



Universidade Federal de Minas Gerais
Departamento de Engenharia Eletrônica

ELT-039/130 Técnicas de Controle de Processos Industriais

1o. semestre de 2022 - 13/06/2022

Prof. Guilherme V. Raffo

Prova Substitutiva - Prova 1 - 30 pontos

Nome: _____

Nota: _____

Problema (30 pontos)

A figura 1 mostra um esquema de um sistema de controle de refrigeração de uma sala de máquinas. Neste sistema, deseja-se controlar a temperatura no interior da sala e, para isso, utiliza-se um trocador de calor água-ar instalado na entrada de ventilação da sala.

O fluxo de ar frio que entra na sala tem a sua vazão W controlada por um ventilador de velocidade constante. O controle da quantidade de ar frio enviada para a sala se regula atuando na abertura da válvula de três vias que controla a vazão de água fria que circula pelo trocador de calor (V). A água fria chega ao trocador com temperatura T_a e vem de um sistema externo de geração de frio que alimenta outras salas. O ar introduzido na sala é puxado do exterior pelo ventilador onde se encontra a temperatura T_e .

O engenheiro propõe uma **primeira solução** de controle, na qual é instalado um medidor de vazão da água fria que troca calor com o ar (V), e medidores de temperatura da sala (T) e do ar externo (T_e), como se mostra na figura 1.

Nestas condições, realizando experimentos no processo nas vizinhanças do ponto de operação se identifica um modelo que relaciona T com V , T_e e T_a , dado por:

$$T(s) = \frac{-10e^{-40s}}{(20s+1)(s+1)}V(s) + \frac{2e^{-5s}}{(15s+1)(3s+1)}[T_e(s) + T_a(s)]$$

Por outro lado, o modelo do sistema de vazão de água fria é:

$$V(s) = \frac{1.5}{0.2s+1}a(s) + 2p(s)$$

onde p é a pressão de alimentação antes da válvula (todos os tempos estão em minutos).

O sistema de controle em MF (malha fechada) de temperatura (T) deve cumprir as seguintes especificações:

- ser capaz de rejeitar as perturbações em regime permanente de tipo degrau de T_a , T_e e p e atenuar da melhor maneira possível os efeitos das perturbações nos transitórios;
- seguir referência do tipo degrau com erro nulo e ter resposta transitória em malha fechada para o problema de seguimento de referência com tempo de acomodação $t_{5\%} \leq 30$ minutos e sem sobre-oscilação;

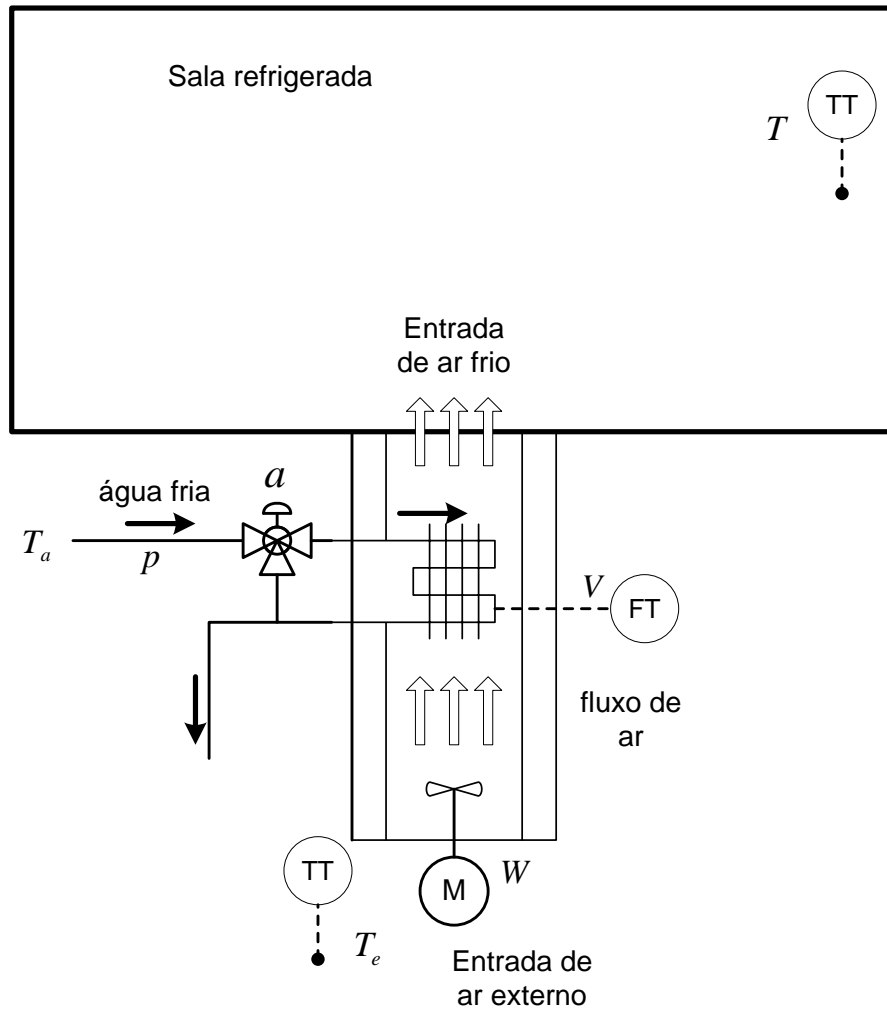


Figura 1: Sistema de refrigeração - Primeira solução.

iii) tratar problemas que possam ocorrer devido aos limites da abertura da válvula, $a \in [a_{min}, a_{max}]$.

Projete e ajuste o sistema de controle de temperatura, T , utilizando somente as variáveis disponíveis para medição e atuação e considerando as especificações e as restrições impostas pelos sinais disponíveis. A escolha do método de projeto e sintonia dos controladores fica a cargo do projetista, salvo o caso que a técnica seja especificada no problema.

Para isso leve em consideração as seguintes etapas:

a) **Primeira solução:**

1. Defina uma estrutura para o sistema de controle de T utilizando somente as variáveis disponíveis para medição e atuação e que atenda as especificações. Justifique todas as escolhas, isto é, explique claramente quais os objetivos de cada controle proposto. Desenhe o diagrama completo da estrutura de controle detalhando as conexões de planta com os controladores projetados. **(9 pontos)**
2. Ajuste os controladores definidos em (a1) para atender as especificações. **(6 pontos)**
3. Analise a resposta obtida, principalmente no que diz respeito à velocidade de rejeição das perturbações do sistema. **(3 pontos)**

b) **Segunda solução:**

Numa **segunda solução** do sistema de controle, o engenheiro instala mais dois medidores de temperatura, um na saída do ar do trocador que vai para a sala (T_s) e um segundo na entrada de água fria do trocador (T_a), como ilustrado na figura 2.

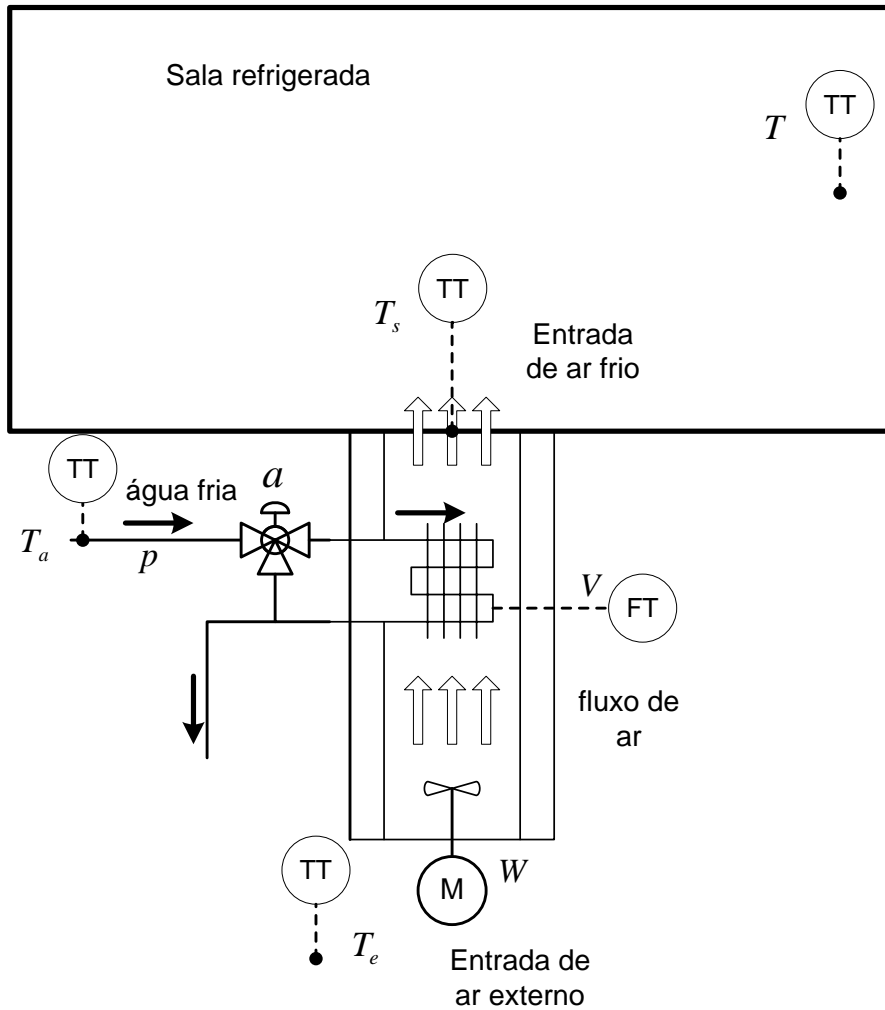


Figura 2: Sistema de refrigeração com dois sensores adicionais - segunda solução.

Com estas medidas adicionais é possível melhorar o modelo usando a variável intermediária $T_s(s)$. Assim, o novo modelo identificado para temperatura T resulta em:

$$T(s) = \frac{2e^{-40s}}{20s + 1} T_s(s)$$

$$T_s(s) = \frac{-5}{s + 1} V(s) + \frac{1}{3s + 1} T_e(s) + \frac{1}{2s + 1} T_a(s)$$

Considera-se que o modelo de vazão não muda neste novo esquema.

1. Visando os mesmos objetivos de controle do item (a), proponha uma nova solução e **compare com a anterior**. Para o projeto e sintonia utilize todas as partes da estrutura de controle projetada em (a) que possam ser re-utilizadas para esta solução. No projeto do controlador de temperatura utilize a técnica de IMC para ajustá-lo. Justifique as escolhas. (7 pontos)

2. Qual é a principal vantagem desta nova solução? **(3 pontos)**
- c. O controle obtido em (b) deve ser implementado em um PC conectado ao processo por uma placa AD/DA. Portanto, defina o período de amostragem para cada malha do sistema de controle. **(2 pontos)**
- d) **Bonus** Baseado nos períodos de amostragem definidos no item (c), escreva um pseudo código de controle a ser implementado, incluindo todos os passos e cálculos a serem realizados com todas as variáveis. Não precisa discretizar detalhadamente as leis de controle, apenas escreva a forma geral de cada uma para saber quais variáveis são usadas e organize a sequência de cálculo das mesmas. Caso queira discretizar os controladores, utilize a aproximação de Euler ($s = \frac{z-1}{T_s}$, sendo T_s o período de amostragem) **(3 pontos)**