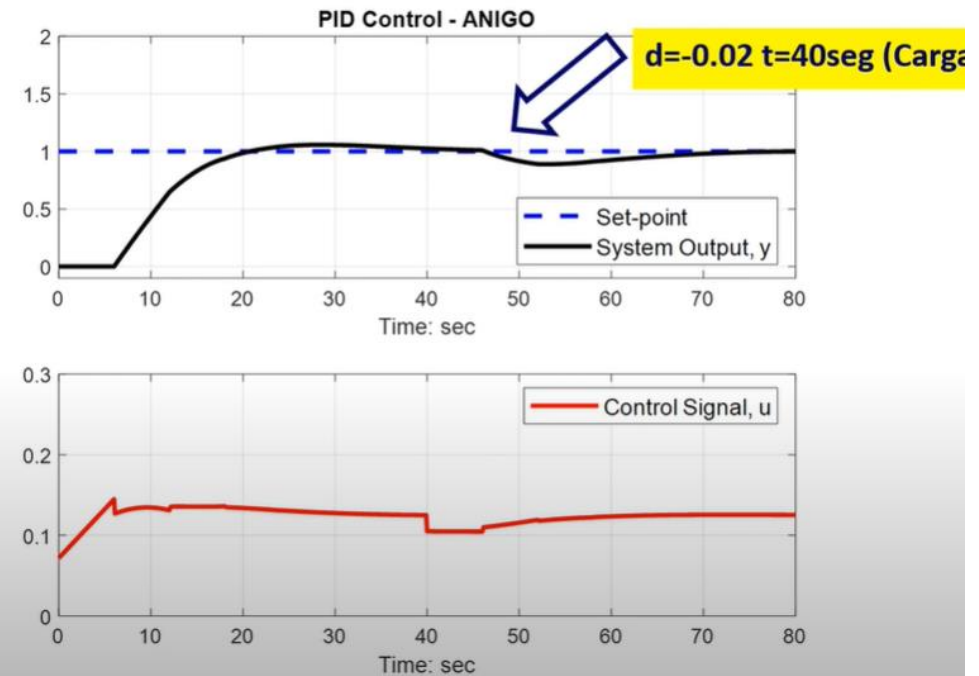
Exemplo

Process PID Control Tuner.vi



Regras AMIGO [1]

$$K_p=0.072, T_i=5.91s, T_d=2.21s$$



By Oliveira, P. UTAD

E site pidtuner.com

Exemplo

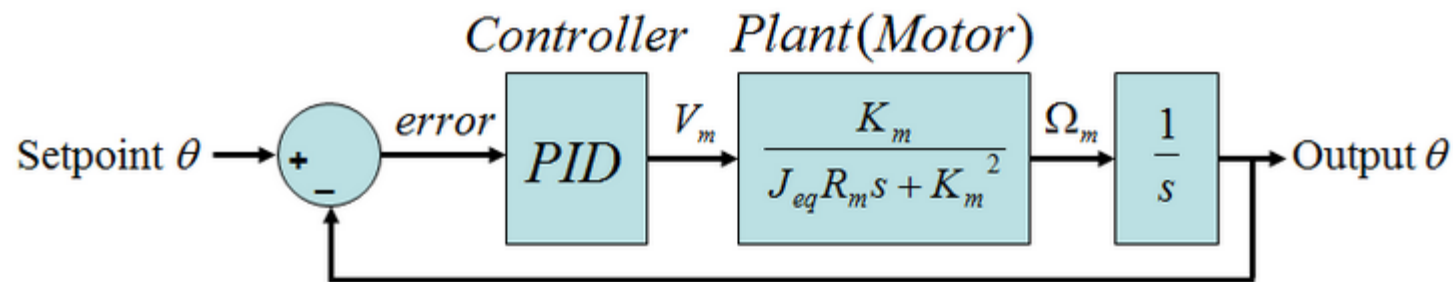
<https://www.youtube.com/watch?v=i-A0GrpPcGY>

- [1] Åström, K. J., and T. Hägglund, Advanced PID Control, ISA, Research Triangle Park, NC, 2006, ISBN 1-55617-942-1
- [2] Skogestad S. and Grimholt C, The SIMC Method for Smooth PID Controller Tuning, Chapter 5, R. Vilanova, A. Visioli (eds.), PID Control in the Third Millennium, ISBN 978-1-4471-2424-5

By Oliveira, P. UTAD

Sistemas de Controle Automático

Modelo físico de motor DC – parâmetros físicos



Onde:

V_m – Tensão aplicada (V)

Ω_m = Velocidade angular (rad/s) (converter para RPM)

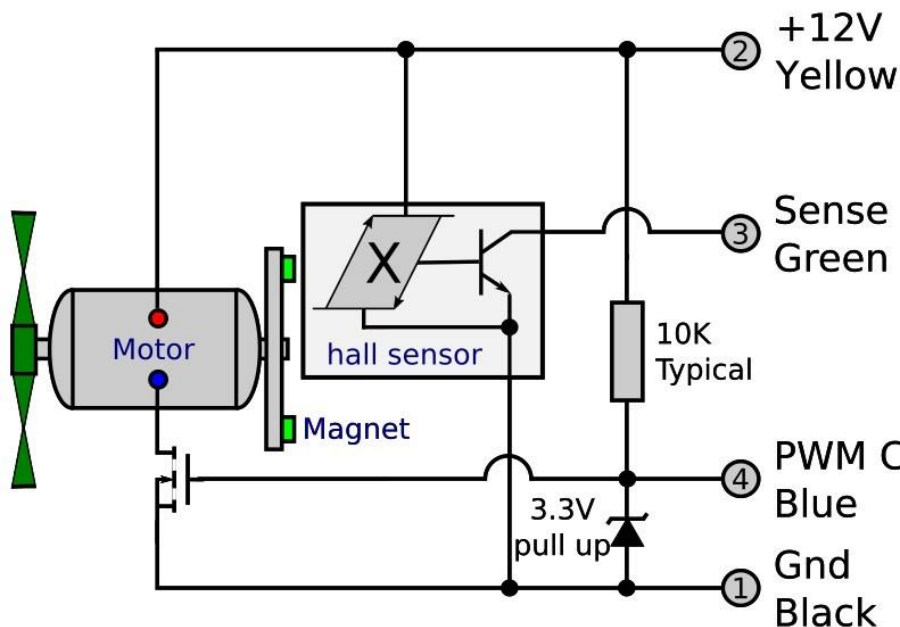
K_m – constante do motor (V/rad/s)

$J_{eq} = J_m$ – momento de inércia da armadura (kg*m²)

R_m – resistencia da armadura do motor (ohms)

Sistemas de Controle Automático

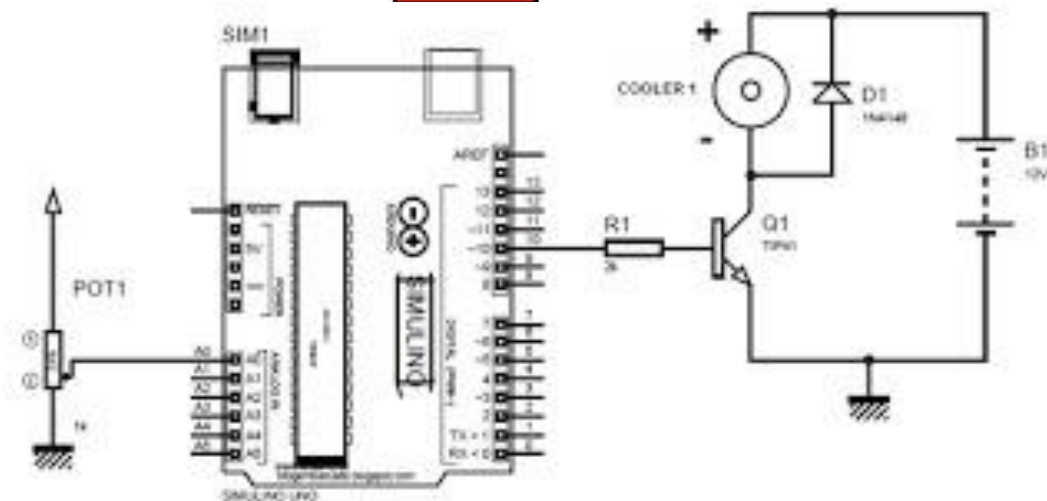
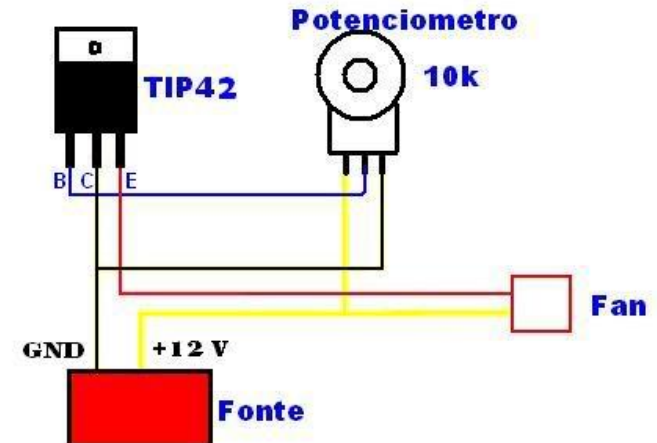
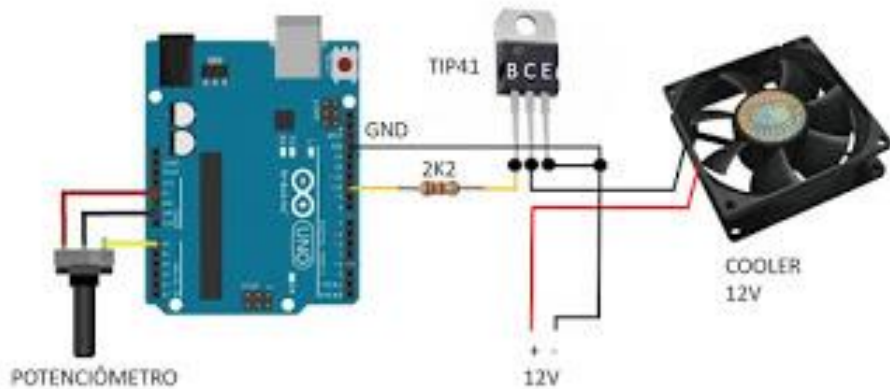
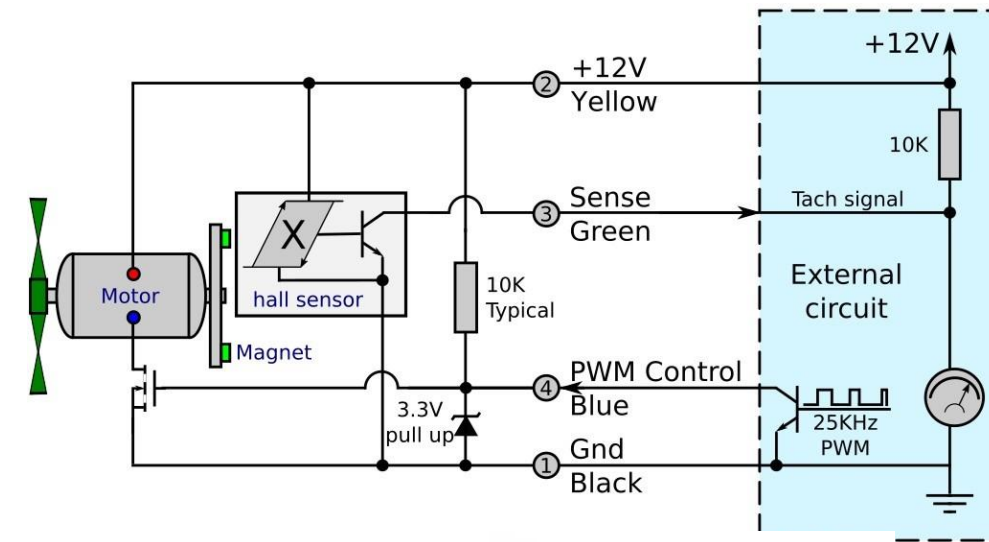
Circuito para medir velocidade de ventoinha de PC (DC motor)



- Verificar sinal do sensor no osciloscópio
- Se usar Ventoinha de +12V, sinal do Sensor deve ser reduzido para +5V, com Regulador 7805, por exemplo.
- escrever código para medir velocidade
- aplicar sinal na entrada e registrar Evolução da saída para gerar gráfico
- obter função de transferência
- projetar PID
- definir setpoint e efetuar controle de velocidade

Sistemas de Controle Automático

Circuito para medir velocidade de ventoinha de PC (DC motor)



Usando o módulo L298N

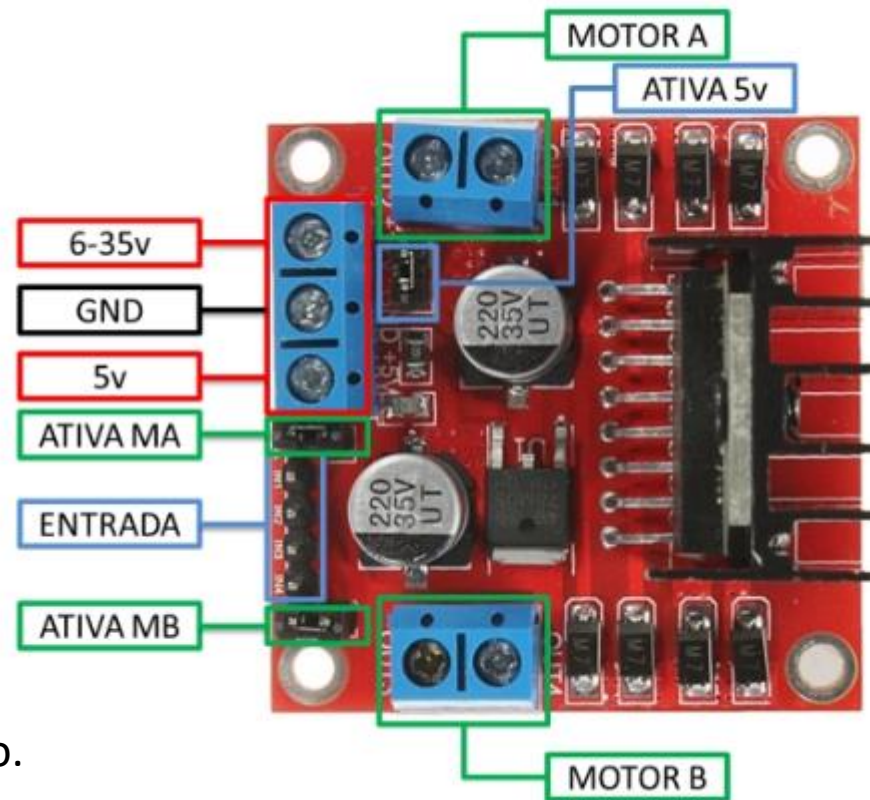


Sistemas de Controle Automático

Usando o módulo L298N

No caso de ventoinha 12VDC, não ligar fio ao 5v do módulo, ligar a fonte DC de bancada com 12V ao pino 6-35v e respectivo GND, o qual também deve ser ligado ao GND do microcontrolador. Manter jumper ATIVA MA.

O pino IN1 deve ser ligado ao pino PWM do microcontrolador e IN2 pode estar no GND, para girar sentido horário.



**Como podemos
adaptar ao ESP32?**