

Intro Modelagem de Sistemas

Controle

Prof. Fernando Passold

Representação de Malhas de Controle Com Realimentação

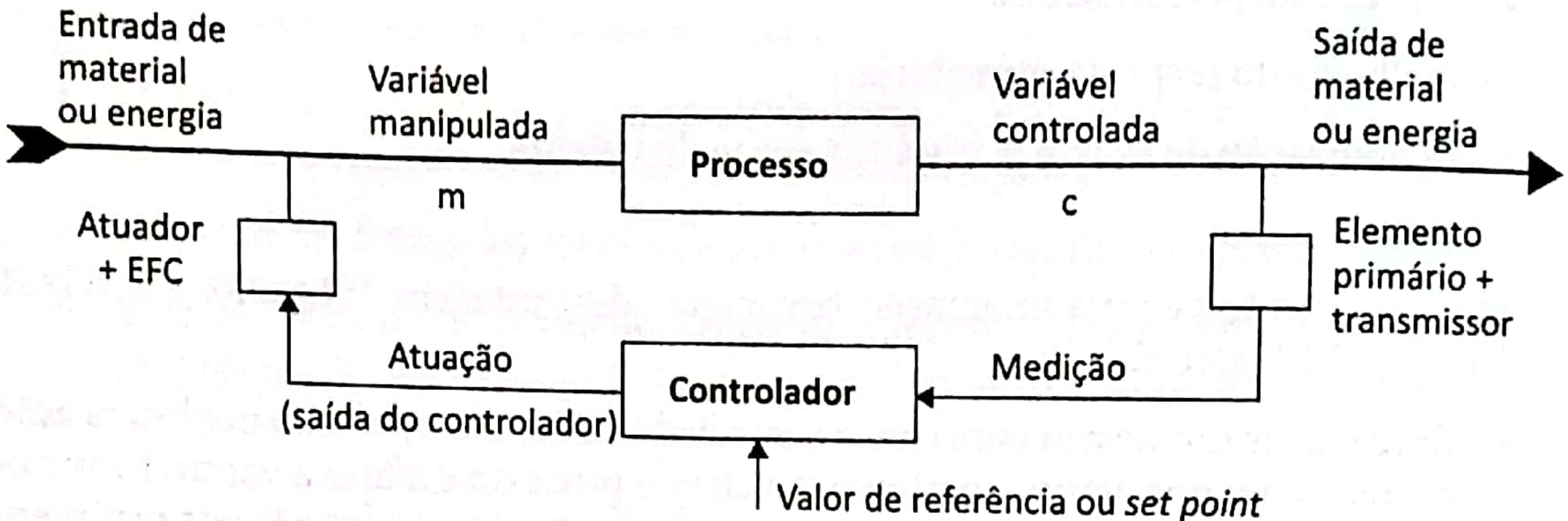


Figura 2.4 – Diagrama do fluxo de sinais e matéria/energia usado na prática industrial.

Representação de Malhas de Controle Com Realimentação

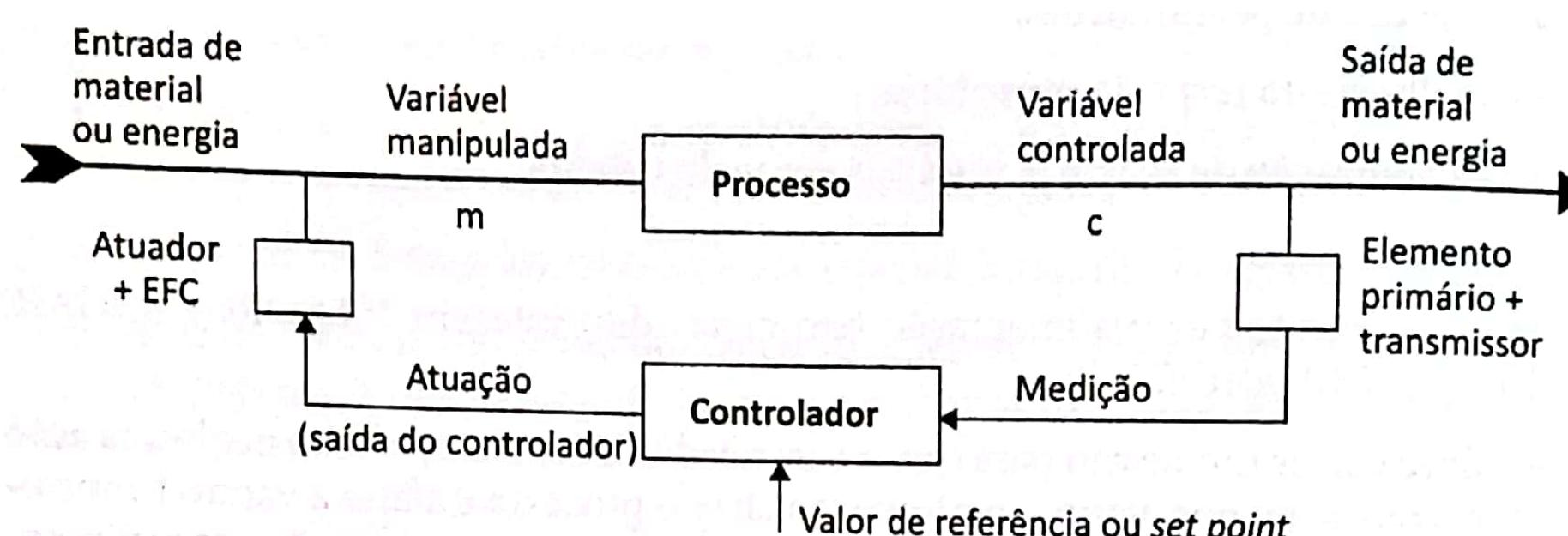


Figura 2.4 – Diagrama do fluxo de sinal e matéria/energia usado na prática industrial.

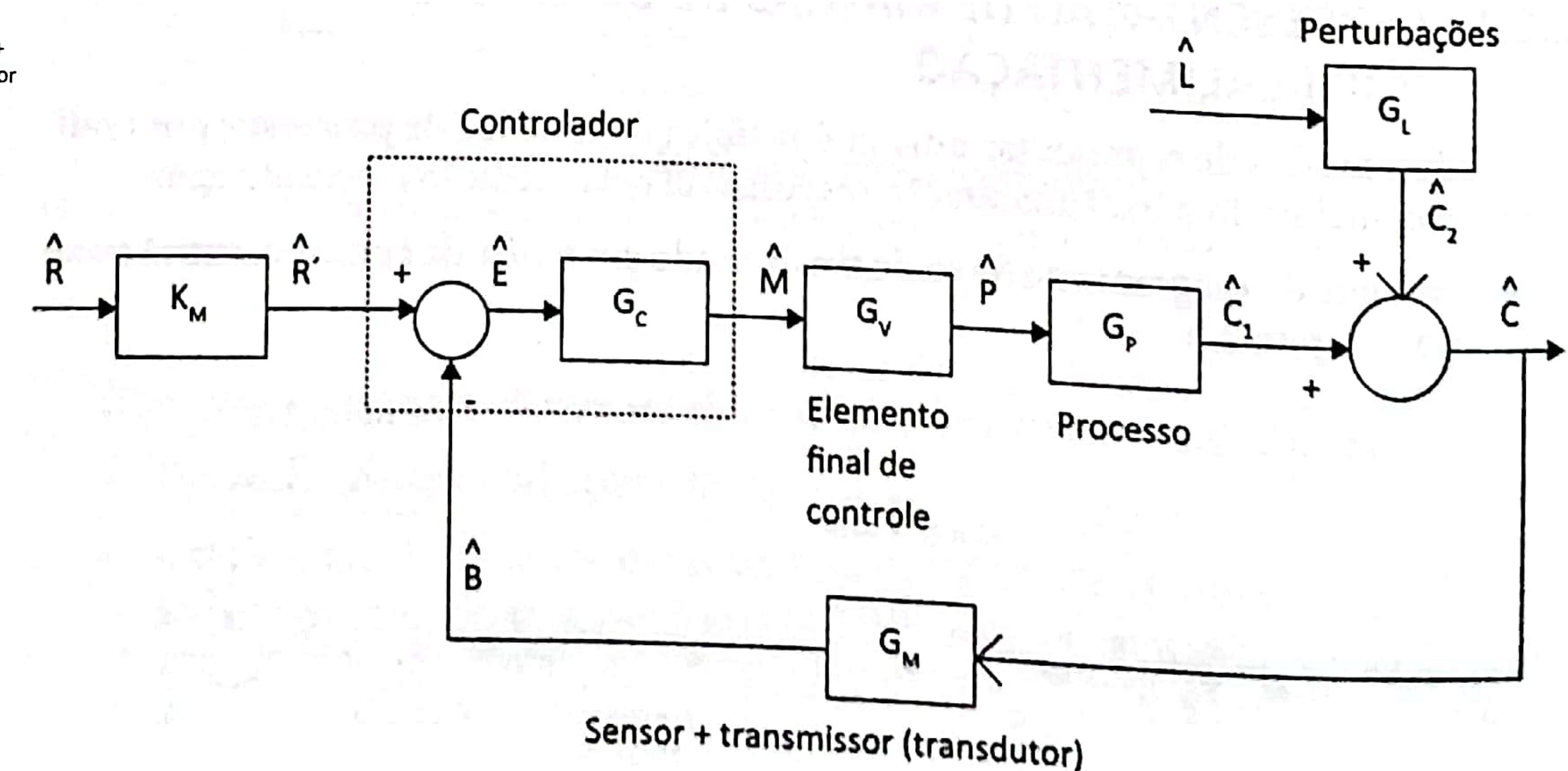


Figura 2.5 – Diagrama de blocos de sistema de controle de processos por realimentação, incluindo a instrumentação.

Representação de Malhas de Controle Com Realimentação

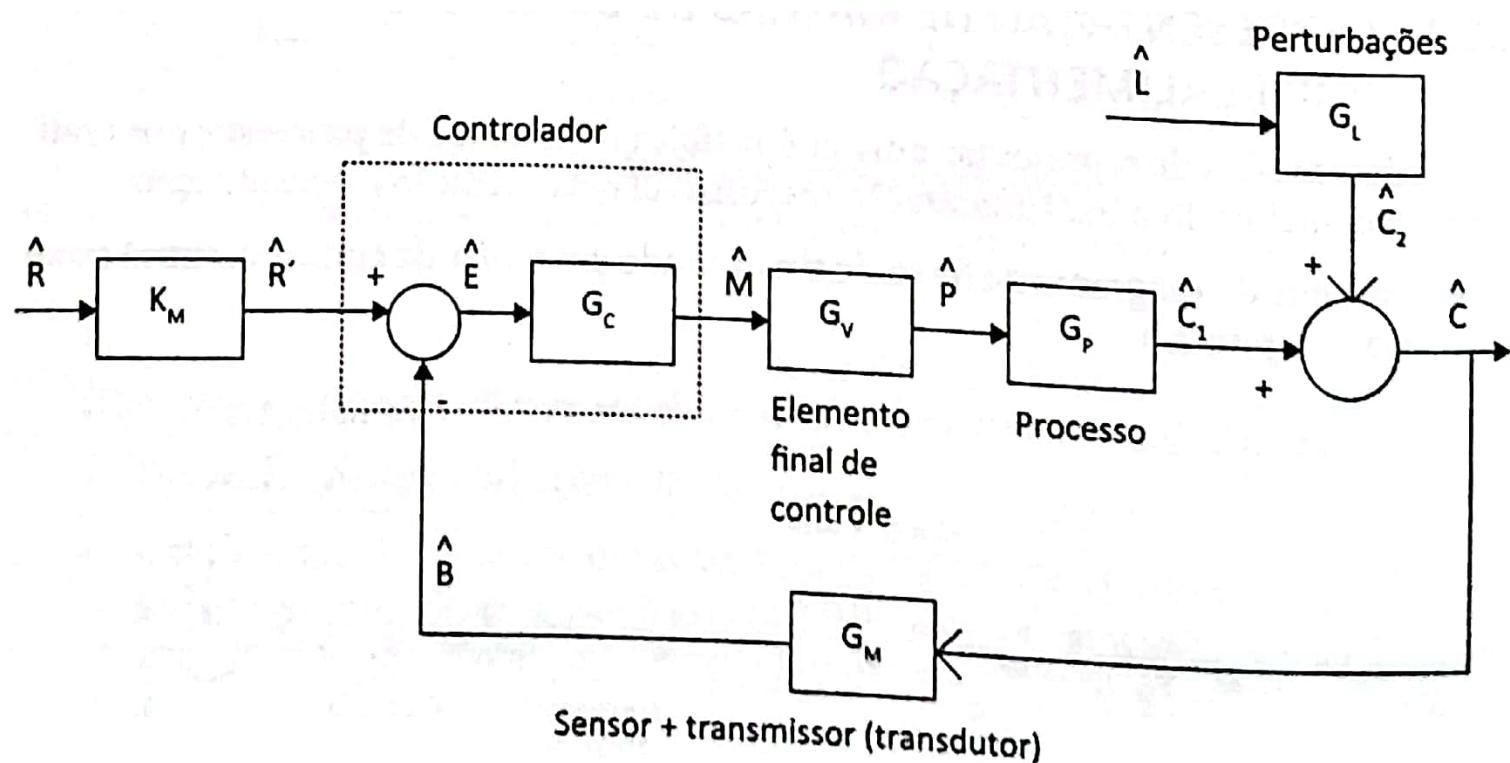


Figura 2.5 – Diagrama de blocos de sistema de controle de processos por realimentação, incluindo a instrumentação.

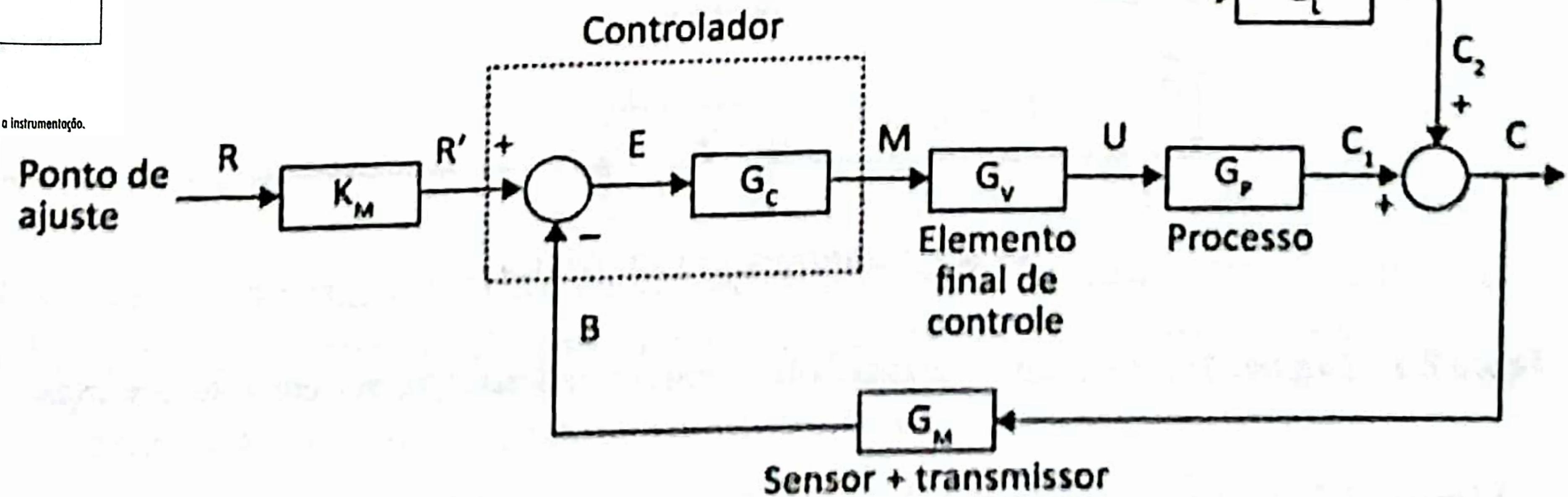


Figura 2.3 – Diagrama do fluxo de sinal usado em teoria de controle.

Exemplo

Trocador de Calor

- Aquecimento de água da temperatura de entrada T_e , até a temperatura de saída T , empregando como fluido de aquecimento, vapor d'água saturado à temperatura $T_v = 100^\circ\text{C}$:
- Modelo matemático (eq. Diferenciais/balanceamento de energia):

$$V \cdot c_p \cdot \rho \frac{dT}{dt} = W \cdot c_p \cdot (T_e - T) + W_v \cdot \lambda_v - U \cdot A(T - T_{amb})$$

Este modelo considera uma mesma vazão de água W sendo aquecida que entra e sai; que a massa específica ρ da água seja constante.

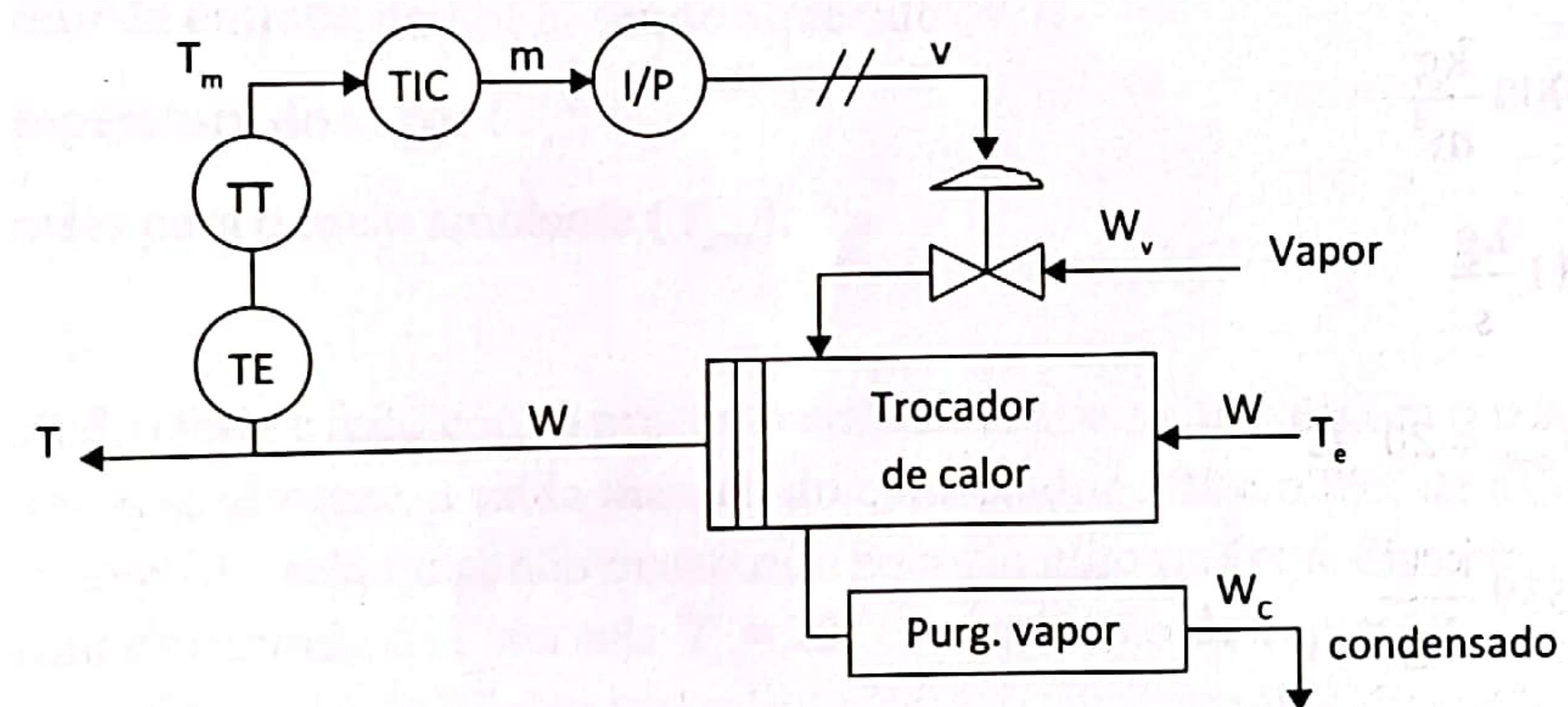
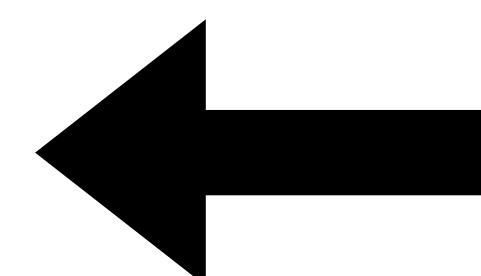


Figura 2.12 – Diagrama P&ID do trocador de calor.



Isolam-se alguns termos (considerações são realizadas); sistema manipulado usando transformada de Laplace...

Modelagem Aproximada...

- Sistemas industriais costumam seguir modelos simplificados:

- Sistema de 1a-ordem:

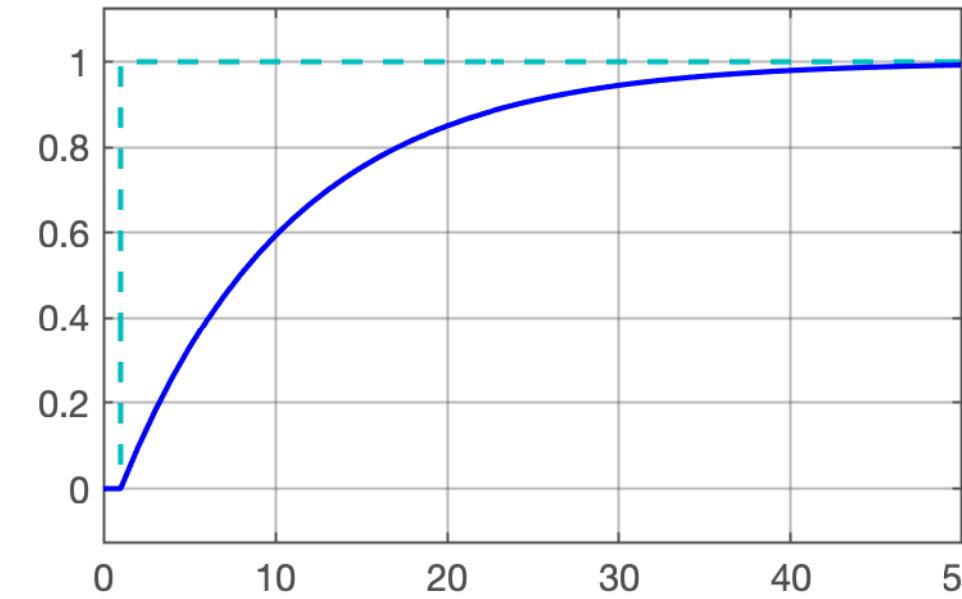
- Sem tempo-morto:

$$G(s) = \frac{K}{\tau \cdot s + 1}$$

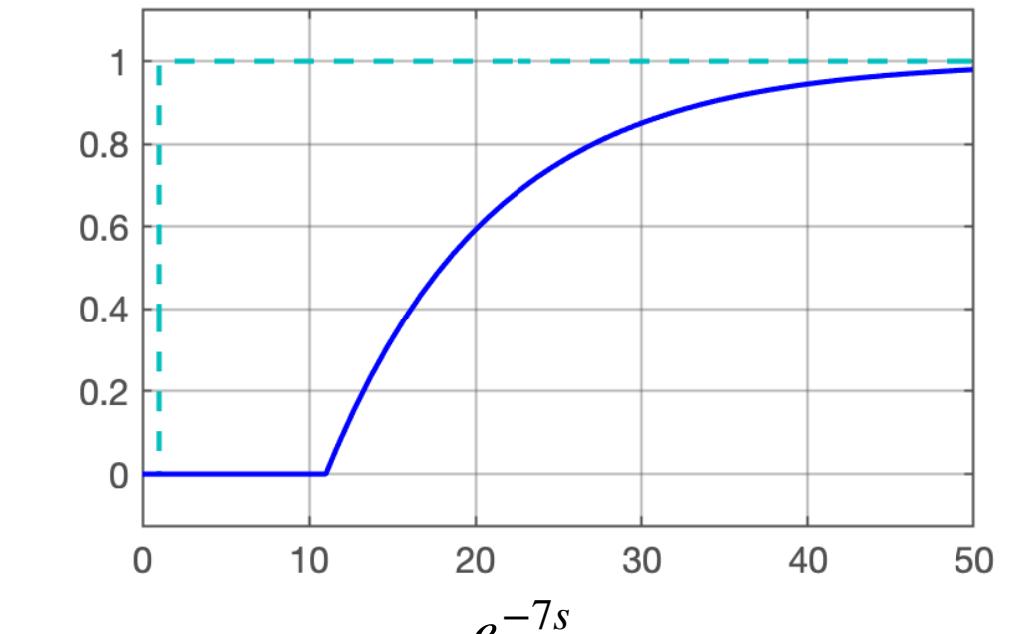
- Com tempo-morto:

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

$$G(s) = \frac{1}{10s + 1}$$



$$G(s) = \frac{e^{-10s}}{10s + 1}$$



- Sistemas de 2a-ordem:

- Super-amortecidos:

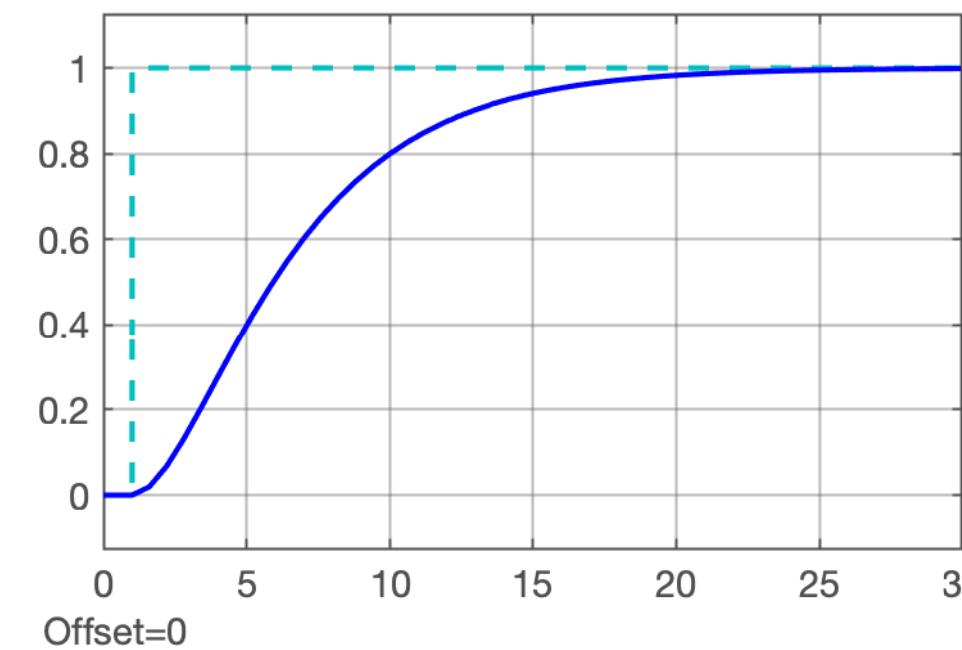
- Sem tempo-morto:

$$G(s) = \frac{K}{(\tau_1 \cdot + 1)(\tau_2 \cdot + 1)}$$

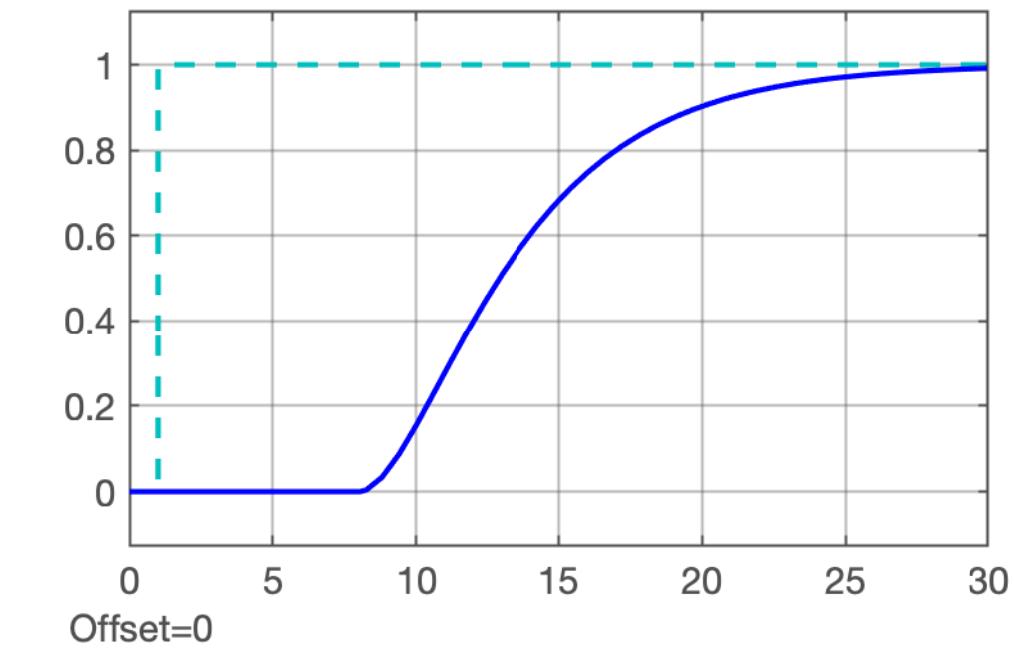
- Com tempo-morto:

$$G(s) = \frac{K \cdot e^{-\theta \cdot s}}{(\tau_1 \cdot + 1)(\tau_2 \cdot + 1)}$$

$$G(s) = \frac{1}{(4s + 1)(2s + 1)}$$



$$G(s) = \frac{e^{-7s}}{(4s + 1)(2s + 1)}$$



- Sub-amortecidos:

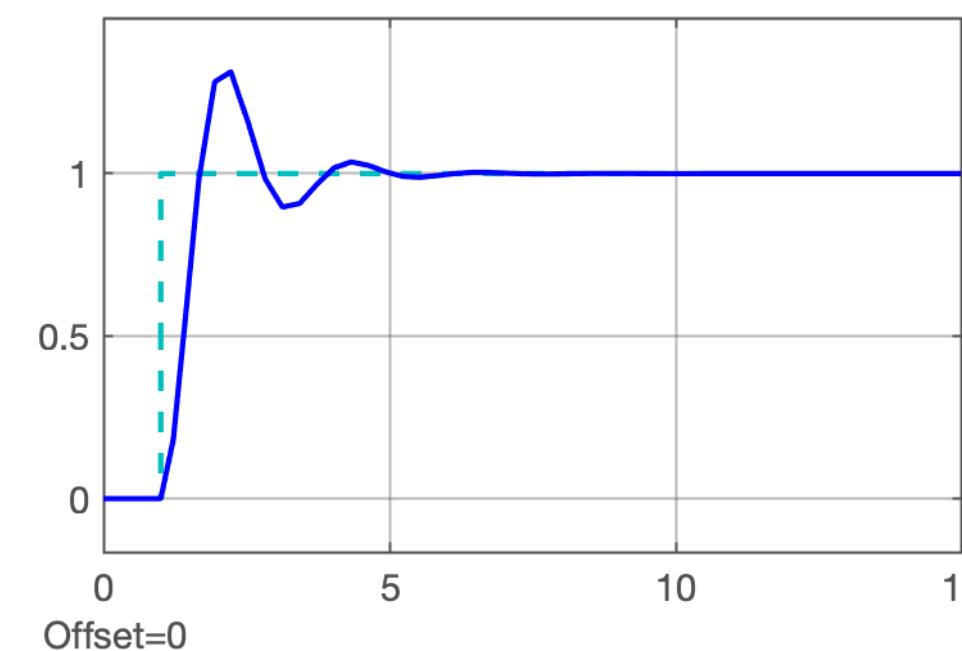
- Sem tempo-morto:

$$G(s) = \frac{K}{\omega_n^2 \cdot s^2 + 2 \cdot \omega_n \cdot \zeta \cdot s + 1}$$

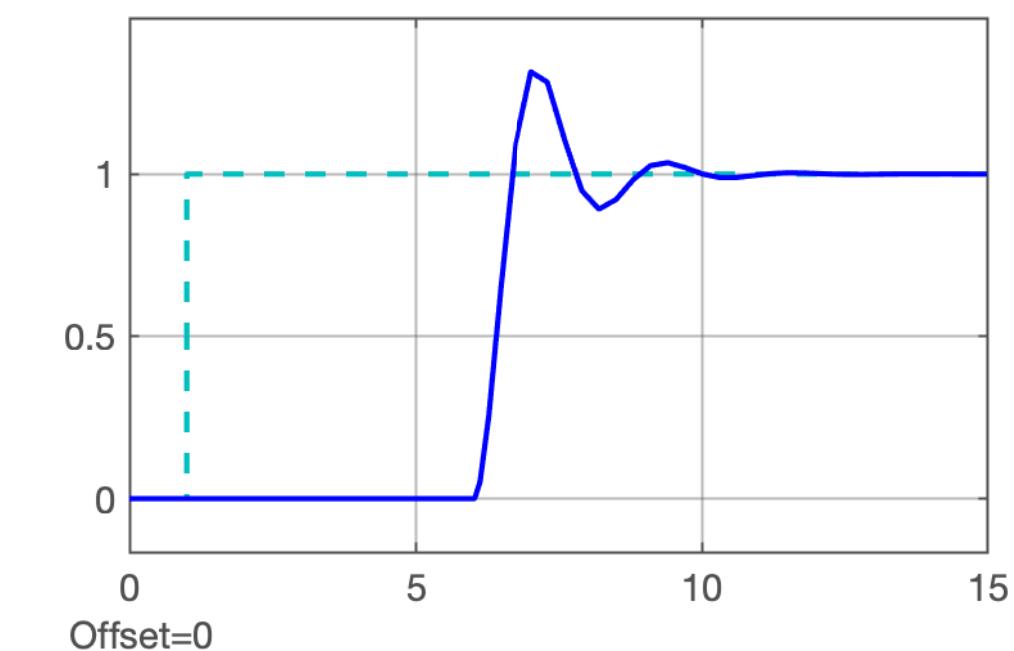
- Com tempo-morto:

$$G(s) = \frac{K \cdot e^{-\theta \cdot s}}{\omega_n^2 \cdot s^2 + 2 \cdot \omega_n \cdot \zeta \cdot s + 1}$$

$$G(s) = \frac{1}{s^2 + 2s + 9}$$



$$G(s) = \frac{e^{-5s}}{s^2 + 2s + 9}$$



Técnicas de Estimação de Modelos

À partir da curva de resposta do processo

- Método de Oldenbourg e Sartoris;
- Método de Smith;
- Método de Sten;
- Método de Harriot;
- Método de Meyer;
- Método de Anderson;
- Método de Ziegler-Nichols;
- Método de Smith (considerando atraso no tempo);
- Método de Sundaresan e Krishnaswamy;
- Outros...

$$G(s) = \frac{K \cdot e^{-\theta \cdot s}}{(\tau_1 \cdot s + 1)(\tau_2 \cdot s + 1)}$$

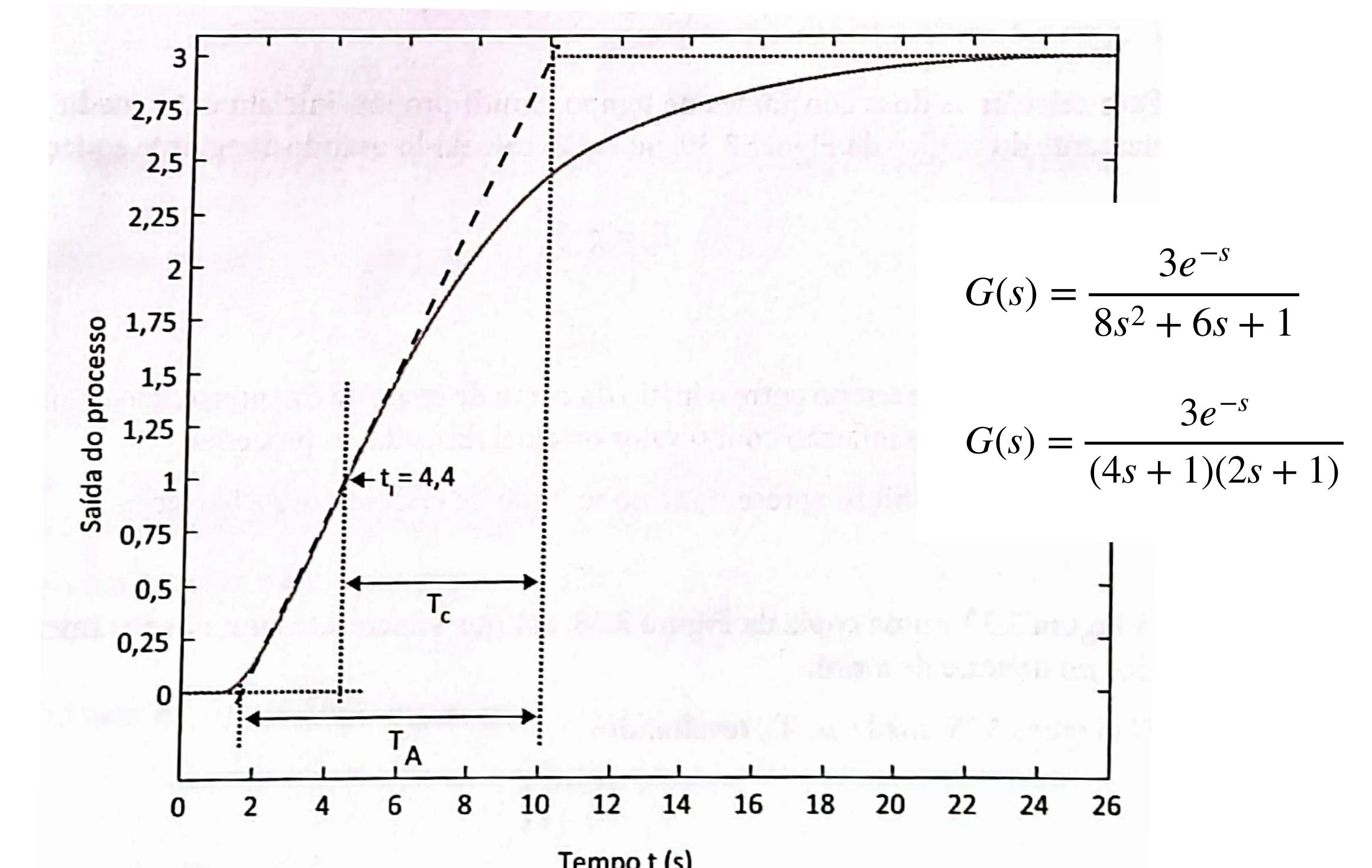


Figura 3.38 – Método de Oldenbourg e Sartorius usado para gerar um modelo de segunda ordem de um processo superamortecido.

Técnicas de Estimação de Modelos

À partir da curva de resposta do processo

- Método de Oldenbourg e Sartoris;
- Método de Smith;
- Método de Sten;
- Método de Harriot;
- Método de Meyer;
- Método de Anderson;
- Método de Ziegler-Nichols;
- Método de Smith (considerando atraso no tempo);
- Método de Sundaresan e Krishnaswamy;
- Outros...

$$G(s) = \frac{K}{(\tau_1 \cdot s + 1)(\tau_2 \cdot s + 1)}$$

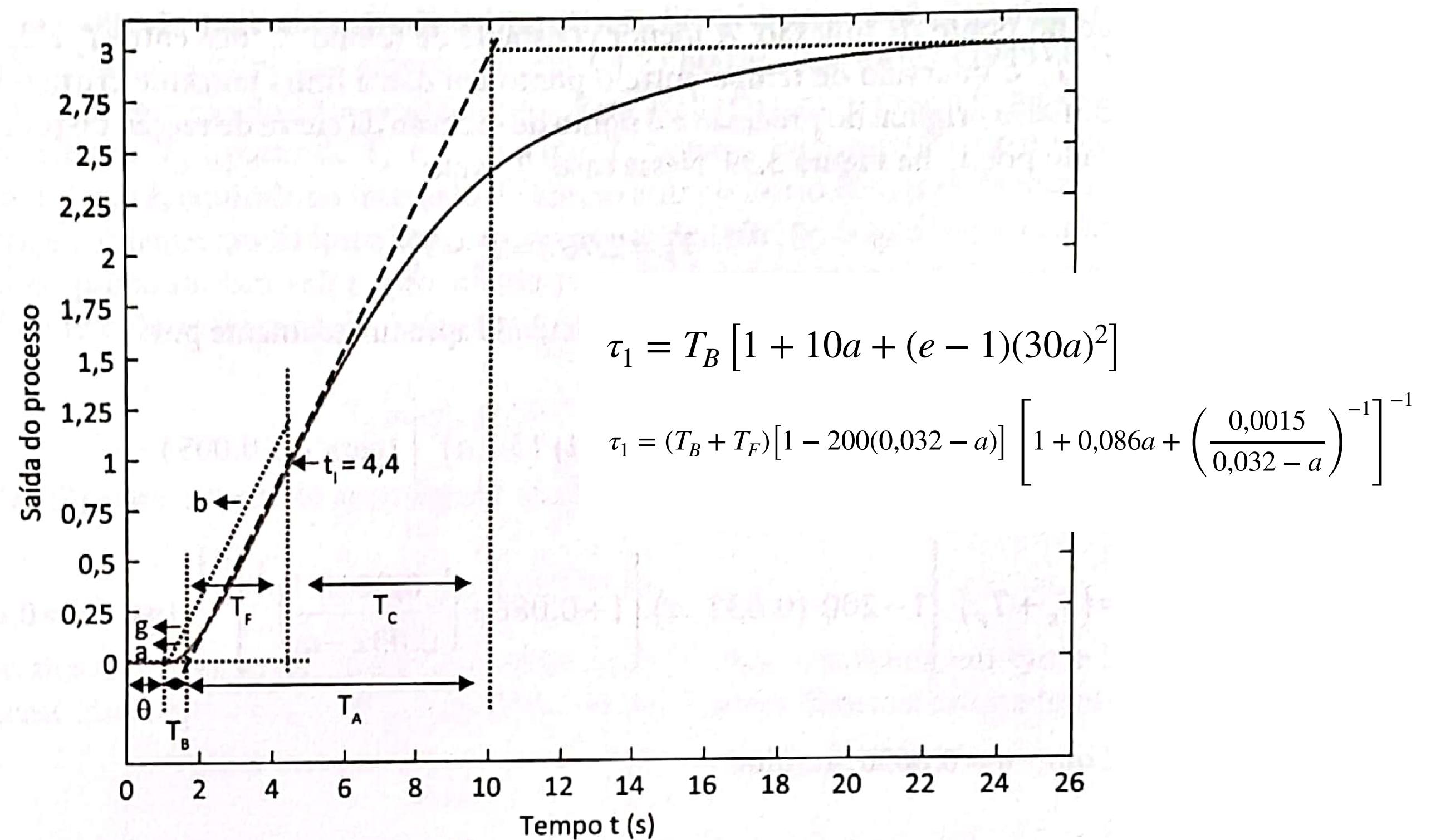


Figura 3.39 – Método de Smith usado para gerar um modelo de segunda ordem de um processo superamortecido.

Técnicas de Estimação de Modelos

À partir da curva de resposta do processo

- Método de Oldenbourg e Sartoris;
- Método de Smith;
- Método de Sten;
- Método de Harriot;
- Método de Meyer;
- Método de Anderson;
- Método de Ziegler-Nichols;
- Método de Smith (considerando atraso no tempo);
- Método de Sundaresan e Krishnaswamy;
- Outros...

$$G(s) = \frac{K}{(\tau_1 \cdot s + 1)(\tau_2 \cdot s + 1)}$$

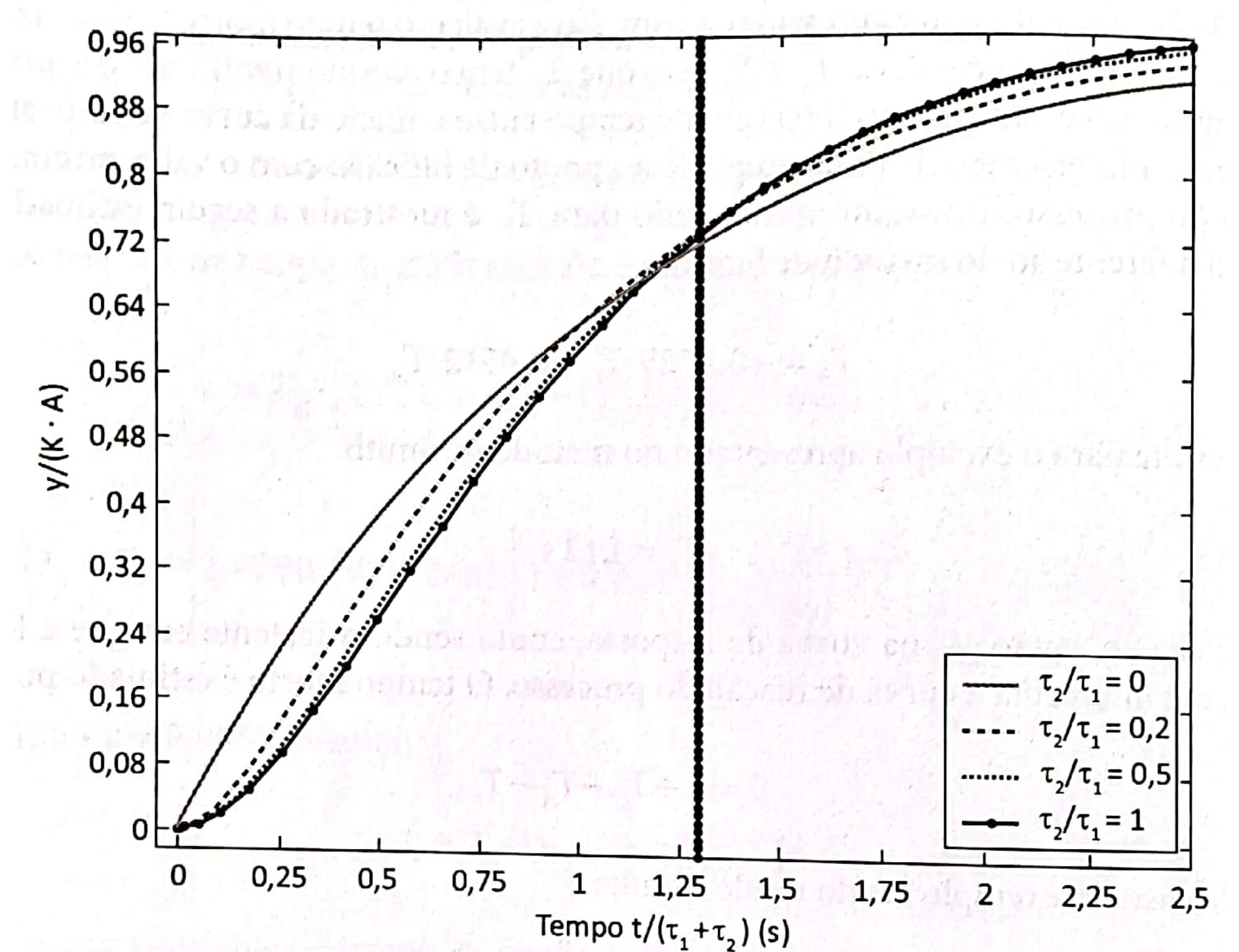


Figura 3.40 – Gráfico empregado por Harriott para deduzir o seu método.

Técnicas de Estimação de Modelos

À partir da curva de resposta do processo

- Método de Oldenbourg e Sartoris;
- Método de Smith;
- Método de Sten;
- Método de Harriot;
- Método de Meyer;
- Método de Anderson;
- Método de Ziegler-Nichols;
- Método de Smith (considerando atraso no tempo);
- Método de Sundaresan e Krishnaswamy;
- Outros...

$$G(s) = \frac{K}{(\tau_1 \cdot s + 1)(\tau_2 \cdot s + 1)}$$

$$G(s) = \frac{K \cdot \omega_n^2}{s^2 + 2 \cdot \zeta \cdot \omega_n \cdot s + \omega_n^2}$$

Estima frequência natural ω_n e coeficiente de amortecimento ζ

Técnicas de Estimação de Modelos

À partir da curva de resposta do processo

- Método de Oldenbourg e Sartoris;
- Método de Smith;
- Método de Sten;
- Método de Harriot;
- Método de Meyer;
- Método de Anderson;
- Método de Ziegler-Nichols;
- Método de Smith (considerando atraso no tempo);
- Método de Sundaresan e Krishnaswamy;
- Outros...

Aproximação para sistema de 1a-ordem com atraso no tempo (tempo-morto):

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

Técnicas de Estimação de Modelos

À partir da curva de resposta do processo

- Método de Oldenbourg e Sartoris;
- Método de Smith;
- Método de Sten;
- Método de Harriot;
- Método de Meyer;
- Método de Anderson;
- Método de Ziegler-Nichols;
- Método de Smith (considerando atraso no tempo);
- Método de Sundaresan e Krishnaswamy;
- Outros...

Aproximação para sistema de 1a-ordem com atraso no tempo (tempo-morto):

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

$$G(s) = \frac{K}{(\tau_1 \cdot s + 1)(\tau_2 \cdot s + 1)}$$

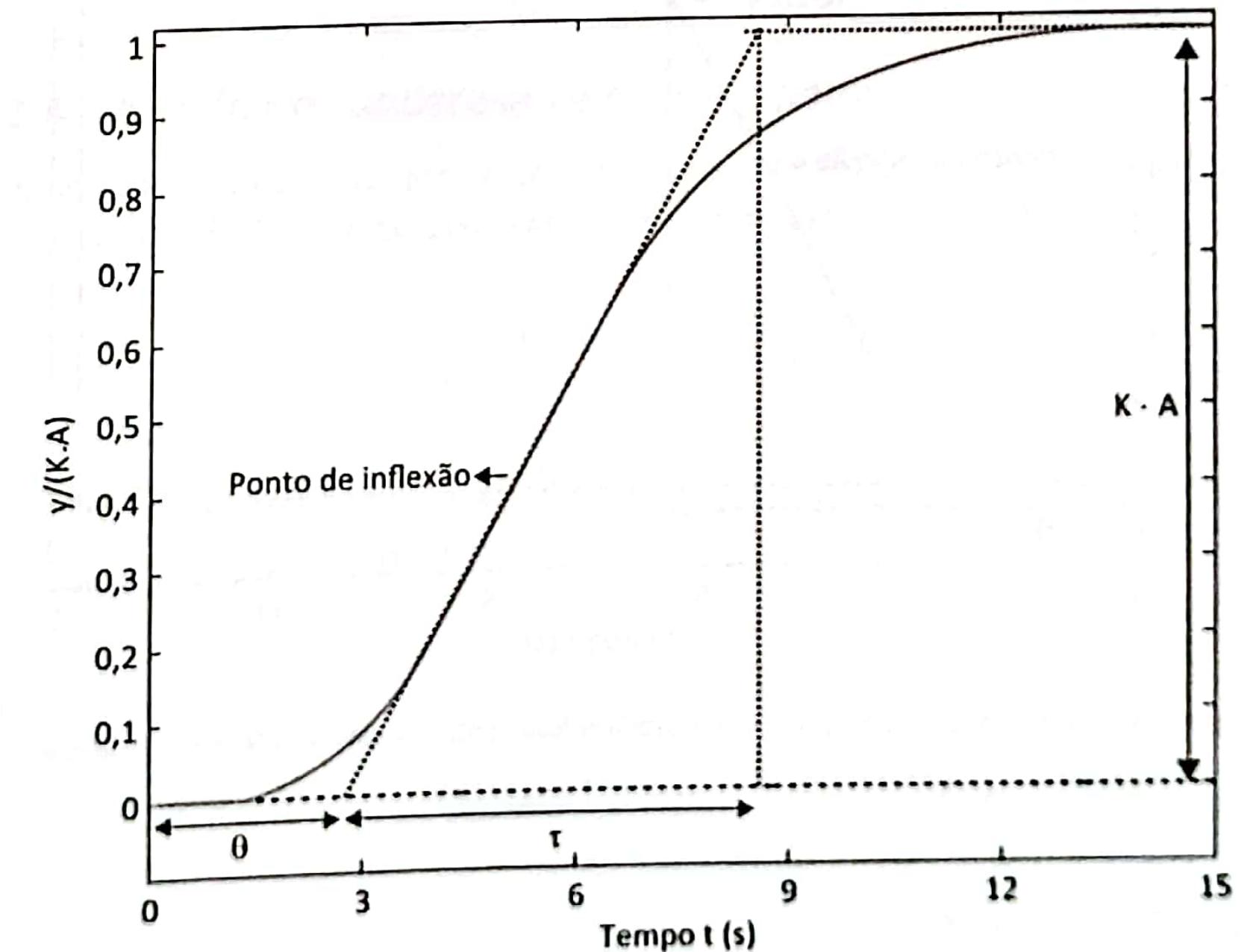


Figura 3.47 – Aplicação do método da tangente para determinação dos parâmetros θ e τ do modelo representado por um sistema de primeira ordem mais tempo morto.

Exemplo por Estimação de Modelo 1a-ordem com atraso no tempo

Usando Ziegler-Nichols

Aproximação para sistema de 1a-ordem com atraso no tempo (tempo-morto):

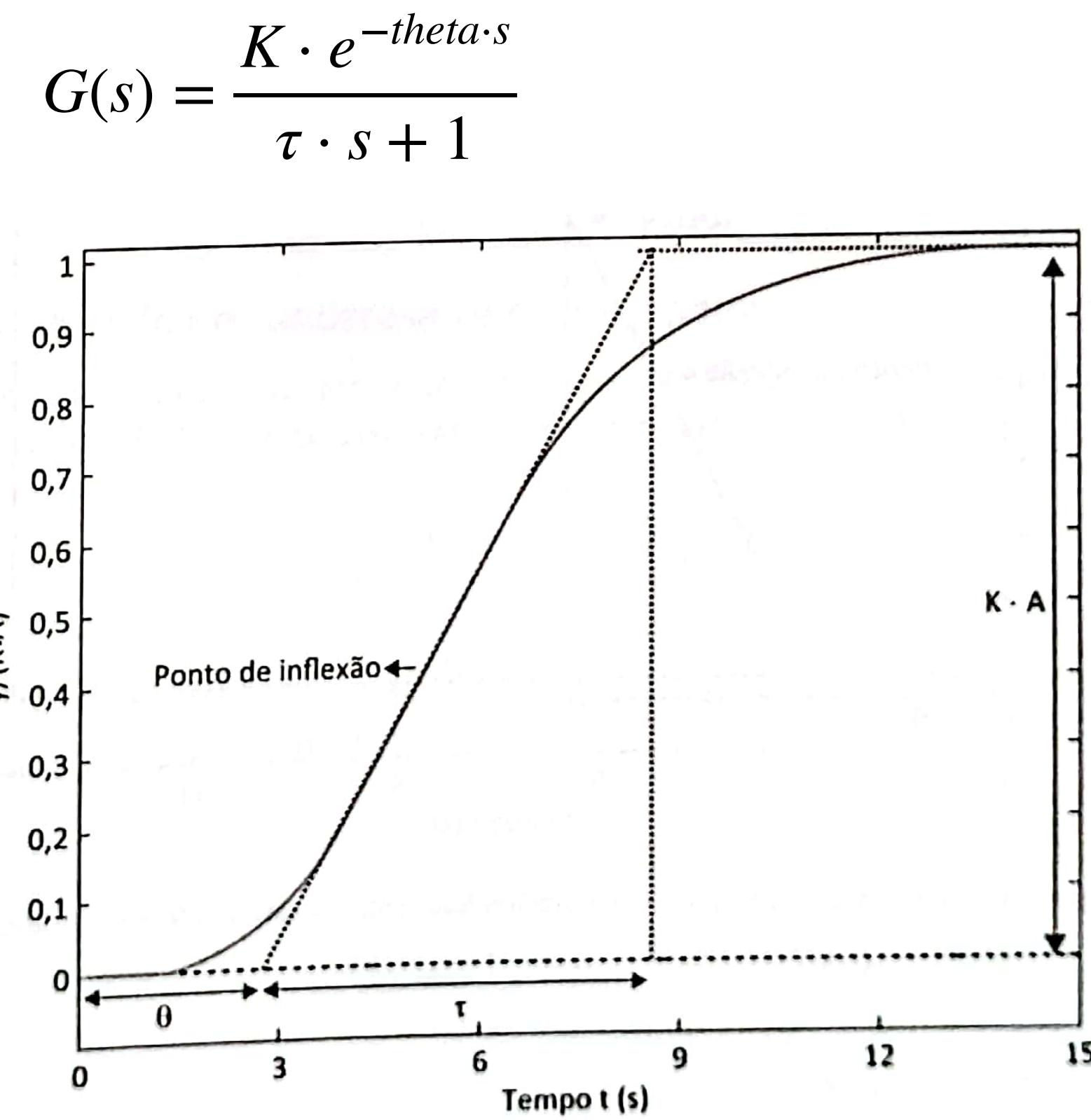


Figura 3.47 – Aplicação do método da tangente para determinação dos parâmetros θ e τ do modelo representado por um sistema de primeira ordem mais tempo morto.

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

$$G(s) = \frac{2,45 \cdot e^{-1,2 \cdot s}}{6,6 \cdot s + 1}$$

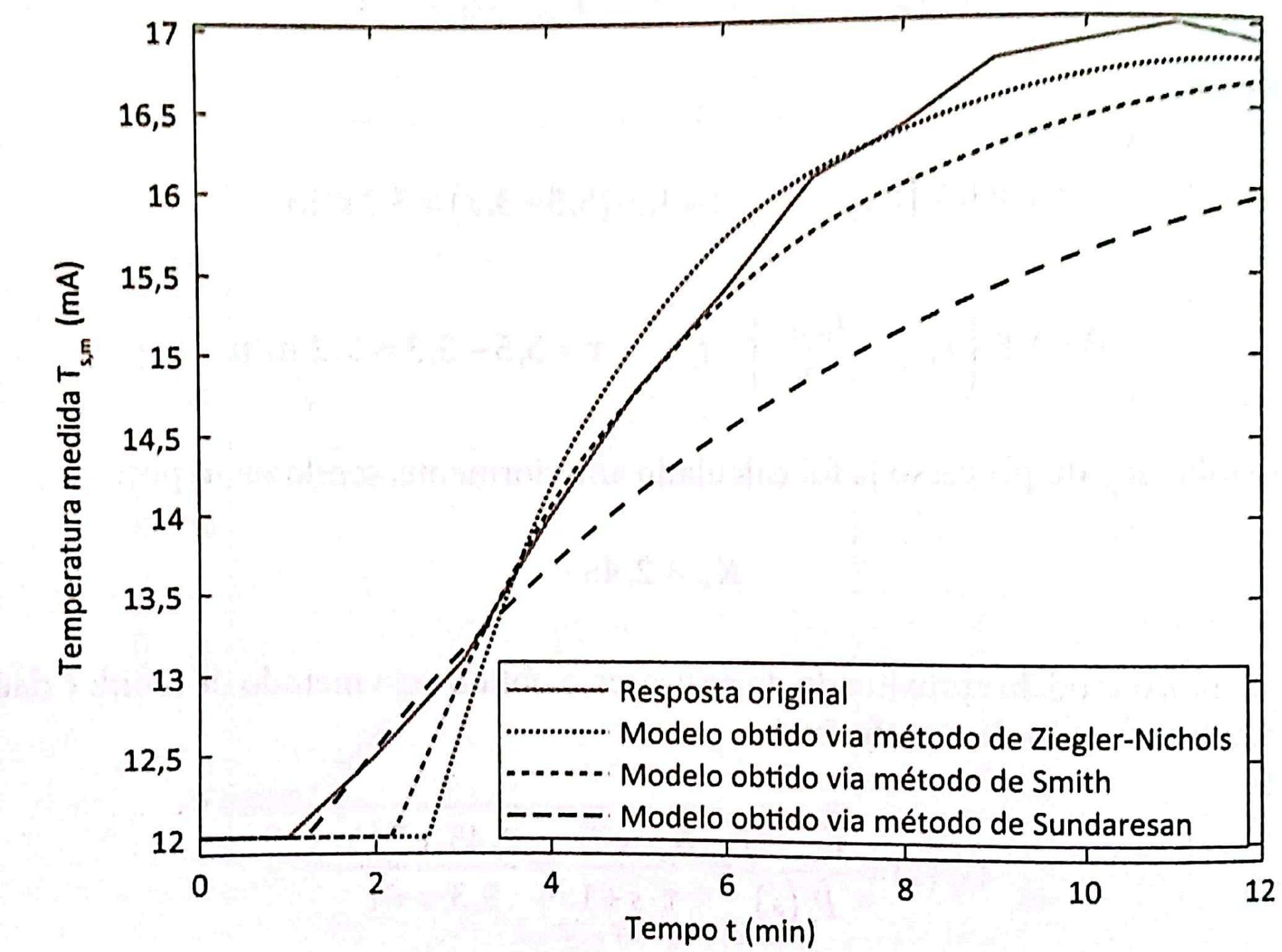


Figura 3.52 – Resposta da temperatura medida $T_{s,m}(t)$ para os dados do processo e para os três modelos obtidos.

Resultados de Estimativas

Diferentes modelos...

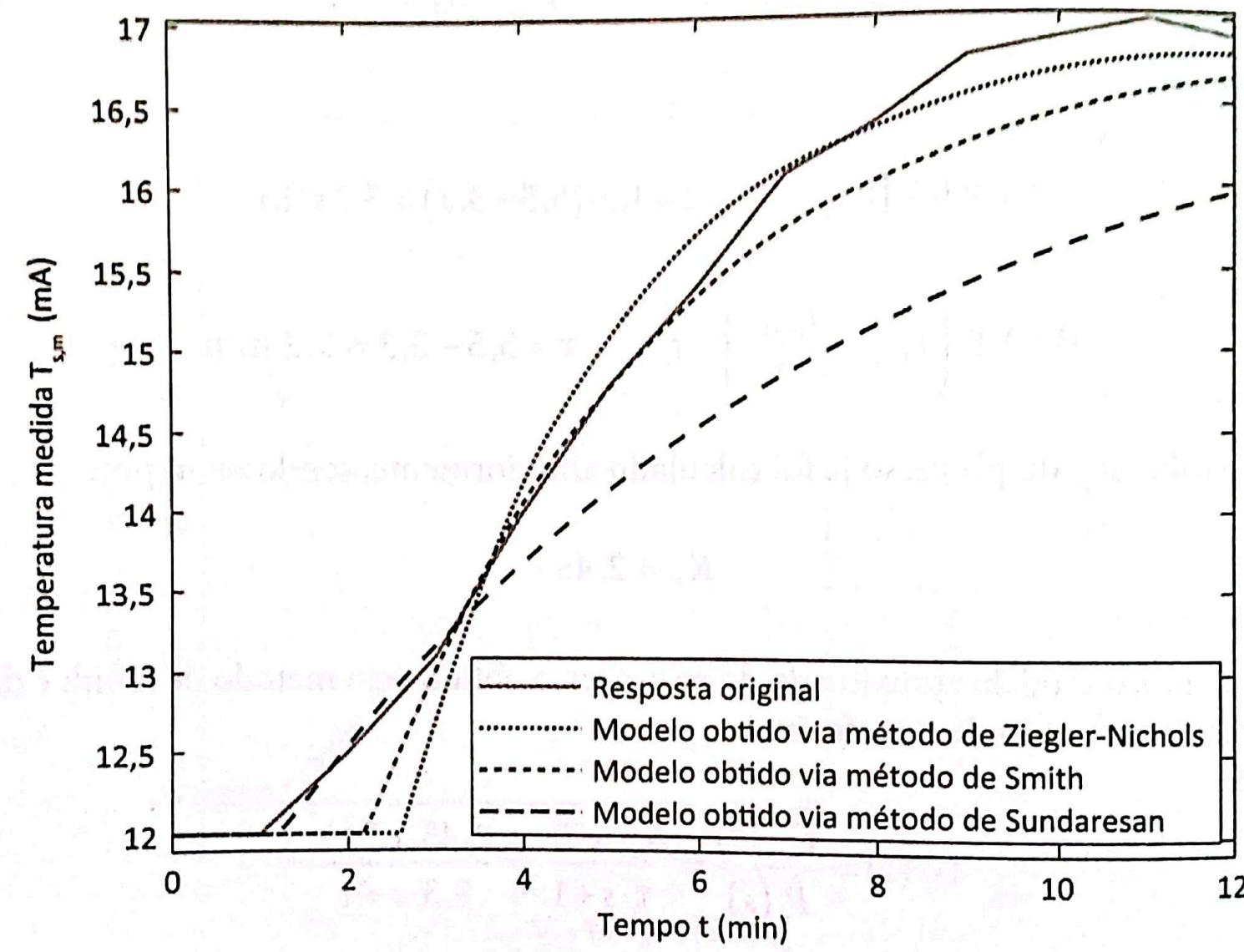


Figura 3.52 – Resposta da temperatura medida $T_{s,m}(t)$ para os dados do processo e para os três modelos obtidos.

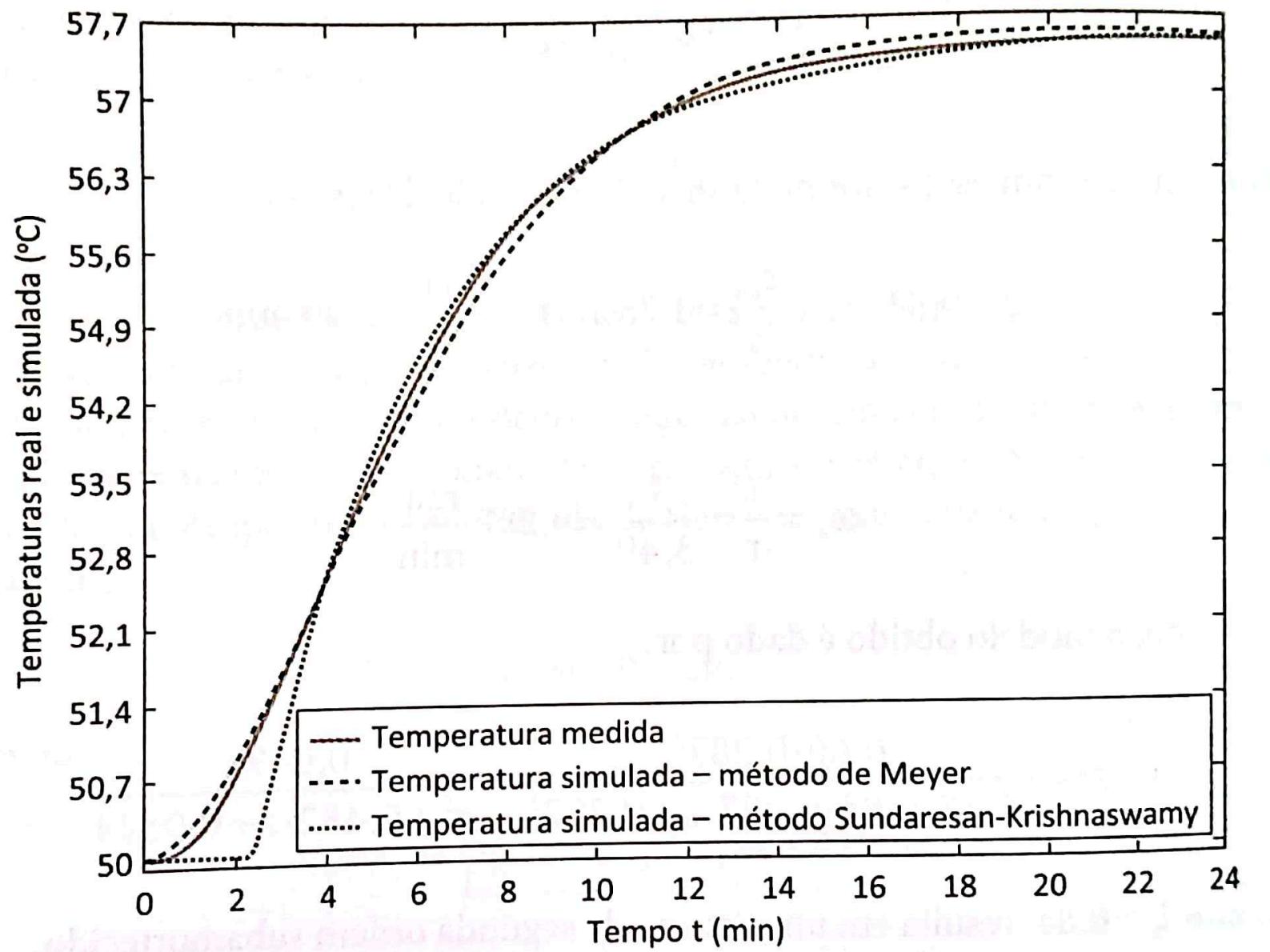


Figura 3.57 – Temperatura medida e simulada.

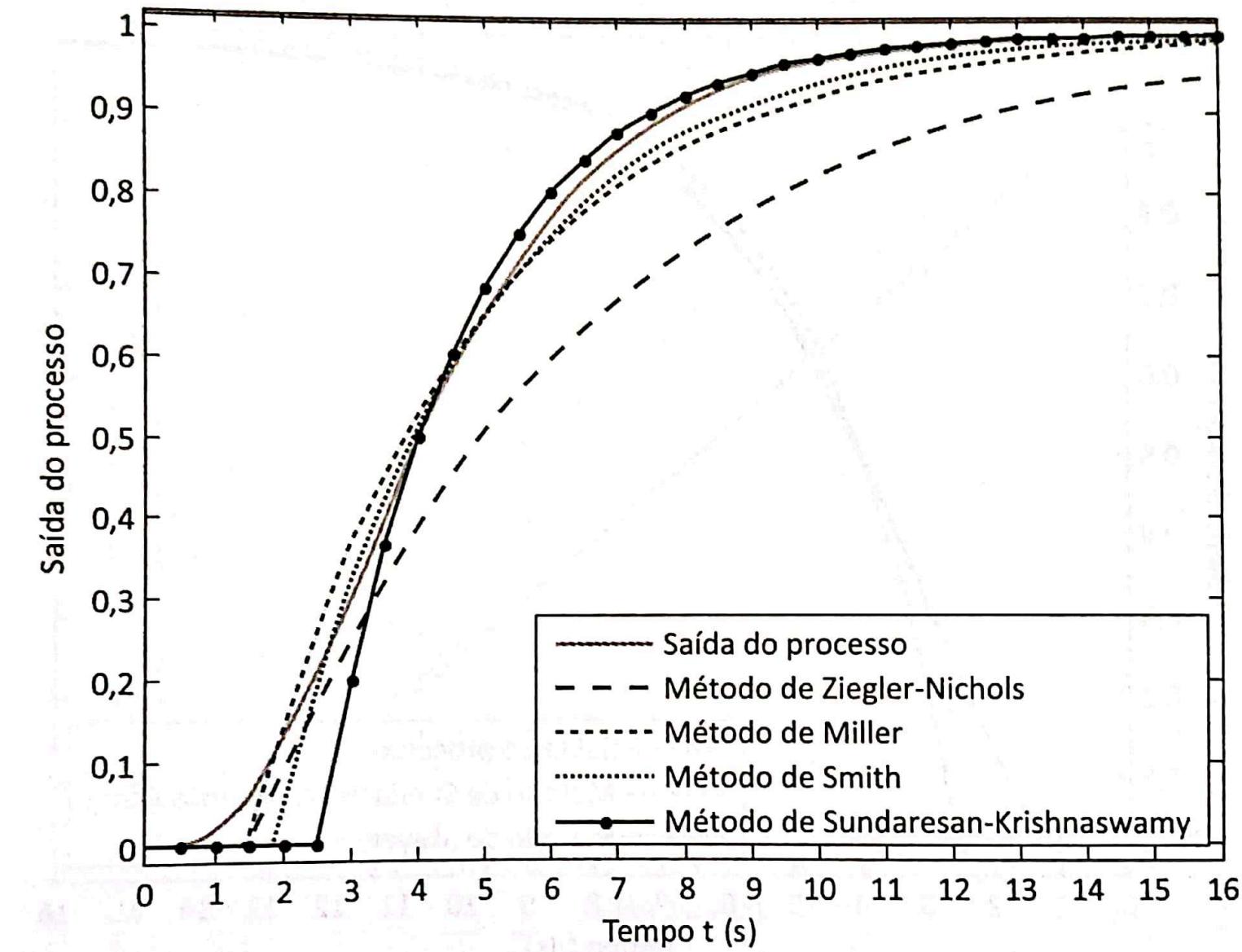


Figura 3.61 – Comparação da resposta a degrau unitário dos modelos obtidos.

Técnicas de Estimação de Modelos

À partir da curva de resposta do processo

- Método de Oldenbourg e Sartoris;
- Método de Smith;
- Método de Sten;
- Método de Harriot;
- Método de Meyer;
- Método de Anderson;
- Método de Ziegler-Nichols;
- Método de Smith (considerando atraso no tempo);
- Método de Sundaresan e Krishnaswamy;
- Outros...

Ref.: Garcia, Cláudio. Controle de Processos Industriais: Volume 1) Estratégias Convencionais, São Paulo: Blucher, 2017.