**Universidade Federal do Ceará**

**Centro de Centro de Tecnologia**

**Departamento de Engenharia Elétrica**

**Disciplina: Lab. de Controle de Sistemas Dinâmicos**

## Métodos clássicos para modelagem e Redução de Modelos de processos - Resposta Degrau unitário de Malha de Aberta

- Introdução.
- Modelagem de processos de **primeira ordem**.
- Modelagem de processos de **segunda ordem**.

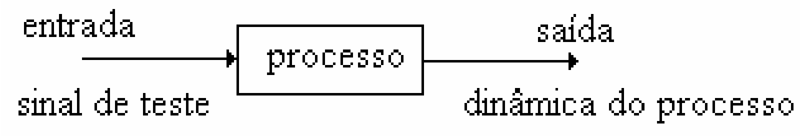
## Introdução

Na análise e projeto de sistemas de controle deve-se adotar uma base de comparação entre os sistemas avaliados.

Esta base pode ser obtida **especificando-se os sinais particulares de entrada e comparando-se as respostas dos sistemas.**

Os sinais de teste de entrada comumente utilizados são: **impulso**, **degrau**, **rampa**, **senoidal**.

Procedimento de avaliação da dinâmica de um processo frente a sinais de teste:



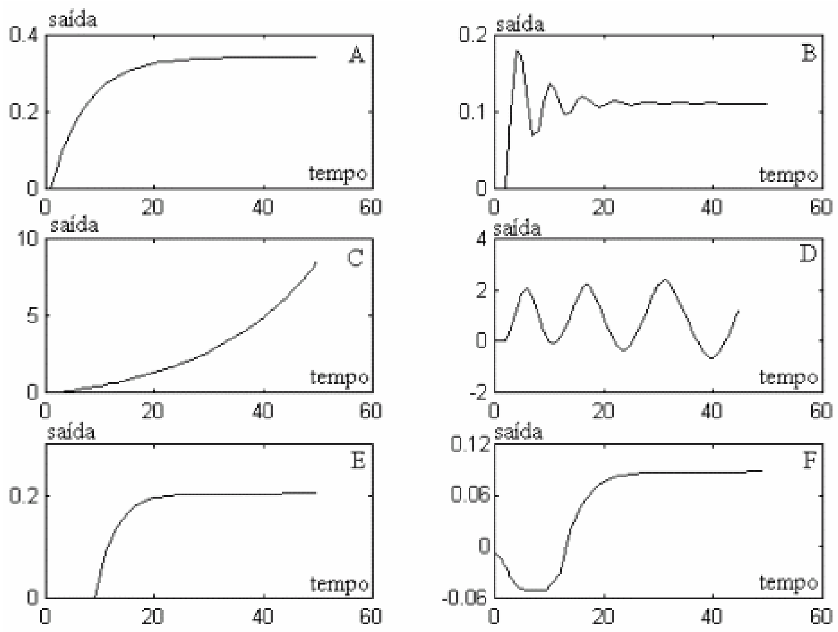

O chaveamento abrupto através de um acréscimo ou decréscimo na magnitude do degrau pode ser estabelecido pela variação da tensão (ou corrente) ou pela abertura ou fechamento de uma válvula.

Admitindo uma malha de controle, a resposta ao degrau pode ser obtida por:

i) Ajustar o regulador para o modo manual.

ii) Modificar a magnitude da variável de controle (acréscimo ou decréscimo).
iii) Registrar (plotar) a variável de saída do processo.

**Exemplos de resposta ao degrau em malha aberta:**




As características de um sistema (estabilidade, dinâmica assimétrica, fase mínima / não mínima) podem ser obtidas com do conhecimento da resposta ao degrau.

Propriedades do sistema através da resposta ao degrau.

| resposta | comportamento | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | estável | instável | oscilatório | atraso | fase não-mínima |
| A | X | | | | |
| B | X | | X | | |
| C | | X | | | |
| D | | X | X | | |
| E | X | | | X | |
| F | X | | | | X |

**A** - Resposta ao degrau de controle do processo..

Controle de Temperatura, nível, ….

**B** - Resposta ao degrau que é incomum em controle de processo.

Processo oscilação, construções de mola, ….Resposta ao degrau de processo de integração.

O controle da temperatura em uma câmara bem isolado, controle de nível, ….

**E** - Resposta ao degrau de um sistema com longo Atraso de tempo.

Em sistemas de transporte, ….

**F**-Resposta ao degrau de um sistema de fase não-mínima.

O nível de água em caldeiras, geração de geradores hidrelétricos, ….

**Possíveis funções de transferência:**

1- Sistemas FO: First order systems. $g(s)=\dfrac{y(s)}{u(s)}=\dfrac{K_p}{Ts+1}$

2- Sistemas FOTD: First order system with time delay. $g(s)=\dfrac{y(s)}{u(s)}=\dfrac{K_p e^{-sT_d}}{Ts+1}$

3- Sistemas SOTD: Second order system with time delay. $g(s)=\dfrac{y(s)}{u(s)}=\dfrac{K_p e^{-sT_d}}{(T_1 s+1)(T_2 s+1)}$

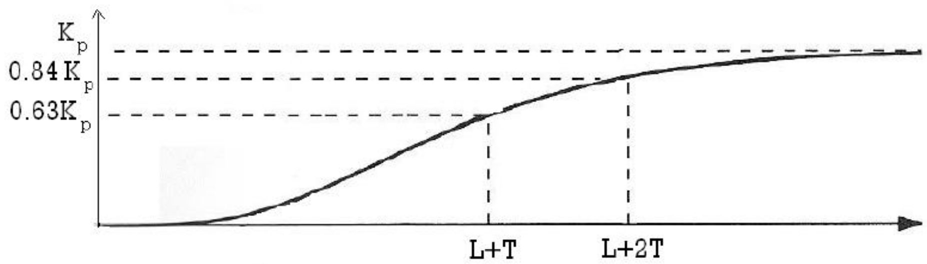
4- Processos integrador e atraso tempo: $g(s)=\dfrac{y(s)}{u(s)}=\dfrac{K_v e^{-sL}}{s}$

5- Sistema FOTDI: First order system with time delay with integration. $g(s)=\dfrac{y(s)}{u(s)}=\dfrac{K_v e^{-sL}}{s(1+Ts)}$

6 - Sistemas Oscilatórios $g(s)=\dfrac{y(s)}{u(s)}=\dfrac{K_p}{(sT)^2+2\xi sT+1}$

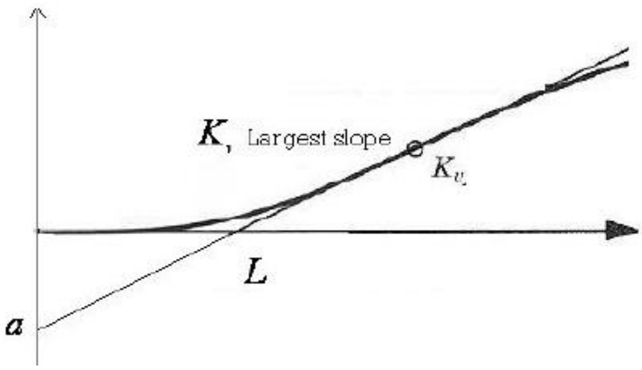
7- Sistema com resposta inversa (zeros). $g(s)=\dfrac{y(s)}{u(s)}=\dfrac{1+s\tau}{s^2+1.4s+1}$

Sistemas FOTD podem ser obtidos aplicando-se este teste.




$$g(s)=\frac{y(s)}{u(s)}=\frac{K_p e^{-sL}}{Ts+1}$$

Processo integrador e atraso de tempo




$$g(s) = \frac{y(s)}{u(s)} = \frac{K_v e^{-sL}}{s}$$

$$K_v = \frac{a}{L}$$

## Métodos de dois parâmetros

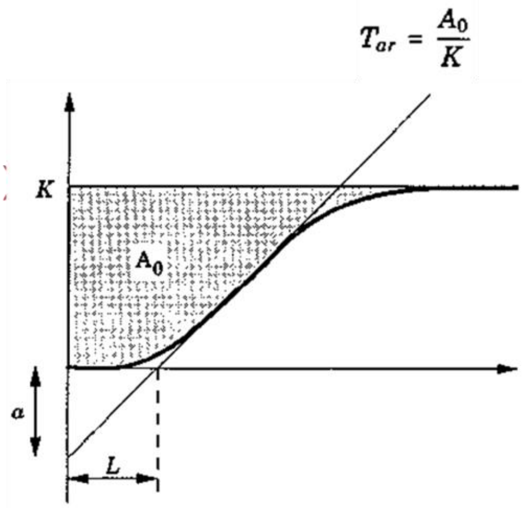
A partir das simulações determine:

$$G_{2a}(s) = \frac{K}{1 + sT_{ar}} \qquad G_{2b}(s) = \frac{a}{sL} e^{-sL}$$

**G2a**

K, A0, Tar.

(m)




**G2b**

y-yi = m(t – ti)

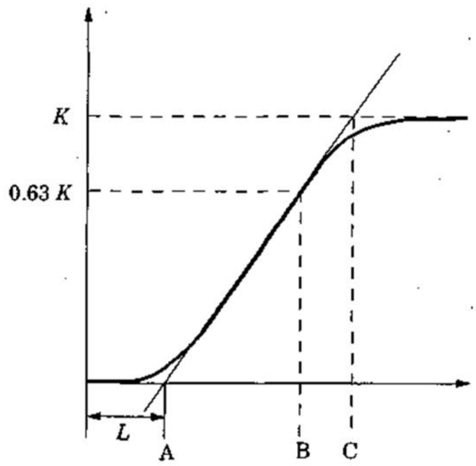
ponto de inflexão (ti,yi)

a inclinação da curva no ponto de inflexão (m)

determine L = ti – yi/m   a = ti*m – yi

simule no domínio do tempo

## Métodos de três parâmetros




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

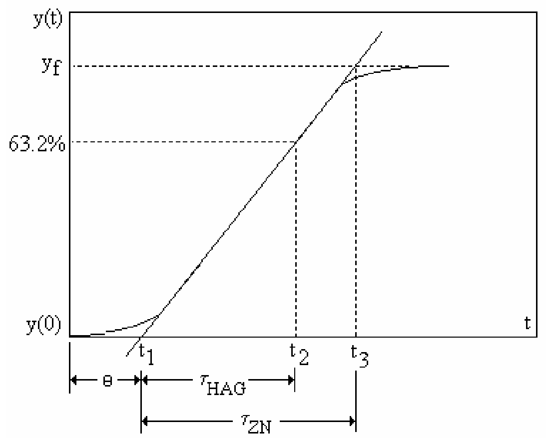
**Modelos obtidos:**

Método 3a: T=AC

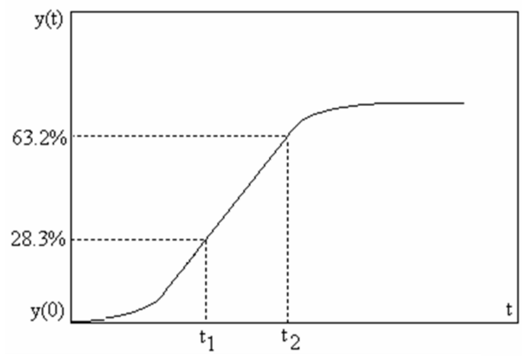
Método 3b: T=AB

**Exemplo:** $$G(s) = \frac{1}{(s+1)^8}$$

**Método de Ziegler-Nichols (1942) e Hägglund (1991)**




**Método de Smith (1985)**

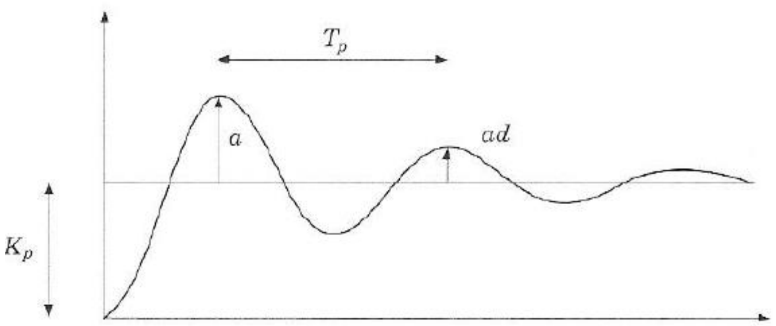



$$K = \frac{\Delta y}{\Delta u}$$

$$\tau = 1.5\,(t_2 - t_1)$$

$$\theta = t_2 - \tau$$

## Sistemas Oscilatórios




$$g(s) = \frac{y(s)}{u(s)} = \frac{K_p\,\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}$$

$$d = e^{-2\xi\pi/\sqrt{1-\xi^2}}$$

$$T_p = 2\pi \Big/ \omega_n\sqrt{1-\xi^2}$$

$$\xi = \frac{1}{\sqrt{1+(2\pi/\ln d)^2}} \qquad \omega_n = \frac{2\pi}{T_p\sqrt{1-\xi^2}}$$

OBS: VER MÉTODO DORF CAP 5 - 5.3

| Tabela de Fórmulas | |
|---|---|
| Sobresinal percentual | $\%UP = \frac{y_{max} - y_{final}}{y_{final}} \times 100$ |
| Amortecimento relativo | $\xi = \frac{-ln(\%UP/100)}{\sqrt{\pi^2 + ln^2(\%UP/100)}}$ |
| Frequência natural | $\omega_n = \frac{\pi}{T_p\sqrt{1-\xi^2}}$ |
| Tempo de assentamento (2%) | $T_s = \frac{4}{\xi\omega_n}$ |
| Valor de pico | $Mp = 1 + e^{-\xi\pi/\sqrt{1-\xi^2}}$ |