

# Projeto e Controle de Processo com Controle de Nível, Vazão e Temperatura



LUAN R. P. MEDEIROS E EDUARDO S. TOGNETTI

Departamento de Engenharia Elétrica, ENE/FT/UnB, Brasília, DF, Brasil

Emails: luan.rafael@hotmail.com e estognetti@ene.unb.br

## Resumo

Este projeto aborda o problema de controle de nível e temperatura de um processo didático envolvendo mistura de soluções. Deseja-se controlar a temperatura e o nível de água em um tanque com o uso de controladores PI e PID, e estratégias de controle tipicamente empregadas em plantas industriais. São apresentadas três estratégias de controle: uma monovariável e duas multimalhas.

## Introdução

Processos com controle temperatura e nível são usuais nas indústrias de alimentos e químicas, e geralmente demandam altos valores energéticos. São apresentadas diferentes estratégias para o controle de temperatura e nível de um processo possível de ser implementado para fins didáticos.

## Descrição do Sistema

O processo é composto por dois tanques ligados pela base, e o fluxo de água provém de duas bombas. A representação do processo é a seguinte:

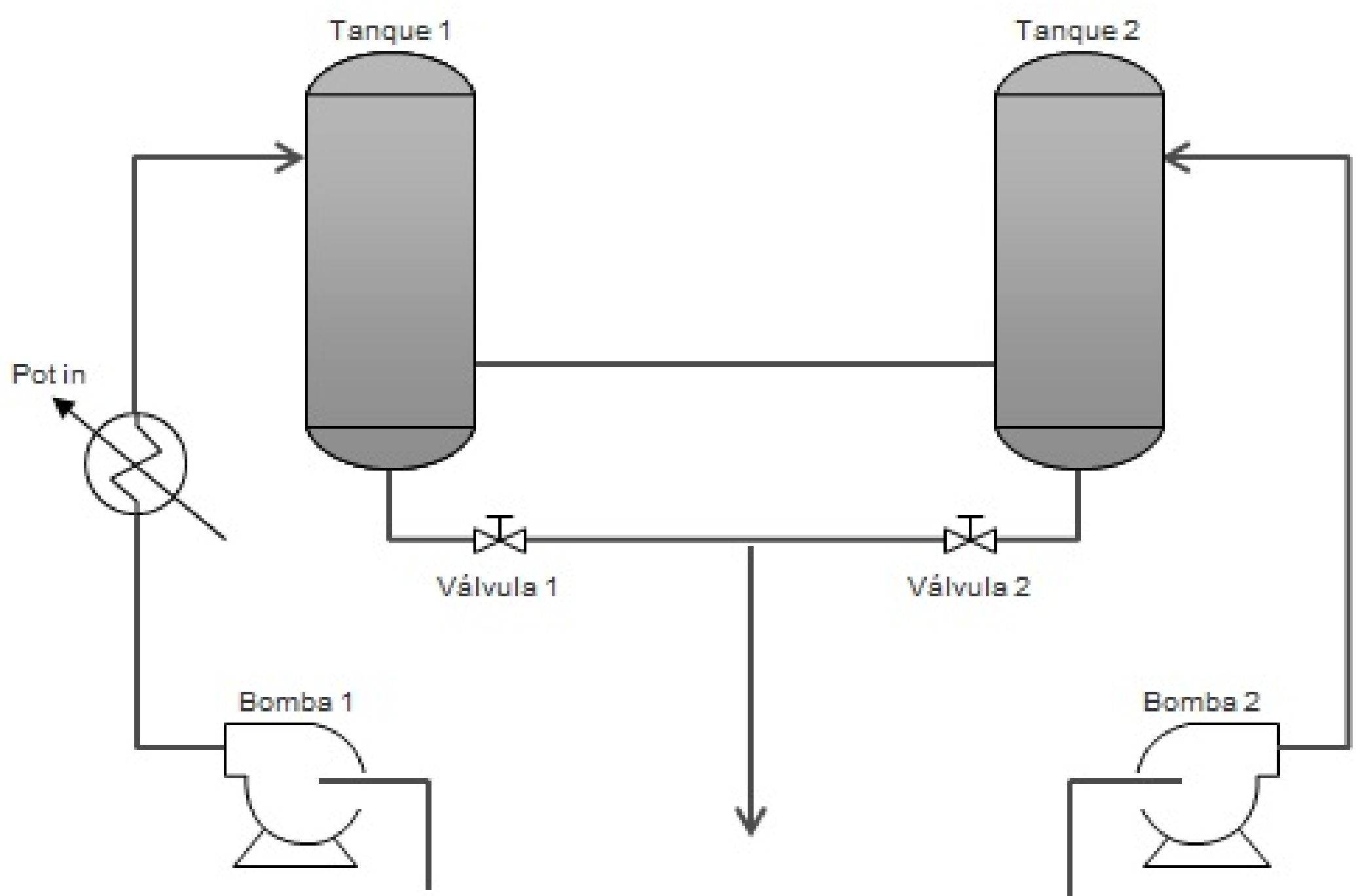


Figura 1: Processo de mistura.

Descrição: a água proveniente da bomba 1 passa pelo estágio de aquecimento e entra no tanque 1. O tanque 2 é alimentado com água em temperatura ambiente através da bomba 2, e também com água aquecida do tanque 1 por meio de uma tubulação de ligação.

## Modelagem Matemática

O Teorema de Torricelli foi aplicado para determinar a velocidade de saída média dos tanques  $V_r$ . Com isso, determinam-se fluxos de saída do tanque 2 e o do tanque 1 ao tanque 2, em que foi considerado o nível relativo dos tanques:

$$F_{out} = \pi \cdot r_{out}^2 \cdot V_r \quad (1)$$

Aplicou-se o princípio de conservação de massa para obter a dinâmica do nível dos tanques:

$$\frac{dH}{dt} = \frac{\sum F_{in} - \sum F_{out}}{A_{transversal}} \quad (2)$$

Para descrição da dinâmica da temperatura nos tanques aplicou-se o balanço de energia para cada elemento do sistema: unidade de aquecimento, tanque 1 e tanque 2:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\sum F_{in} \cdot T_{in} - \sum F_{out} \cdot T}{Volume} + \frac{Pot \cdot cp \cdot \rho}{Volume} \quad (3)$$

## Linearização e Funções de Transferência

A linearização valeu-se do uso de variáveis de desvio. Define-se um ponto de operação do sistema, com níveis e temperaturas fixas. As funções de transferência do sistema são determinadas para este ponto, garantindo condições iniciais nulas.

## Estratégias de Controle e Sintonia

Com base nos modelos matemáticos e no comportamento do sistema, foram definidas as estratégias de controle simples, cascata e cruzado. A sintonia dos controladores PI e PID é baseada no método IMC (do inglês Internal Model Controller) de Skogestad. Os controladores foram sintonizados a partir das funções de transferência, e as simulações foram realizadas com a representação não linear do processo.

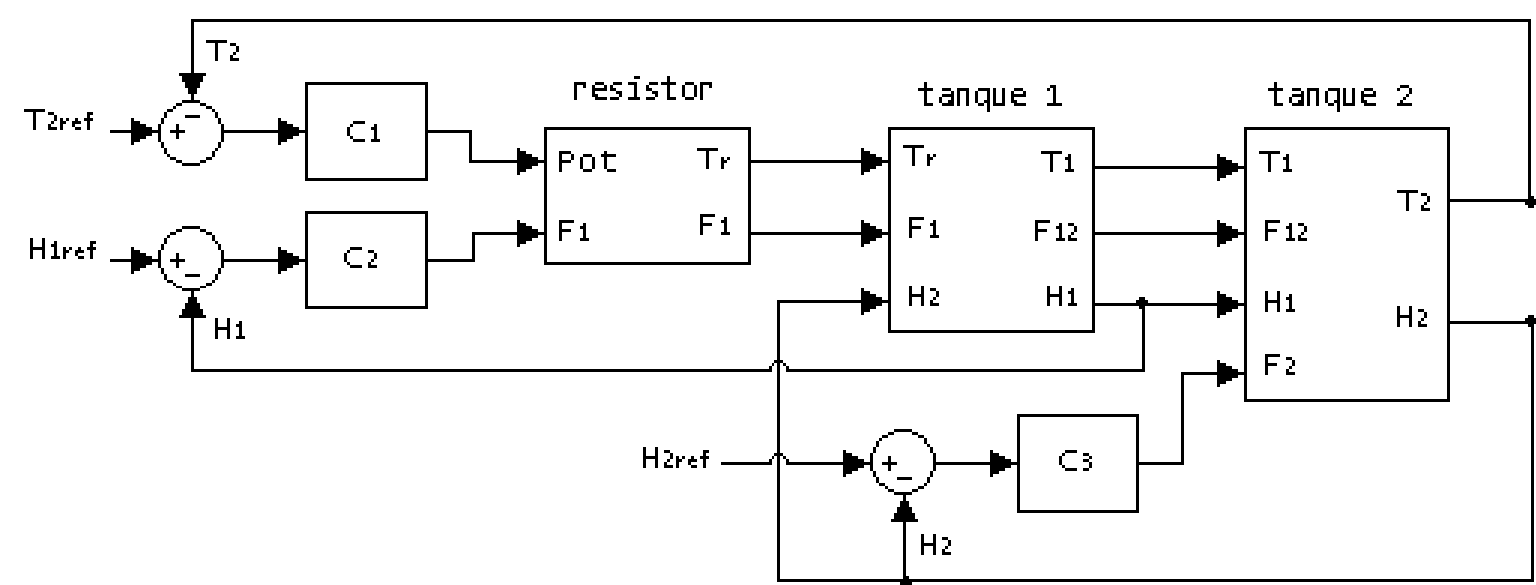


Figura 2: Simples.

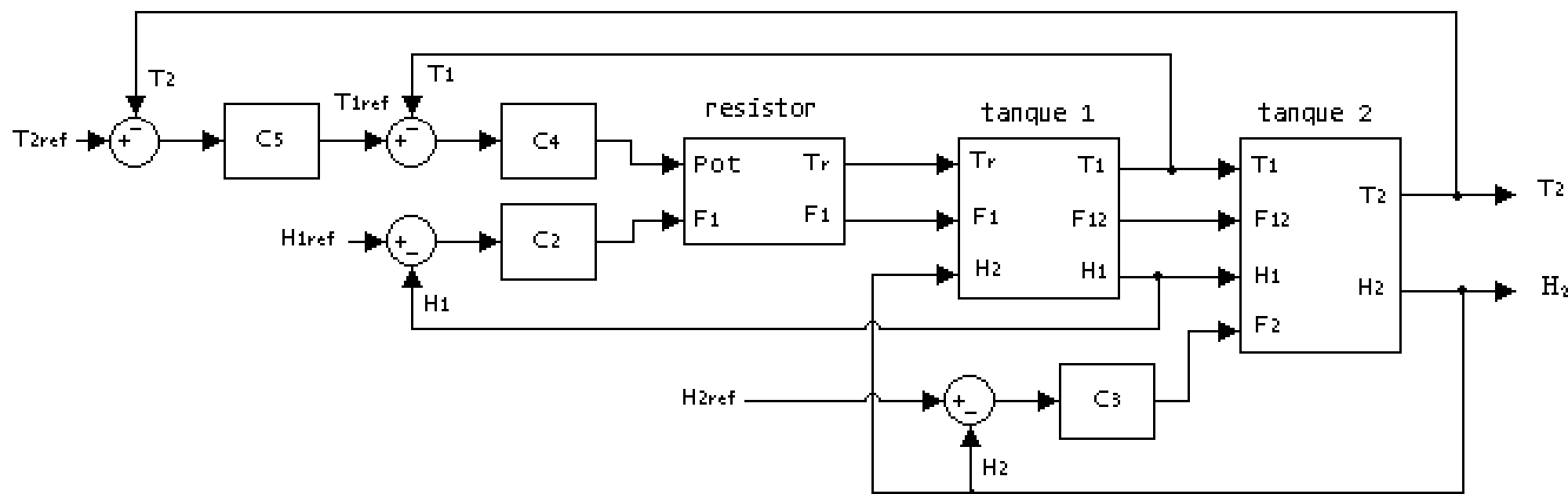


Figura 3: Cascata.

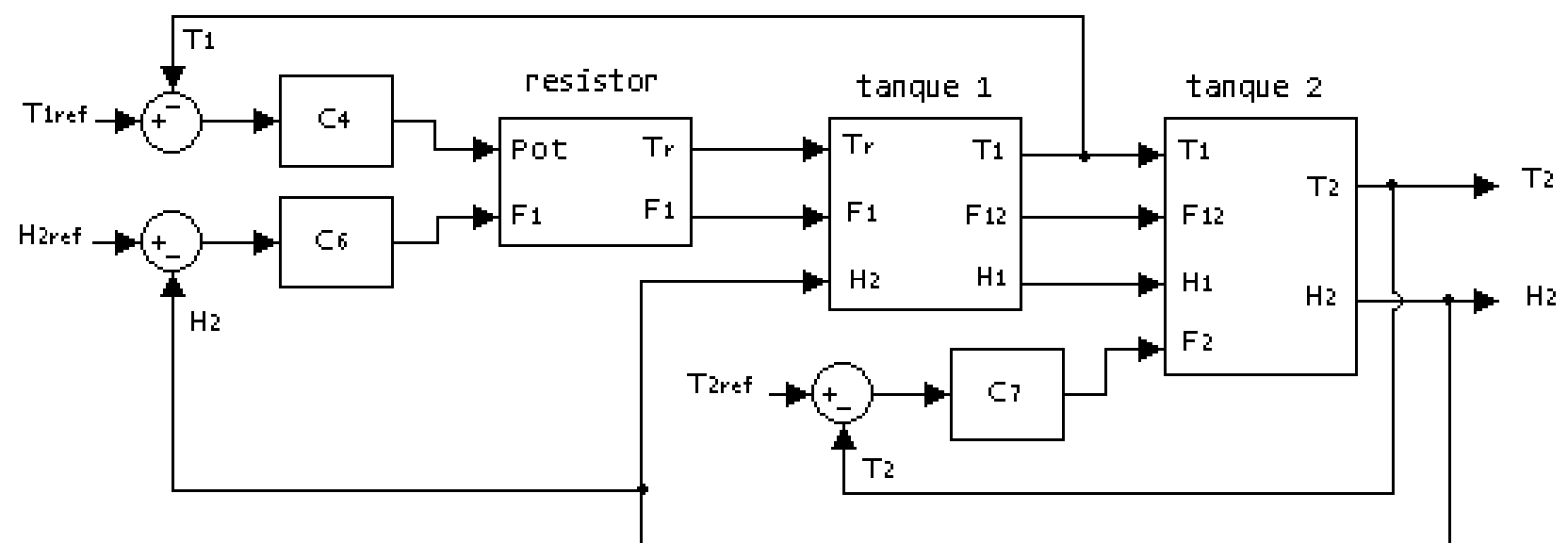


Figura 4: Cruzado.

## Análise dos Resultados

Simulou-se estratégias de controle em malha fechada. Sinais do tipo degrau foram usados para referências de  $H_2$  e  $T_2$ .

O resultado da simulação das estratégias de controle em malha fechada é mostrado abaixo:

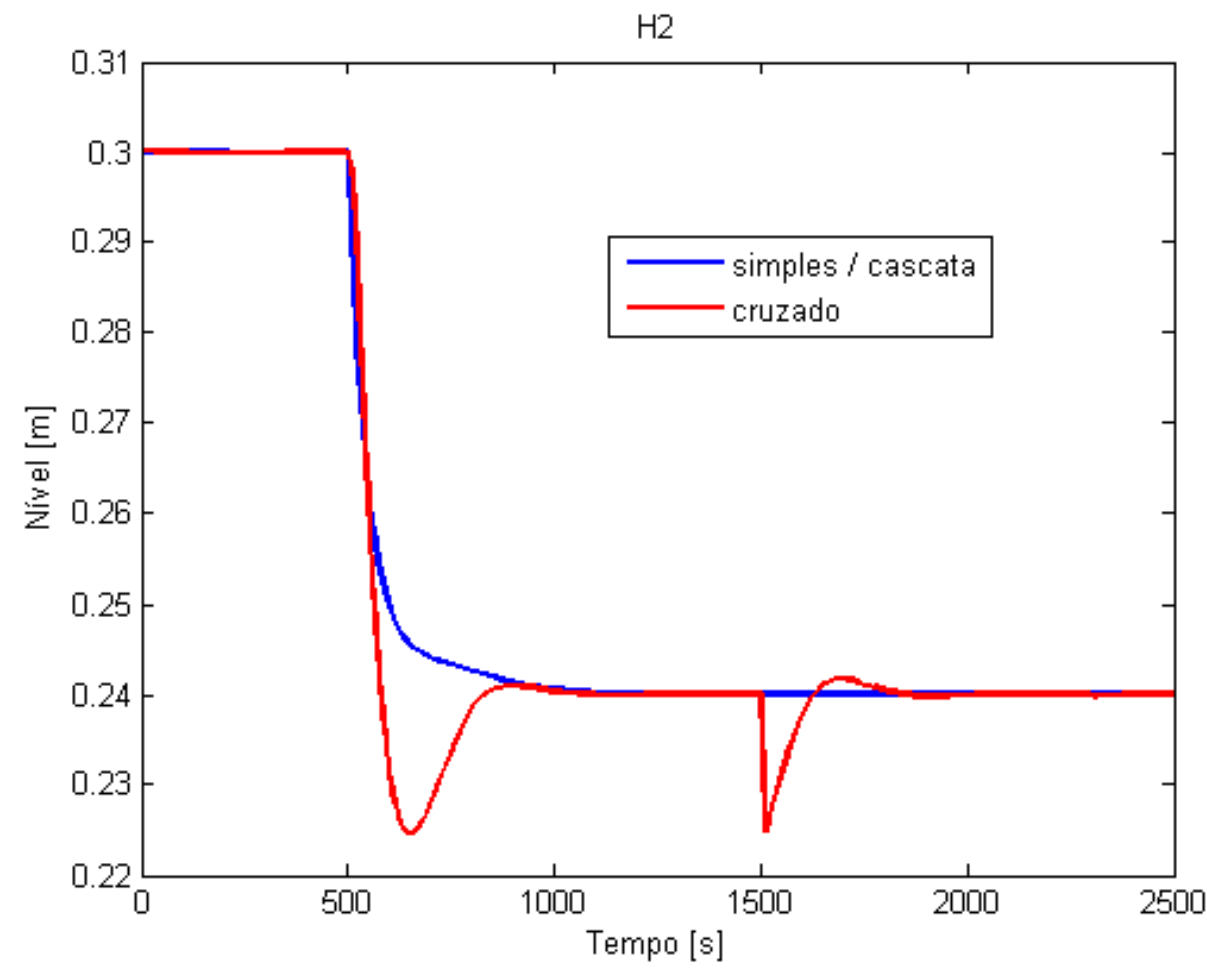


Figura 5: Nível do tanque 2.

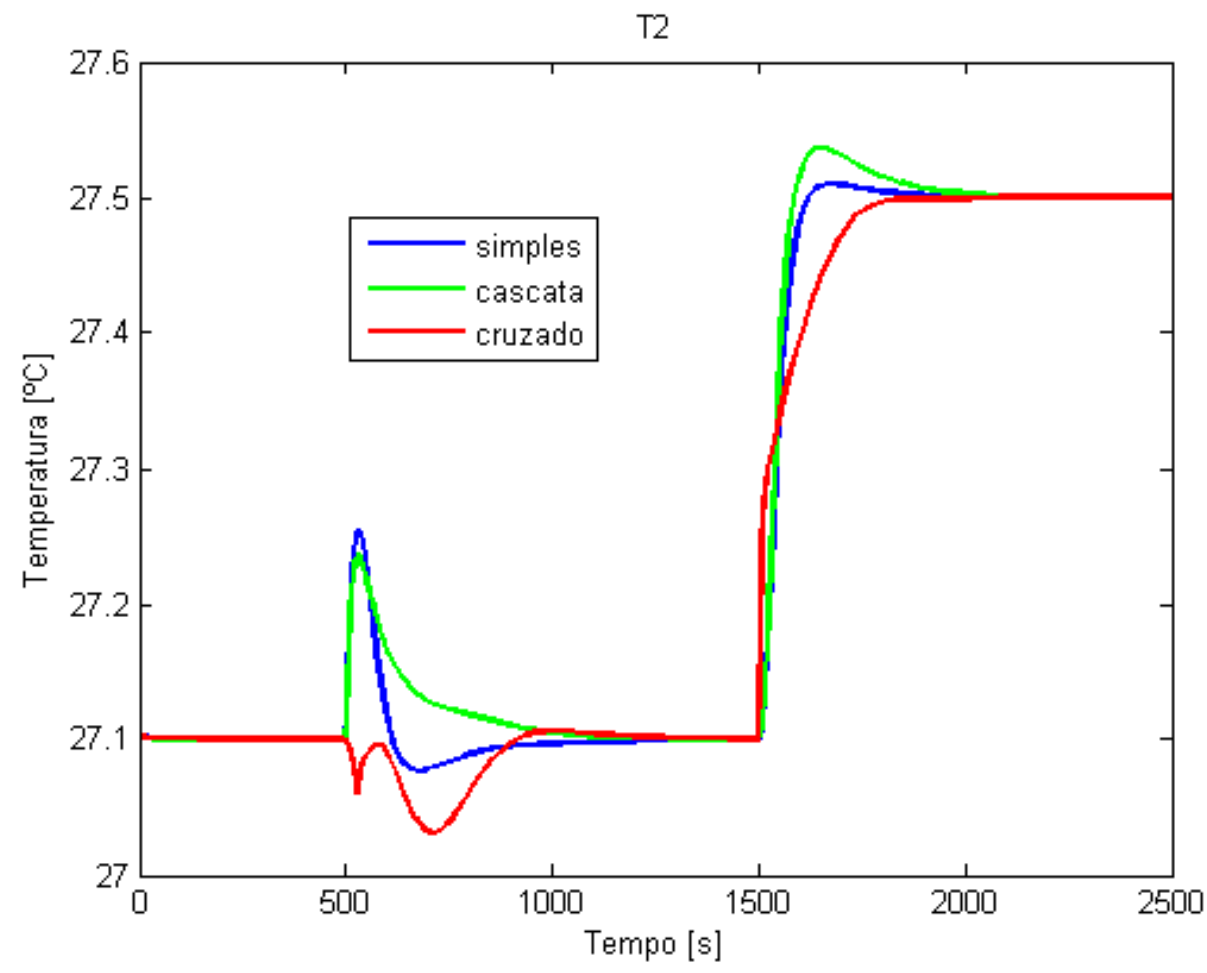


Figura 6: Temperatura do tanque 2.

São usados indicadores de desempenho nas variáveis  $H_2$  e  $T_2$ : a integral do erro absoluto (IAE), a integral do quadrado do erro (ISE), distúrbio (Dist), valor de pico do erro causado por distúrbio, e sobresinal (M).

Estratégia	IAE	ISE	Dist (cm)	M (cm)
Simples	3.91	0.09	0	0
Cascata	3.91	0.09	0	0
Cruzado	5.81	0.14	1.51	1.54

Tabela 1: Indicadores quantitativos de  $H_2$  para um degrau de 6 cm.

Estratégia	IAE	ISE	Dist (°C)	M (°C)
Simples	34.45	6.24	0.153	0.010
Cascata	43.46	6.29	0.136	0.037
Cruzado	40.42	4.48	0.068	0

Tabela 2: Indicadores quantitativos de  $T_2$  para um degrau de 0.4 °C.

É observado que nas estratégias simples e cascata o controle de nível é melhor, pois a malha de temperatura está desacoplada. Com a estratégia cascata é possível atenuar um distúrbio na temperatura do tanque 1 antes que atinja o tanque 2. Na estratégia cruzado o controle de temperatura afeta o controle de nível.

## Conclusão

Foi descrito o processo de controle de nível e temperatura de tanques. O sistema foi modelado, linearizado em torno do ponto de operação e sua representação em funções de transferência foi obtida. Utilizou-se controladores PI e PID, sintonizados pelas funções de transferência. Três estratégias de controle foram implementadas computacionalmente e comparadas. Estratégias de controle mais avançadas podem ser aplicadas para este sistema futuramente.