

## AVALIAÇÃO DO ACÚMULO DE INCRUSTAÇÕES NO PROJETO DE TROCADOR DE CALOR

Bruno Eduardo Boraczynski Vantini Mazzin (PIBIC/CNPq/FA/Uem), Esdras Penêdo de Carvalho (Orientador), e-mail: brunoeduh09@gmail.com.

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Ciências Exatas / Maringá, PR.

**Área e subárea do conhecimento: Matemática Aplicada.**

**Palavras-chave:** Trocador de calor, casco e tubo, incrustações.

### Resumo:

Trocadores de calor do tipo casco e tubo são equipamentos utilizados na transferência de calor entre fluidos na indústria para processos em geral. Um dos fatores de projeto mais importante é a taxa de acúmulo de depósitos indesejáveis ou incrustações, exigindo intervenções de limpeza por provocar a diminuição da eficiência de troca térmica. Para analisar os trocadores de calor, foram estudados artigos científicos acerca do tema e suas projeções, aprendizado de softwares e implementações dos modelos. Com isso, foi possível projetar por meio das implementações no Matlab, um trocador de calor do tipo casco e tubo adequado para o problema proposto.

### Introdução

Os trocadores são equipamentos utilizados na indústria para processos em geral, visando a transferência de calor entre fluidos para atingir a temperatura necessária. Dentre vários modelos disponíveis, os trocadores de calor do tipo casco e tubo são amplamente utilizados nos mais diversos processos industriais. O projeto desses trocadores é extremamente importante, visto que há diversas variáveis que englobam seu dimensionamento e eficiência a serem analisadas.

De modo geral, o dimensionamento básico de um trocador de calor consiste no cálculo da área total de troca térmica (tamanho do trocador), sendo esta a variável dependente em um projeto. As propriedades físicas dos fluidos e as respectivas temperaturas de entrada e saída das correntes são, em geral, os dados de entrada para o problema. A partir do balanço de energia, tem-se a equação geral para o projeto de um trocador de calor.

Dessa forma, o projeto de trocadores de calor requer o conhecimento prévio de alguns fatores e pode incluir processos complexos, como o conhecimento das condições de operação dentro da planta e a seleção de parâmetros geométricos do equipamento. Ainda, um projeto satisfatório engloba a ponderação entre custo, máxima queda de pressão admitida, facilidade e frequência de intervenções para limpeza, pressão de operação e aspectos

de segurança, levando a um problema de otimização. Com isso, o projeto teve o intuito de iniciar o acadêmico em pesquisa na área de Matemática Aplicada, familiarizando-o com técnica numéricas para resolução prática de modelos matemáticos, além de proporcionar conhecimento na implementação computacional para resolução de problemas.

## Materiais e métodos

Foram realizados estudos em artigos científicos, tais como (SELBAS; KIZILKAN; REPPICH, 2006) e (CARVALHO; CARVALHO; RAVAGNANI 2017) que abordam o ponto de vista econômico na projeção de um trocador de calor. Além disso, foi estudado a projeção de trocadores de calor pelos métodos de Kern e Bell Delaware, podendo-se assim projetar um trocador de calor para determinada situação que se encontra nos processos industriais.

Para implementação computacional, aprendeu-se a dominar o Matlab via videoaulas e realização de exercícios, podendo-se assim, realizar o estudo de trocadores de calor no mesmo. Para consolidação, abordou-se um estudo de caso proposto por (KERN, 1987) e foi feita a análise dos resultados.

## Resultados e Discussão

O estudo do caso proposto por Kern (1987) aborda a projeção de um trocador de calor no qual um óleo leve (35º API) a 340 °F com uma vazão de 29800lb/h é utilizado para aquecer nafta (48º API) com uma vazão de 103000 lb/h de 200 °F até 230 °F. Devido ao óleo depositar resíduos, considera-se um fator de incrustação de 0,005 e o uso de tubos BWG 16 com diâmetro externo de 0,75 polegadas e comprimento de 16'0". Além disso, poderia haver uma queda de pressão máxima de 10 psi.

Para resolução do problema, esquematizou-se e implementou-se no Matlab utilizando-se o método de Kern, obtendo-se uma projeção adequada para essa situação. Ao obter-se o valor mais adequado para o coeficiente global de troca térmica ( $U_d$ ), pode-se determinar o trocador de calor adequado para o exemplo.

Na tabela 1, encontram-se os valores obtidos na projeção pelo Matlab e na tabela 2, encontram-se as medidas e valores determinados pela projeção.

**Tabela 1** – Dados obtidos para a tentativa inicial de 60 para o coeficiente global de troca térmica ( $U_d$ ).

Variável	Casco	Tubo
$h$ (Btu/(h.ft <sup>2</sup> .°F))	119,4	205,7
$U_c$ (Btu/(h.ft <sup>2</sup> .°F))	75,5	
$U_d$ (Btu/(h.ft <sup>2</sup> .°F))	54,2	
Rd calculado ((h.ft <sup>2</sup> .°F)/Btu)	0,0052	
Rd necessário ((h.ft <sup>2</sup> .°F)/Btu)	0,005	

$\Delta P$ calculada (psi)	5,3	1,4
$\Delta P$ permitida (psi)	10,0	10,0

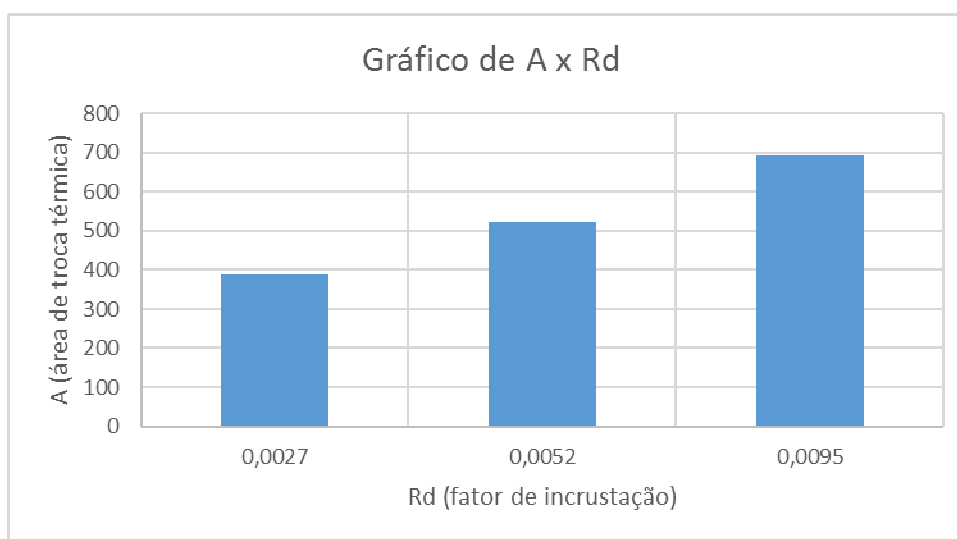
H é o coeficiente de transmissão de calor,  $U_c$  é o coeficiente global de polimento,  $U_d$  é o coeficiente global de troca térmica,  $R_d$  é o fator de incrustação e  $\Delta P$  é a queda de pressão.

**Tabela 2** – Medidas e valores determinados pela projeção do trocador de calor.

Casco	Tubo
Diâmetro interno: 17,25 polegadas	Número de tubos: 166
Espaçamento entre as chicanas: 3,05 polegadas	Comprimento dos tubos: 16'0"
1 passagem	Tubo BWG 16 com passo quadrado de 1 polegada
	Diâmetro externo: 0,75 polegadas
	2 passagens

Após tentativas para vários valores para o coeficiente global de troca térmica ( $U_d$ ), encontrou-se o valor de 54,2 que atendia o fator de incrustação necessário. Dessa forma, determinou-se as dimensões para o trocador de calor conforme descrito na tabela 2.

Na figura 1, tem-se o gráfico com os valores obtidos para a área de troca térmica ( $A$ ) em função do fator de incrustação calculado ( $R_d$ ).



**Figura 1** – Gráfico da área de troca térmica ( $A$ ) em função do fator de incrustação calculado ( $R_d$ ). Valores iniciais de  $U_d$  iguais a 70, 60 e 45, respectivamente.

Para o valor inicial de  $U_d$  igual a 70, o trocador de calor não foi qualificado por não atender as exigências do fator de incrustação. Com  $U_d$  igual a 45, obteve-se um trocador de calor adequado, porém superdimensionado. Com  $U_d$  igual a 60, notou-se um trocador de calor qualificado, por atender as exigências necessárias e ter a menor dimensão possível.

Com os resultados obtidos, observa-se que quanto maior a área necessária para troca térmica, tem-se um maior fator de incrustação do óleo, implicando na diminuição da eficiência da troca térmica e um maior custo com limpeza

do trocador de calor. Dessa forma, mostra-se necessário a projeção do trocador de calor, para ser dimensionado de forma que não tenha depósitos indesejáveis ou que seja superdimensionado, implicando em um maior custo para produção e manutenção do equipamento.

## Conclusões

Os objetivos do projeto foram alcançados, visto que foi possível compreender a importância da projeção de um trocador de calor em termos financeiros, desgastes e manutenção. Aprendeu-se como projetar e analisar o dimensionamento de um trocador de calor do tipo casco e tubo, além de obter o conhecimento sobre as variáveis envolvidas. A resolução do problema foi realizado com sucesso pela implementação no software Matlab, atingindo valores próximos ao determinado por Kern, visto uma pequena diferença devido a possíveis aproximações, diferenças em interpretações gráficas, e a uma falha ao determinar a distância entre as chicanas por um pequeno erro matemático em sua resolução, que interferiu na obtenção adequada de seu resultado para o problema.

## Agradecimentos

Agradecimento a Esdras Penêdo de Carvalho, pela confiança em designar esse projeto a mim e ter me orientado na realização e no aprendizado sobre trocadores de calor.

Agradecimento a Caroline Borges de Carvalho, pelos ensinamentos e orientações para realização desse projeto.

Agradecimento ao CNPQ por ter me concedido a bolsa e ter fornecido a oportunidade de poder realizar esse projeto e me auxiliar na carreira acadêmica.

## Referências

CARVALHO, C. B. DE; CARVALHO, E. P.; RAVAGNANI, M. A. S. S. Dynamic Analysis of Fouling Buildup in Heat Exchangers Designed According to TEMA Standards. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 57, p. 3753–3764, 2018.

KERN, D. Q. **Processos de transmissão de calor**. [s.l.] Guanabara, 1987.

SELBAŞ, R.; KIZILKAN, Ö.; REPPICH, M. A new design approach for shell-and-tube heat exchangers using genetic algorithms from economic point of view. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 45, n. 4, p. 268–275, 2006.