



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
- OSAP (One Step Ahead Predictive) controller



Controlador Deadbeat

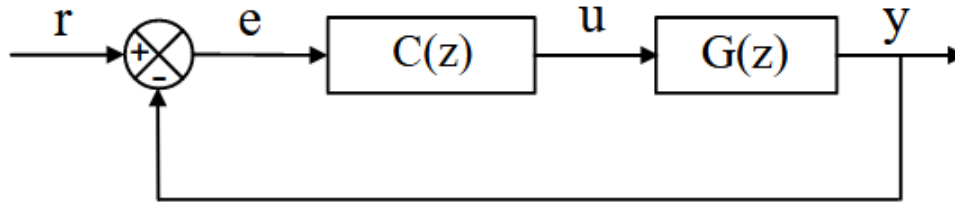
O controlador deadbeat é o sistema de controle mais rápido já proposto até hoje, pois tem a capacidade de controlar uma planta em apenas 1 amostra;

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



Erro de rastreamento: $e(z) = r(z) - y(z)$

Ação de controle: $u(z) = C(z)e(z)$

Saída do sistema: $y(z) = G(z)u(z) = G(z)C(z)e(z) = G(z)C(z)(r(z) - y(z))$

Logo: ou, na forma padrão,

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

$$C(z) = \frac{1}{G(z)} \frac{T(z)}{1 - T(z)} \quad \text{onde} \quad T(z) = \frac{y(z)}{r(z)}$$

Controlador Deadbeat

O princípio de funcionamento do controlador Deadbeat é que a estratégia de controle force a resposta do sistema a rastrear o sinal de referência em apenas uma amostra;

Como caso particular, assuma que a referência é um degrau unitário. Logo, a referência é

$$r(1) = 1, r(2) = 1, r(3)=1, \dots, \text{ ou seja, } r(z) = 1+z^{-1}+z^{-2}+\dots$$

Pelo hipótese de que o controlador é capaz de rastrear a referência em uma amostra, então a saída do sistema é

$$r(1) = 0, r(2) = 1, r(3)=1, \dots, \text{ ou seja, } y(z) = z^{-1}+z^{-2}+\dots$$

Portanto,

$$T(z) = \frac{y(z)}{r(z)} = \frac{z^{-1}+z^{-2}+\dots}{1+z^{-1}+z^{-2}} = \frac{z^{-1}(1+z^{-1}+\dots)}{1+z^{-1}+z^{-2}} = z^{-1}$$

Logo,

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

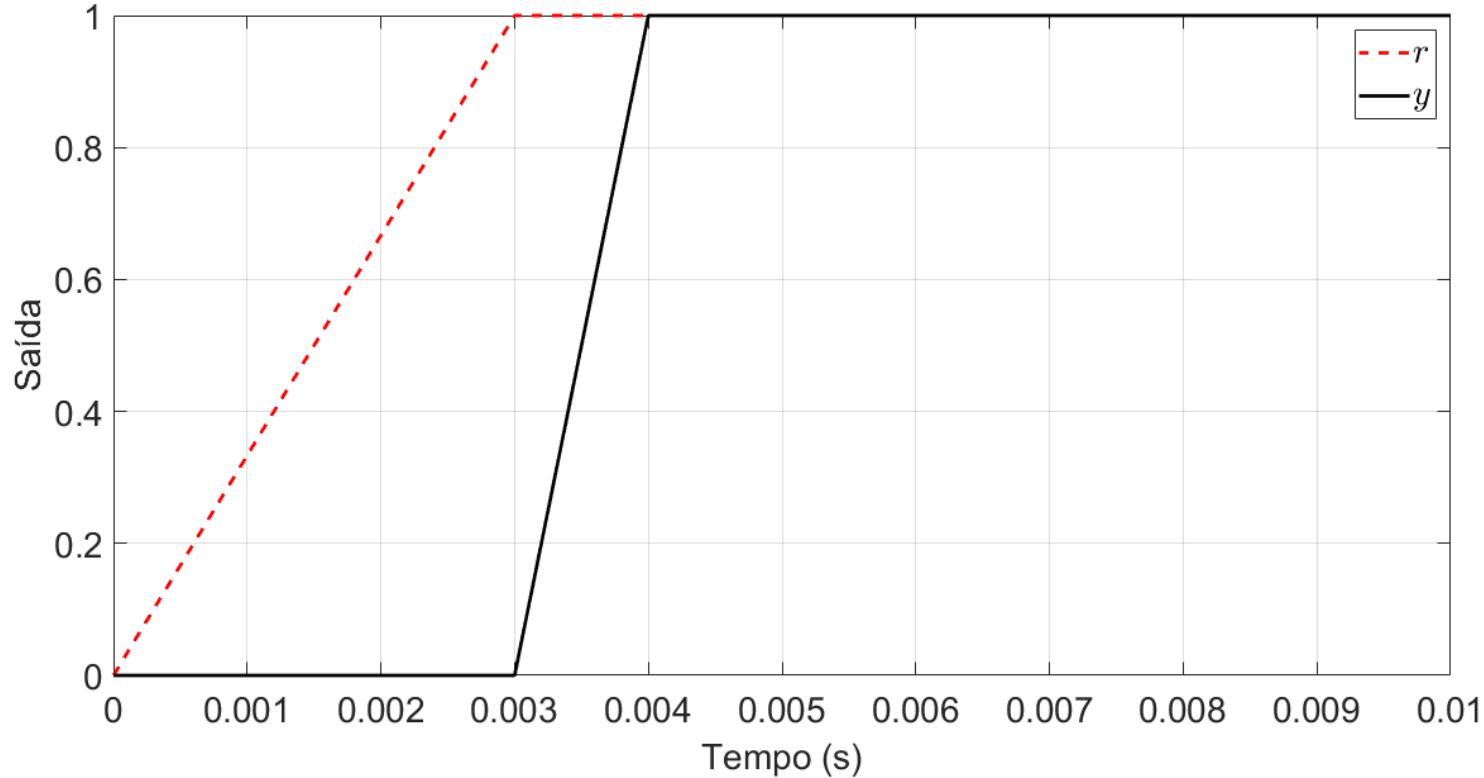
Controlador Deadbeat

Projete um controlador deadbeat para o sistema $G(z)$ e simule a resposta ao degrau. A simulação deve durar 0,1 s.

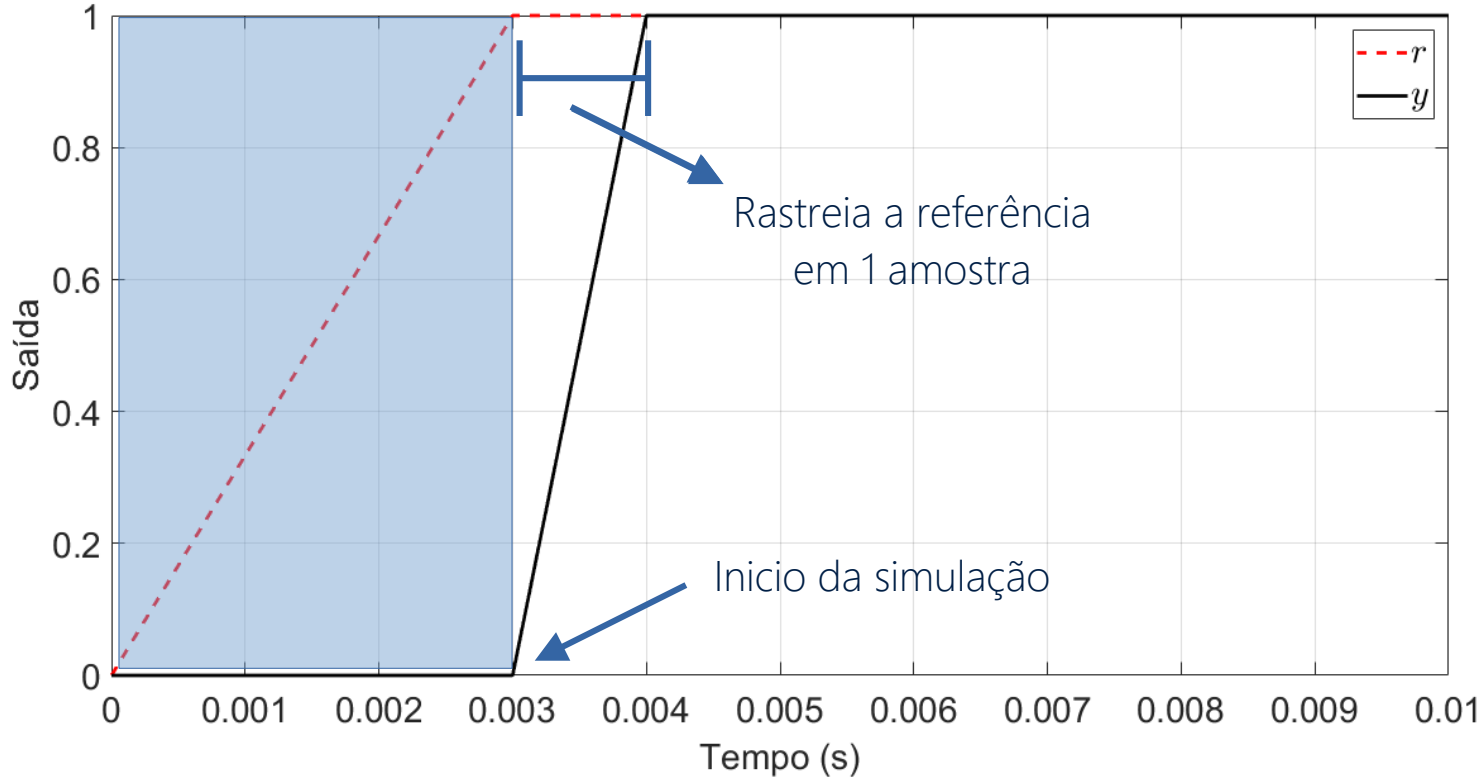
$$G(z) = \frac{2z^{-1} + z^{-2}}{3 + z^{-1}}$$

Em uma segunda simulação, altere a referência para um seno de amplitude unitária e frequência 1 Hz. Considere uma frequência de amostragem de 1 kHz. A simulação deve durar 1 s.

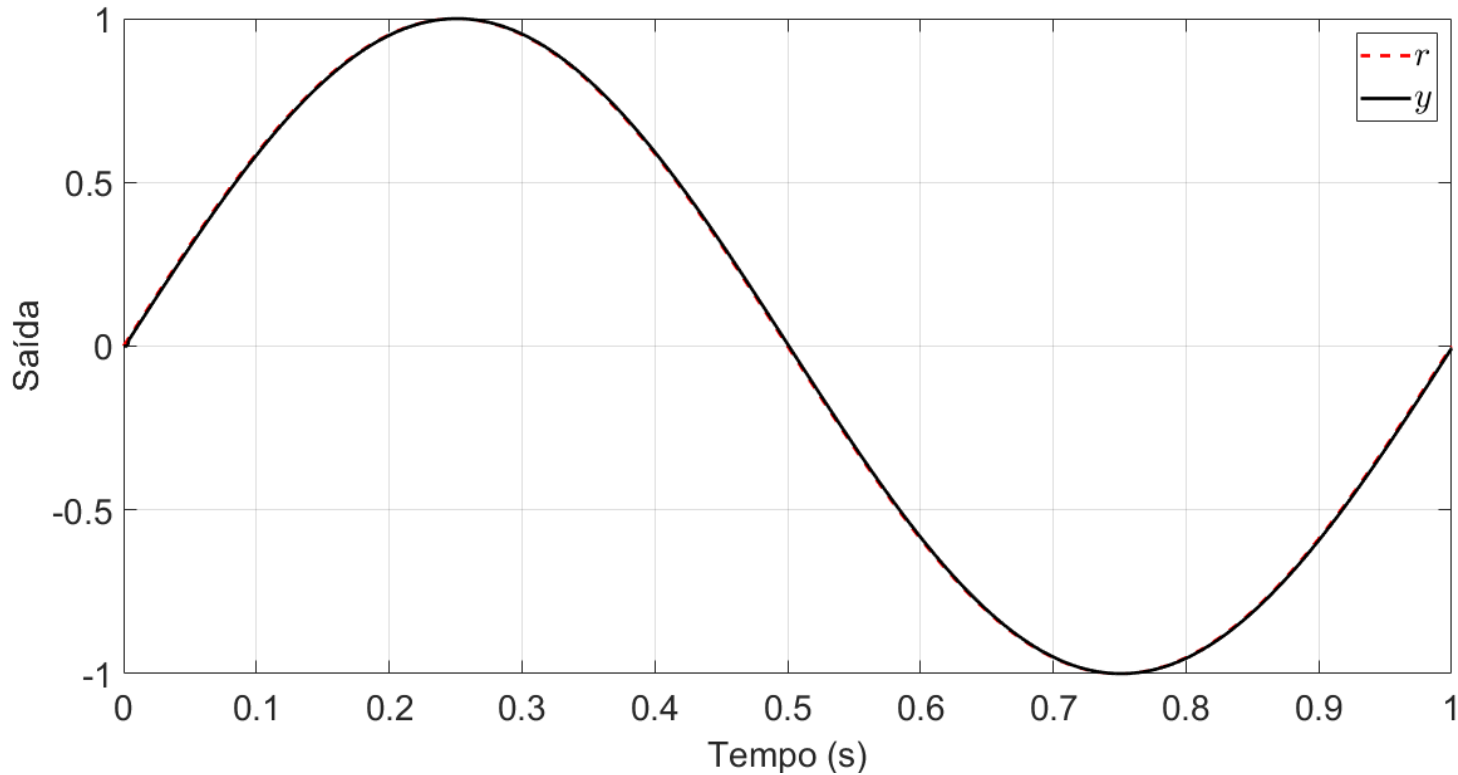
Controlador Deadbeat



Controlador Deadbeat



Controlador Deadbeat



Controlador OSAP

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

Considere a planta descrita por

$$G_0(z) = \frac{y(z)}{u(z)} = \frac{a}{z - b},$$

Desta representação, pode-se formular a ação de controle como

$$u(k) = \frac{y(k+1) - by(k)}{a}.$$

Controlador OSAP

A ação de controle formulada requer $y(k+1)$, o qual é não mensurável na prática. Desta forma, substitui-se essa informação pelo equivalente de um modelo de referência, $W_m(z)$, o qual deseja-se que o sistema em malha fechada replique o comportamento dinâmico,

$$\frac{y_m}{r} = W_m(z) = \frac{k_m}{z - a_m}$$

Da representação de $W_m(z)$, obtém-se:

$$y_m(k+1) = a_m y_m(k) + k_m r(k)$$

Controlador OSAP

Logo, a ação de controle do OSAP é

$$u(k) = \frac{y_m(k+1) - by(k)}{a}$$

ou ainda,

$$u(k) = \frac{y_m(k+1) - b(by(k-1) + au(k-1))}{a}$$

Controlador OSAP

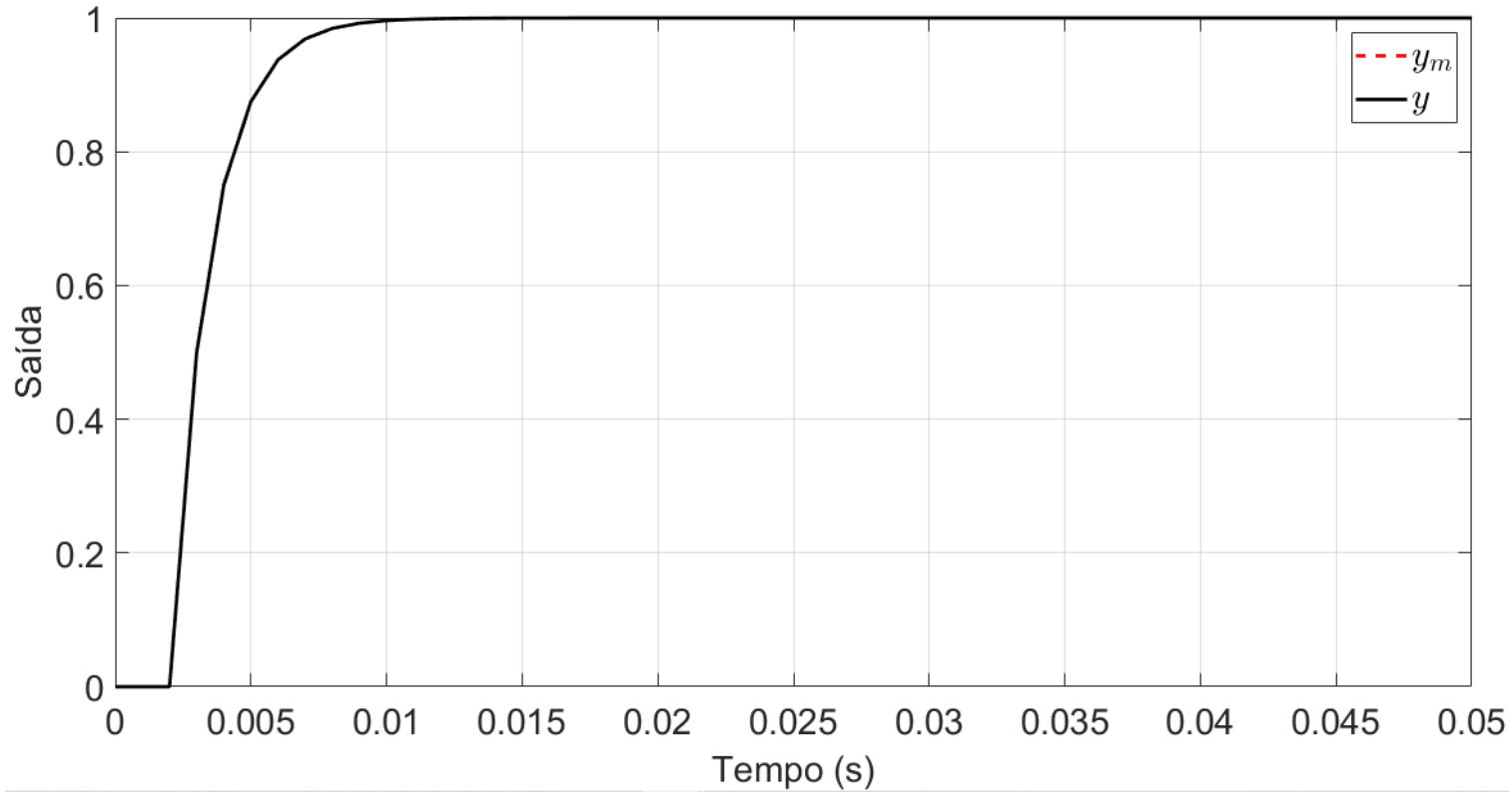
Projete um controlador OSAP para o sistema $G(z)$ e simule a resposta ao degrau e a um seno de amplitude unitária e frequência 1 Hz. Considere uma frequência de amostragem de 1 kHz. A simulação deve durar 0,05 s (resposta ao degrau) e 1 s (resposta ao sinal senoidal).

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

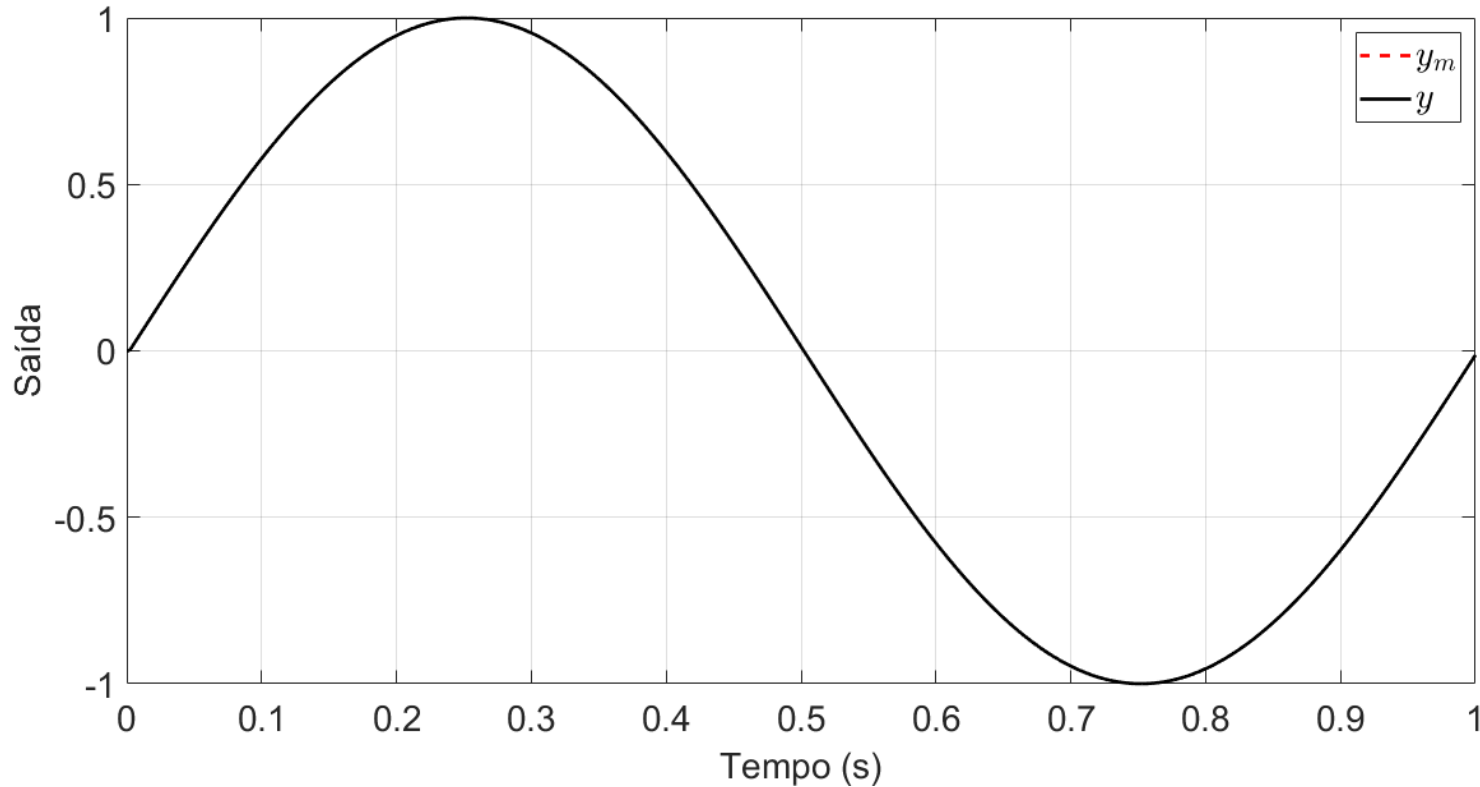
Considere o seguinte modelo de referência,

$$W_m(z) = \frac{0,5}{z - 0,5}$$

Controlador OSAP



Controlador OSAP



Próxima aula:

Controlador Preditivo

Sistema de predição



Bibliografia Básica

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

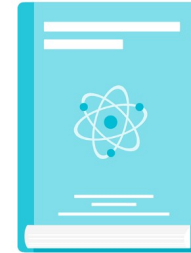
OGATA, K., **Engenharia de controle moderno**, 5ª Edição, Pearson, 2011.

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.

