Engenharia de Controle e Automação

Controle Preditivo

Prof. Dr.
Paulo J. D. O. Evald

Prof. Dr.
Paulo J. D. O. Evald

Centro de Engenharias
Sala 211

paulo.evald@ufpel.edu.br

Objetivos da aula:

- Deadbeat controller:
  - Caso: sistemas contínuos no tempo;
- Two Samples Ahead Predictive controller

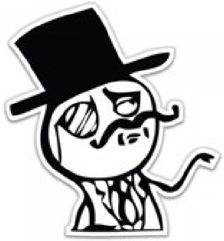
Controlador Deadbeat

Anteriormente em

Controle Preditivo

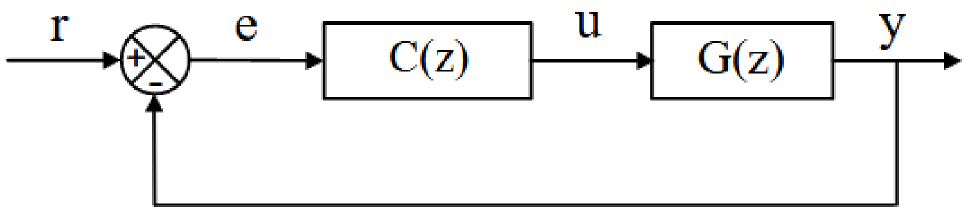
Controlador Deadbeat

O controlador deadbeat é o sistema de controle mais rápido já proposto até hoje, pois tem a capacidade de controlar uma planta em apenas 1 amostra;



- Originalmente proposto para sistemas lineares;
- Depende do conhecimento do modelo do sistema;
- Projetado em tempo discreto, inserindo zeros para cancelar os polos indesejados do sistema.

Controlador Deadbeat

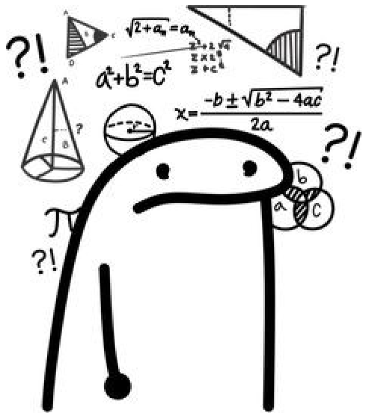


Função de transferência do controlador:

$$C(z) = \frac{1}{G(z)} \frac{z^{-1}}{1 - z^{-1}}$$

Controlador Deadbeat

Mas e se o sistema não foi
modelado no domínio Z ?



Controlador Deadbeat

Caso o sistema seja descrito em termos de s (domínio de Laplace), utilize alguma técnica de discretização para obter o modelo em z, como por exemplo backward Euler, o qual relaciona s com z da seguinte forma:

$$s = \frac{z-1}{z \cdot T_s} = \frac{1 - z^{-1}}{T_s}$$

Caso o sistema seja descrito em função do tempo, aplique a transformada de Laplace para obter o modelo em s. Em seguida, realize o procedimento de discretização para obter o modelo em z.

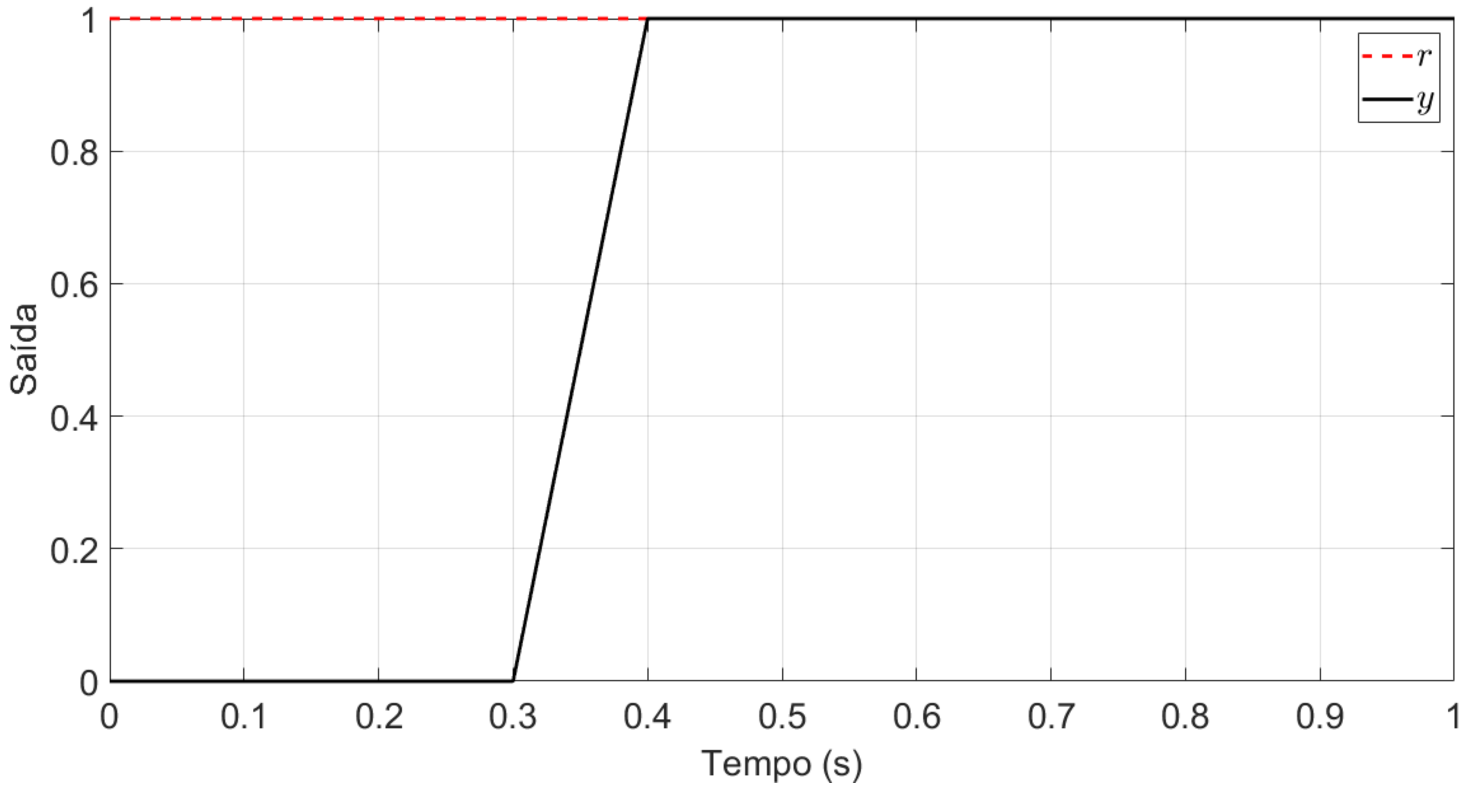
Controlador Deadbeat

Ex.:) Implemente um controlador deadbeat para o sistema descrito pela seguinte equação diferencial

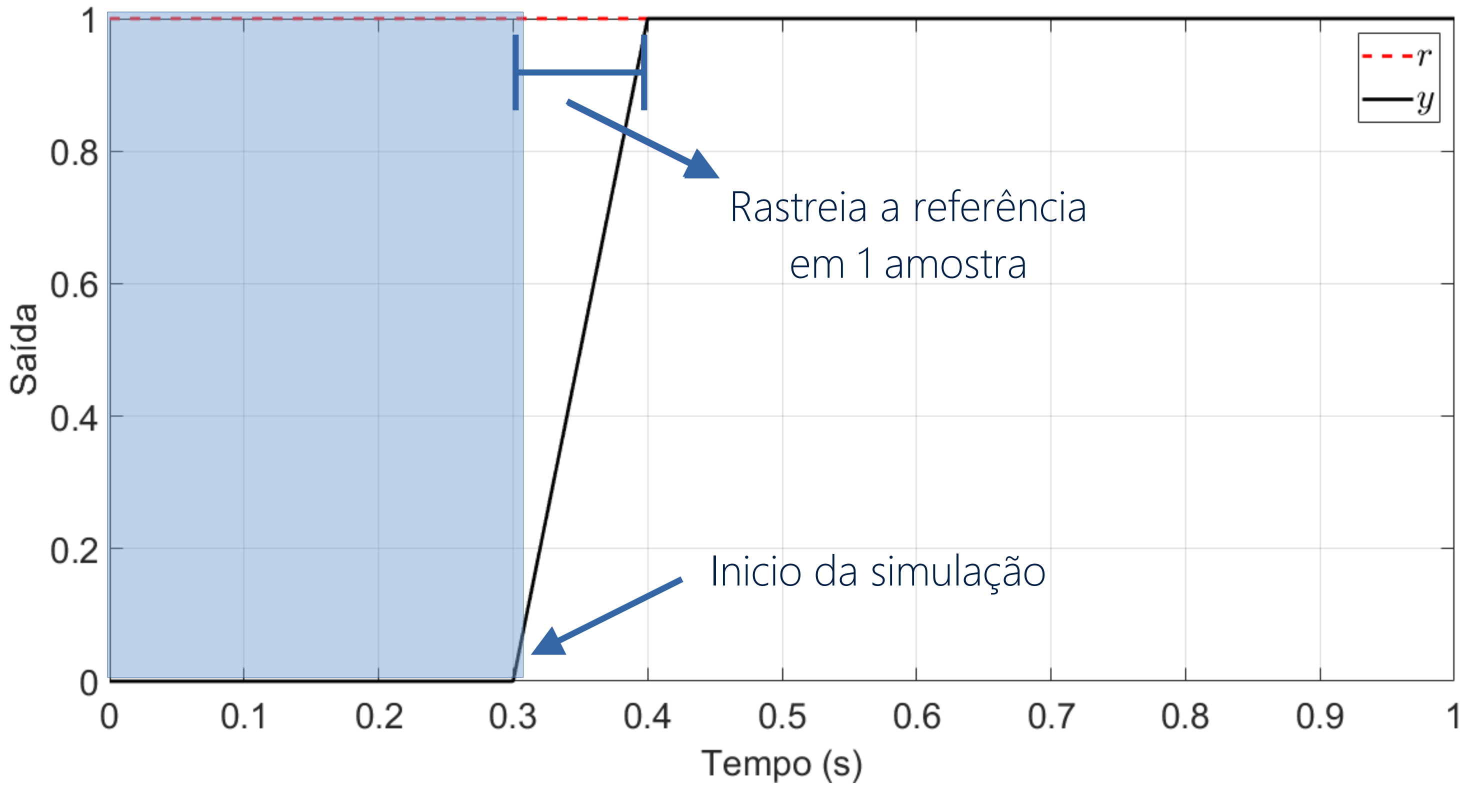
$$\dot{y}(t)+y(t)=u$$

onde u e y são a entrada e a saída do sistema, respectivamente. Na simulação, considere a frequência de amostragem é 10 Hz e a duração da simulação é de 1 s. Utilize um degrau unitário como sinal de referência.

Controlador Deadbeat



Controlador Deadbeat



Controlador TSAP

Há uma formulação alternativa do controlador deadbeat, chamada de One Sample Ahead Predictive (OSAP) controller, igualmente rápida para rastreamento de referência;

O conceito básico desse controlador se baseia em estimar a saída do sistema em uma amostra no futuro;

Como isso não é possível na prática, implementa-se um modelo de referência para substituir as amostras futuras descritas na ação de controle pelas amostras futuras do modelo de referência, que é uma planta virtual e determinada pelo projetista.

Controlador TSAP

Uma forma de tornar o controlador mais estável é utilizar mais predições na ação de controle. Entretanto, a cada passo incrementado na ação de controle, mais complexa se torna o sistema de controle resultante. Para duas predições, considere o sistema descrito por

$$G_0(z) = \frac{c}{z^2 + bz + a} = \frac{y(z)}{u(z)}$$

De onde pode-se obter a seguinte ação de controle:

$$u(k) = \frac{y(k+2) + by(k+1) + ay(k)}{c}$$

Controlador TSAP

Para tornar u implementável, deve-se substituir y(k+2) e y(k+1) por $y_m(k+2)$ e $y_m(k+1)$, respectivamente. Portanto, determine um modelo de referência de segunda ordem:

$$W_m(z) = \frac{c_m}{z^2 + b_m z + a_m} = \frac{y_m(z)}{r(z)}$$

De onde pode-se obter:

$$y_m(k+2) + b_m y_m(k+1) + a_m y_m(k) = c_m r(k)$$

$$y_m(k+1) + b_m y_m(k) + a_m y_m(k-1) = c_m r(k-1)$$

$$y_m(k) + b_m y_m(k-1) + a_m y_m(k-2) = c_m r(k-2)$$

Controlador TSAP

Projete um controlador TSAP para o sistema G(z) e simule a resposta ao degrau e a um seno de amplitude unitária e frequência 1 Hz. Considere uma frequência de amostragem de 1 kHz. A simulação deve durar 0,01 s (resposta ao degrau) e 1 s (resposta ao sinal senoidal).

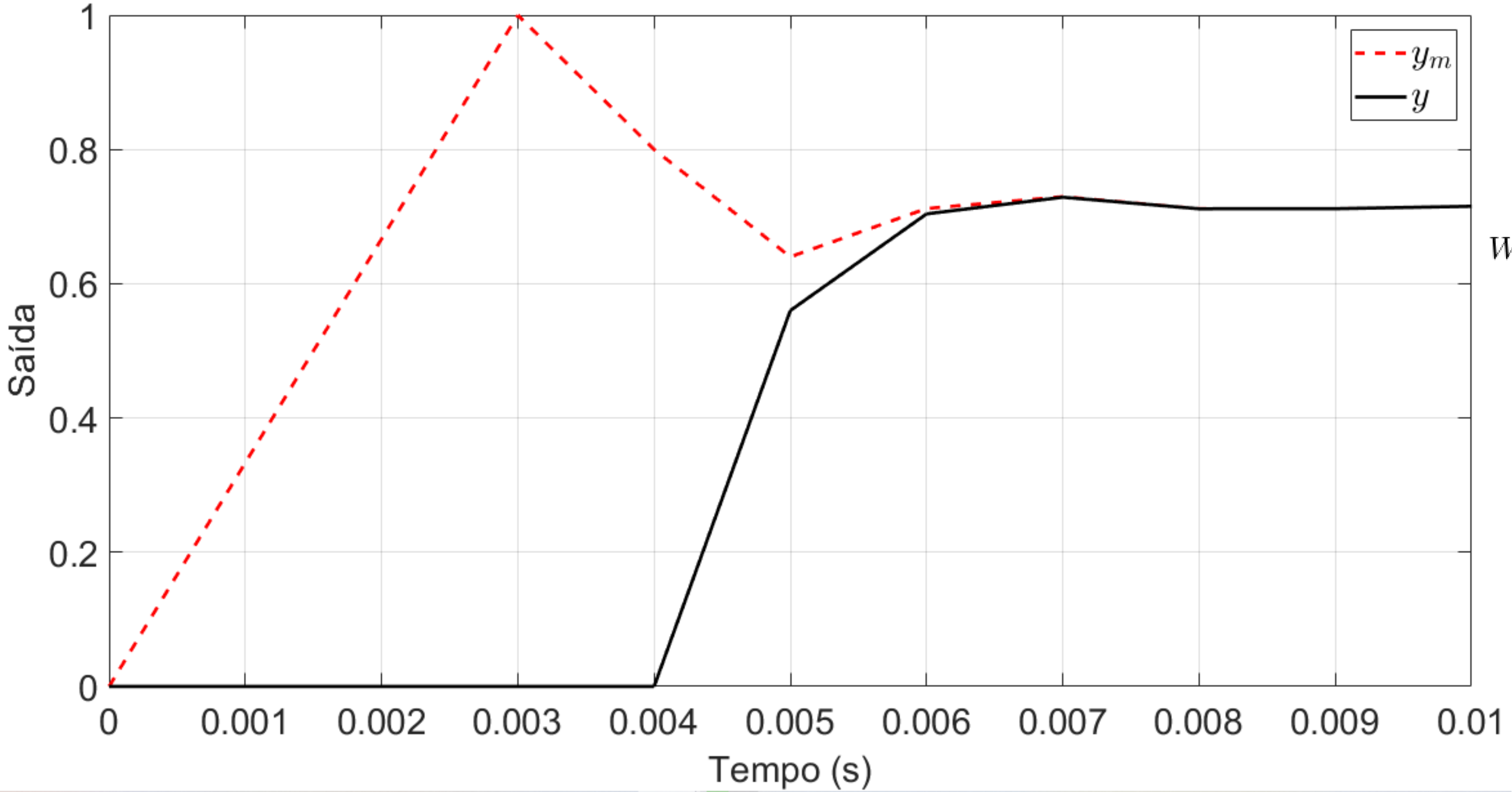
$$G(z)=\frac{0{,}1}{z^2-0{,}1z-0{,}1}$$

Considere dois modelos de referências, na forma

$$W_m(z)=\frac{c_m}{z^2+b_m z+a_m}$$

nde o primeiro tem $a_m = 0.2$; $b_m = 0.2$; $c_m = 1$, enquanto o segundo tem $a_m = 0$, $b_m = 0$ e $c_m = 1$.

Controlador OSAP



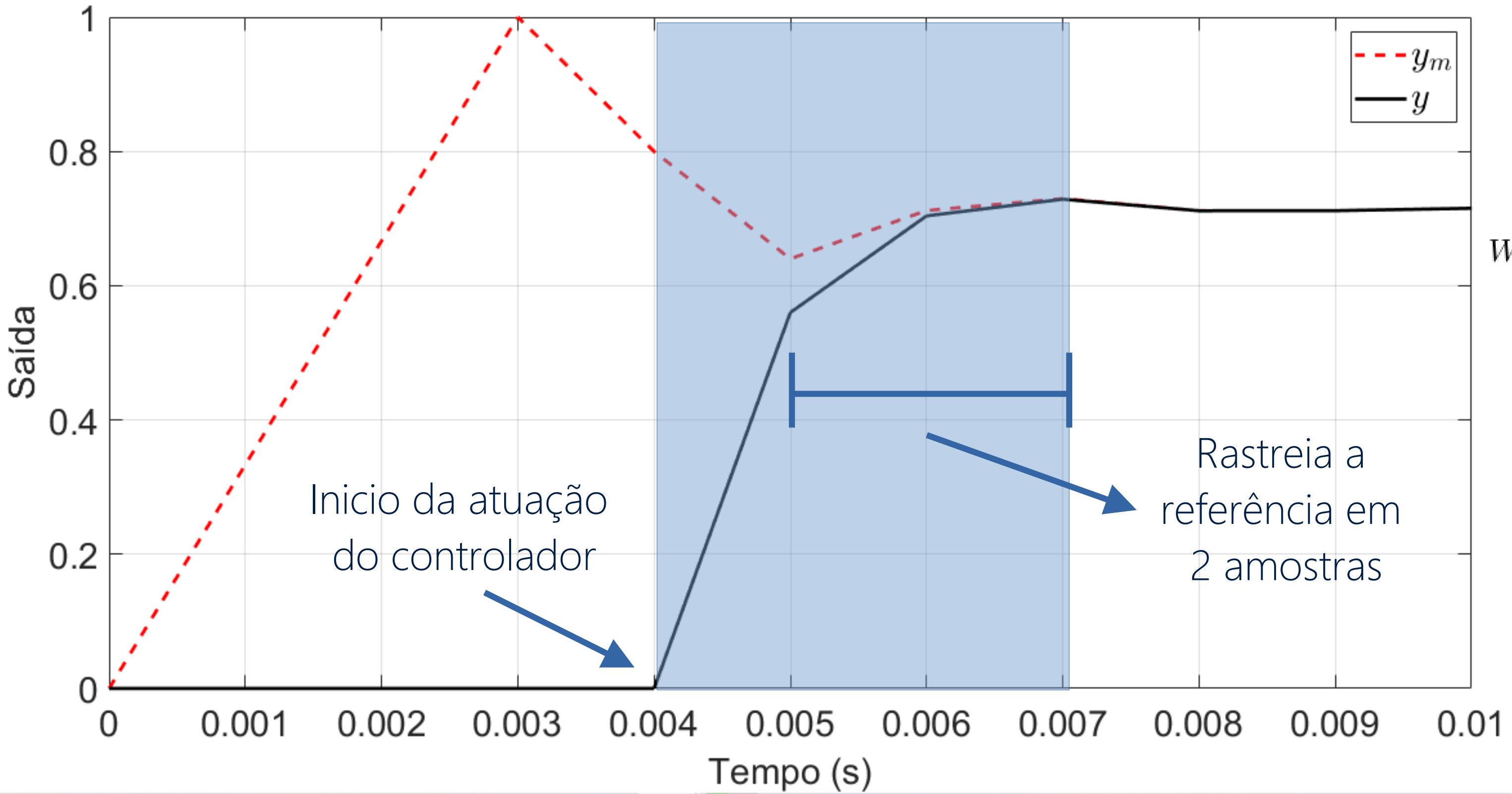
$$W_m(z) = \frac{c_m}{z^2 + b_m z + a_m}$$

$a_m = 0.2$

$b_m = 0.2$

$c_m = 1$

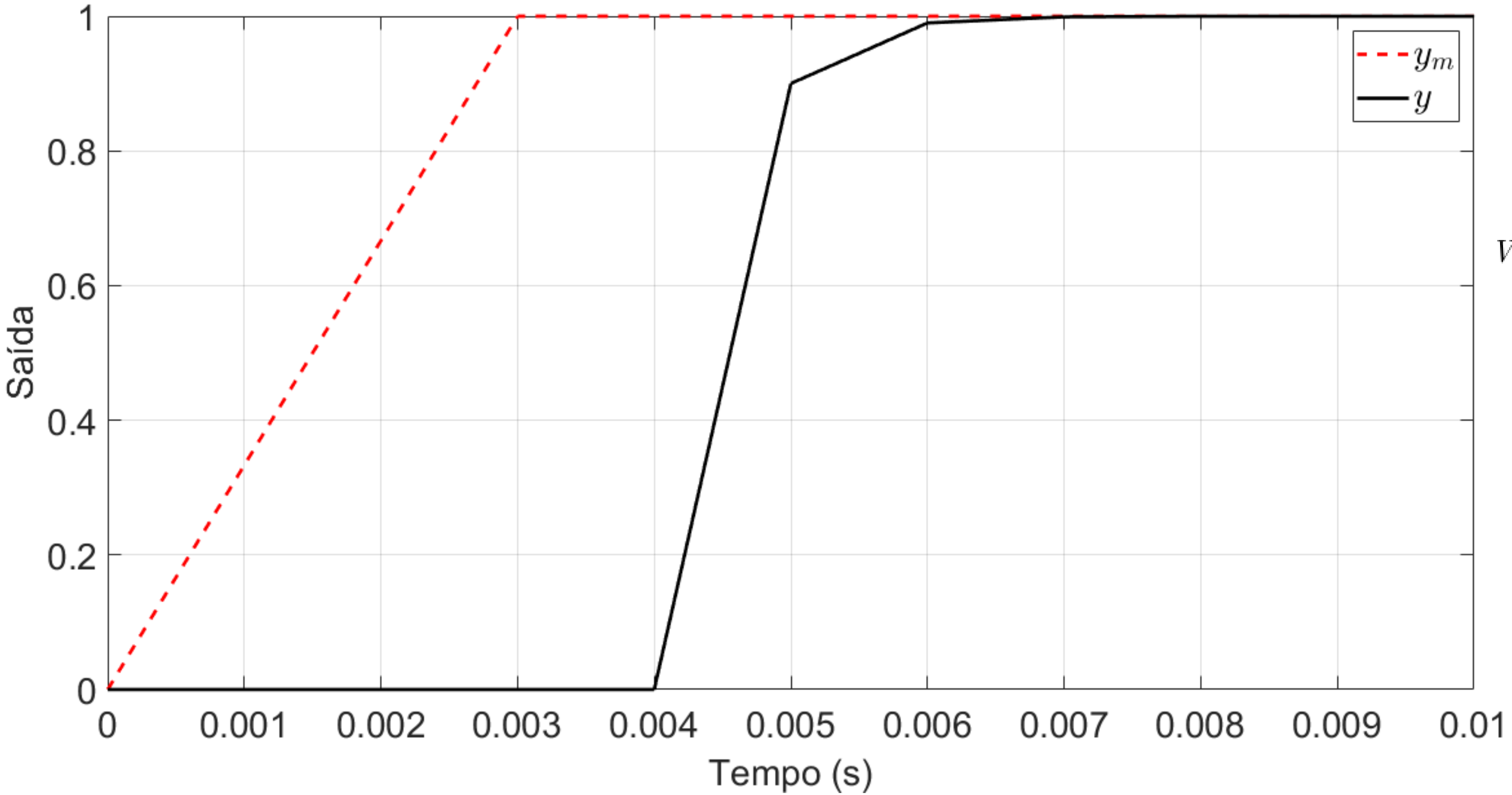
Controlador OSAP



$$W_m(z) = \frac{c_m}{z^2 + b_m z + a_m}$$

$a_m = 0.2$
$b_m = 0.2$
$c_m = 1$

Controlador OSAP



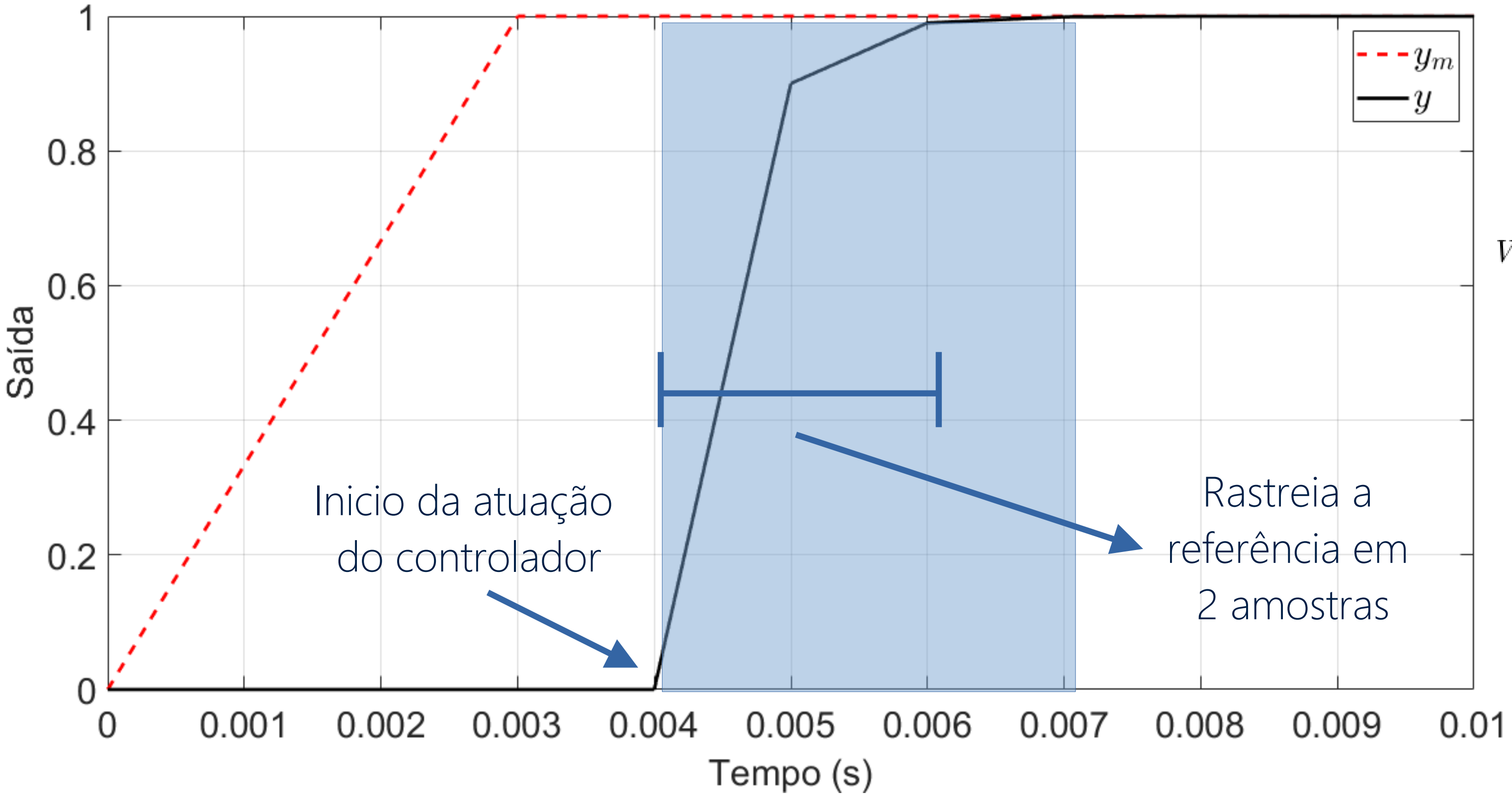
$$W_m(z) = \frac{c_m}{z^2 + b_m z + a_m}$$

$a_m = 0$

$b_m = 0$

$c_m = 1$

Controlador OSAP



$$W_m(z) = \frac{c_m}{z^2 + b_m z + a_m}$$

$a_m = 0$

$b_m = 0$

$c_m = 1$

Próxima aula:

Controlador Preditivo

Sistema de predição

Bibliografia Básica

NISE, N. S., **Engenharia de sistemas de controle**, 5ª Edição, LTC, 2009.

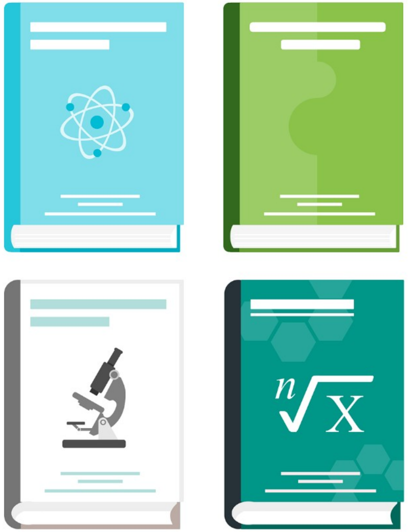
OGATA, K., **Engenharia de controle moderno**, 5ª Edição, Pearson, 2011.

DORF, R. C.; BISHOP, R. H., **Sistemas de controle modernos**, 11ª Edição, LTC, 2009.

SEBORG, D. E.; EDGAR, T. F.; MELLICHAMP, D. A.; DOYLE, F. J., **Process dynamics and control**, 3ª Edition, John Wiley & Sons, 2010.

BAZANELLA, A. S.; GOMES da SILVA Jr., J. M., **Sistemas de controle: princípios e métodos de projeto**, 1ª Edição, Editora UFRGS, 2005.

CHEN, C. T., **Linear system theory and design**, 3ª Edição, Oxford University Press, 1999.



Bibliografia Complementar

CAMACHO E. F. Camacho; BORDONS C. A. Bordons. **Model Predictive Control in the Process Industry**. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. 1997.

BORRELLI, F., BEMPORAD, A., MORARI, M. **Predictive Control for Linear and Hybrid Systems**. Cambridge: Cambridge University Press. 2017.