Anais do Congresso Brasileiro de Iniciação Científica
(https://periodicos.unisanta.br/COB)

ISSN 2317-1316

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM UM TROCADOR DE CALOR APLICADO AO CMC

DETERMINATION OF THE OVERALL HEAT TRANSFER COEFFICIENT IN A HEAT EXCHANGER APPLIED TO CMC

Patrícia Simões Mauricio, Matheus Ramalho da Silva, Letícia Jatczak Almeida, Maria Eduarda Almeida dos Santos, Christian Rodrigues dos Santos Silva, Pedro de Jesus Gomes, Vitor da Silva Rosa, Nelize Maria de Almeida Coêlho

Universidade Santa Cecília, Faculdade de Engenharia, Curso de Engenharia Química
E-mail para contato: patriciasimoesmauricio@gmail.com

RESUMO – A transferência de calor é fundamental em diversos processos industriais, especialmente nas operações de aquecimento e resfriamento. Este trabalho tem como objetivo apresentar uma análise experimental do comportamento de uma solução de carboximetilcelulose (CMC) em um trocador de calor, avaliando o processo de transferência de energia térmica durante as operações realizadas. A metodologia consistiu no acompanhamento das temperaturas ao longo dos processos de aquecimento e resfriamento, permitindo a análise do comportamento térmico do sistema e o cálculo do coeficiente de transferência de calor. Os resultados possibilitaram a determinação do coeficiente de transferência de calor e contribuíram para a avaliação experimental do desempenho do sistema estudado.

Palavras-chave: Transferência de calor; Trocador de calor; CMC; Aquecimento; Resfriamento.

ABSTRACT – Heat transfer is fundamental to several industrial processes, especially heating and cooling operations. This study aims to present an experimental analysis of the behavior of a carboxymethylcellulose (CMC) solution in a heat exchanger, evaluating the heat transfer process during the operations performed. The methodology consisted of monitoring temperatures throughout the heating and cooling processes, allowing the analysis of the thermal behavior of the system and the calculation of the heat transfer coefficient. The results enabled the determination of the heat transfer coefficient and contributed to the experimental evaluation of the performance of the system studied.

Keywords: Heat transfer; Heat exchanger; CMC; Heating; Cooling.

ISSN 2317-1316

1 INTRODUÇÃO

A transferência de calor está presente em diversos processos industriais, sendo o aquecimento e o resfriamento etapas importantes para o controle das condições de operação. O resfriamento de líquidos, em particular, é amplamente utilizado em diferentes setores industriais, principalmente em processos que envolvem soluções, polímeros, tintas e outros materiais que apresentam diferentes comportamentos durante o escoamento (BATISTA et al., 2020).

Nesse contexto, os trocadores de calor são utilizados para promover a transferência de energia térmica entre fluidos e podem apresentar diferentes configurações de acordo com a aplicação. O desempenho da troca térmica está relacionado às características do equipamento e às propriedades dos fluidos, além das condições de escoamento. Em estudos experimentais, observa-se que alterações na agitação e na turbulência podem modificar a eficiência da transferência de calor, evidenciando a importância de avaliar as condições do sistema durante o processo (BATISTA et al., 2020).

A eficiência desse processo depende de diferentes fatores, entre eles as propriedades do fluido, as condições de escoamento, as temperaturas envolvidas e as características do equipamento. Dessa forma, estudos experimentais são importantes para compreender o comportamento térmico dos sistemas e identificar como essas variáveis interferem na transferência de calor.

Neste trabalho, é investigado o comportamento de uma solução de carboximetilcelulose (CMC) durante processos de aquecimento e resfriamento em um trocador de calor. A partir do acompanhamento das temperaturas ao longo do experimento, busca-se analisar a transferência de calor no sistema e avaliar o comportamento da solução durante as diferentes condições de operação. O estudo contribui para a compreensão experimental da relação entre as propriedades do fluido e o processo de transferência de calor, possibilitando uma análise mais adequada do desempenho do equipamento.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados utilizando uma solução aquosa de carboximetilcelulose (CMC) como fluido de trabalho. Em todos os ensaios, foi utilizada uma massa constante de 50.000 g de água, enquanto a concentração de CMC foi definida de acordo

ISSN 2317-1316

com o ângulo do impulsor empregado. As concentrações foram determinadas em porcentagem em massa, conforme a relação:

$$\%\,(m/m) = \frac{\mathrm{mCMC}}{(\mathrm{mCMC} + \mathrm{mH_2O})} \times 100$$

Em que mCMC corresponde à massa de carboximetilcelulose e mH₂O corresponde à massa de água utilizada.

Para o impulsor de 30°, foi utilizada uma concentração de 0,75% de CMC, correspondente a aproximadamente 378 g do polímero. Para o impulsor de 45°, foi utilizada uma concentração de 1,0%, correspondente a aproximadamente 505,05 g de CMC. Já para o impulsor de 60°, foi utilizada uma concentração de 1,5%, correspondente a aproximadamente 761,42 g de CMC.

Os ensaios foram realizados nas etapas de aquecimento e resfriamento da solução presente no tanque do trocador de calor. A configuração do equipamento utilizado nos experimentos é apresentada na Figura 1.

Figura 1: Equipamento utilizado nos ensaios de transferência de calor.



ISSN 2317-1316

Inicialmente, foi utilizado o impulsor com ângulo de 30°. Para a etapa de aquecimento, o impulsor era ajustado para a condição de ensaio e o sistema era aquecido por meio de um banho térmico e de uma resistência. O banho era mantido a aproximadamente 62 °C. Quando a solução atingia 30 °C, iniciava-se o registro das temperaturas indicadas pelos cinco sensores, identificados como S1, S2, S3, S4 e S5, instalados no tanque. As temperaturas eram registradas em intervalos de um minuto, até que a solução atingisse 45 °C.

Após o aquecimento, iniciava-se a etapa de resfriamento. Primeiramente, o banho térmico era resfriado por meio de sifonamento. Em seguida, utilizava-se água previamente resfriada com gelo como fluido de resfriamento. Essa água circulava pela tubulação até a serpentina, promovendo a transferência de calor com a solução presente no tanque. Durante essa etapa, as temperaturas registradas pelos sensores S1, S2, S3, S4 e S5 também eram coletadas a cada minuto, permitindo acompanhar a variação da temperatura da solução ao longo do processo.

O procedimento foi repetido para as rotações de 100, 150, 200, 250 e 300 rpm. Posteriormente, os ensaios foram realizados utilizando os impulsores com ângulos de 45° e 60°, mantendo-se a mesma massa de água e alterando-se a concentração de CMC para 1,0% e 1,5%, respectivamente. Dessa forma, foram avaliadas diferentes combinações entre a rotação do impulsor, o ângulo do impulsor e a concentração de CMC.

Os dados de temperatura obtidos durante as etapas de aquecimento e resfriamento foram utilizados para analisar o comportamento térmico da solução e determinar o coeficiente de transferência de calor do sistema.

Os dados de temperatura obtidos durante os ensaios foram utilizados para o tratamento dos resultados. Para cada instante de medição, determinou-se a temperatura média Sb, calculada a partir da média aritmética das temperaturas S3, S4 e S5, conforme:

$$\mathrm{Sb} = \frac{(\mathrm{S3} + \mathrm{S4} + \mathrm{S5})}{3}$$

A partir dos dados obtidos, foi determinado o coeficiente global de transferência de calor (U) do sistema. Para isso, foi utilizada a equação discretizada. O cálculo foi realizado conforme a expressão:

$$\mathrm{U} = \mathrm{M} \times \mathrm{Cp}' \times \left(\frac{\mathrm{Sb}'' - \mathrm{Sb}'}{\theta'' - \theta'}\right) \times \left(\frac{1}{\mathrm{A} \times (\mathrm{S1}'' - \mathrm{S2}'')}\right) \times \ln\left(\frac{\mathrm{S1}'' - \mathrm{Sb}''}{\mathrm{S2}'' - \mathrm{Sb}''}\right)$$

ISSN 2317-1316

Em que U representa o coeficiente global de transferência de calor, M a massa do fluido, Cp' o calor específico do fluido, A a área de troca térmica da serpentina, S1 e S2 as temperaturas registradas pelos respectivos sensores, Sb a temperatura média entre S3, S4 e S5 e θ o tempo. Os índices ′ e ″ representam, respectivamente, os valores inicial e final do intervalo de tempo analisado.

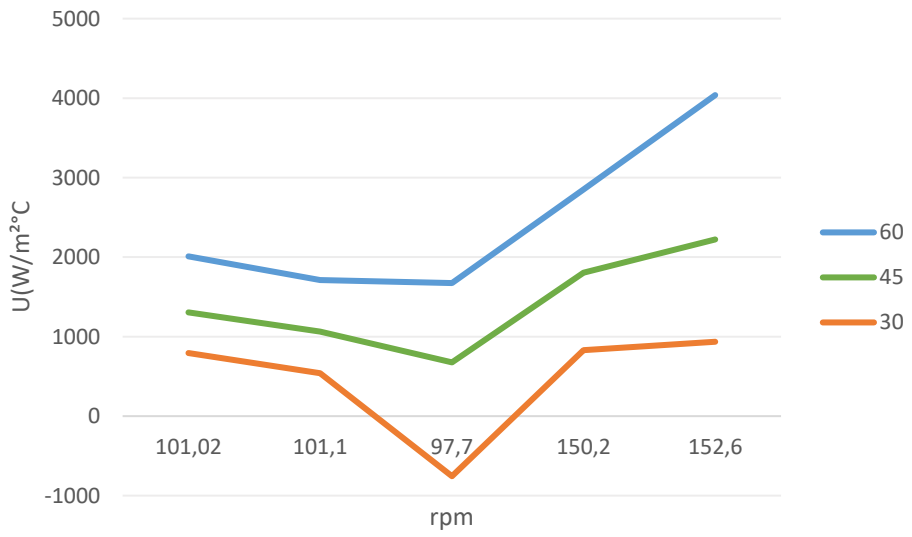
O procedimento foi aplicado aos dados obtidos nos diferentes ensaios, permitindo determinar e comparar os valores do coeficiente global de transferência de calor para as diferentes rotações e ângulos dos impulsores.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados experimentais foram analisados com base nos valores médios do coeficiente global de transferência de calor (U), obtidos para diferentes rotações e ângulos dos impulsores durante as etapas de aquecimento e resfriamento da solução aquosa de carboximetilcelulose (CMC). A comparação desses resultados permite avaliar a influência das condições de agitação sobre o comportamento térmico do sistema.

A Figura 2 apresenta os valores médios do coeficiente global de transferência de calor (Ū) durante o aquecimento, em função da rotação para os diferentes ângulos dos impulsores.

Figura 2:Coeficiente global de transferência de calor durante o aquecimento em função da rotação.

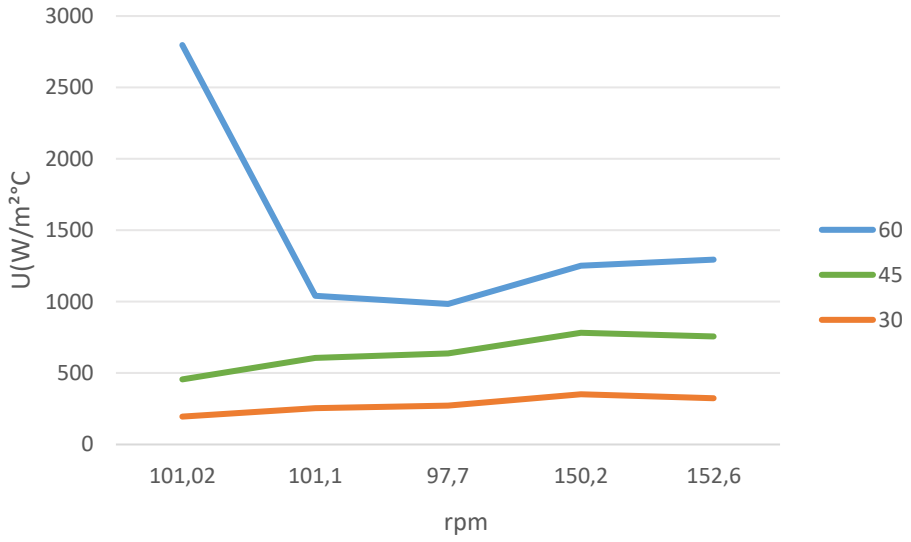


ISSN 2317-1316

Como observado na Figura 2, os valores de (Ū) variaram entre as condições experimentais, sem apresentar uma tendência crescente uniforme para todos os ângulos dos impulsores. Essas diferenças indicam que o comportamento térmico do sistema depende da combinação entre as condições de agitação e as propriedades da solução.

A Figura 3 apresenta os valores médios de (Ū) durante o resfriamento, considerando as diferentes rotações e os ângulos dos impulsores.

Figura 3: Coeficiente global de transferência de calor durante o resfriamento em função da rotação.



Durante o resfriamento, também foram observadas variações nos valores do coeficiente global de transferência de calor entre os ensaios. Esses resultados, em conjunto com os obtidos no aquecimento, permitem avaliar a influência das condições operacionais sobre a transferência de calor na solução de CMC.

Observou-se que o coeficiente global de transferência de calor apresentou variações com o aumento da rotação, tanto no aquecimento quanto no resfriamento. Esse comportamento pode estar relacionado à natureza não newtoniana pseudoplástica da solução de carboximetilcelulose (CMC), cuja viscosidade aparente diminui com o aumento da taxa de cisalhamento. Segundo Rosa et al. (2020), a agitação influencia o escoamento e a viscosidade aparente do fluido, fatores que interferem na transferência de calor. Dessa forma, rotações mais elevadas podem intensificar a circulação da solução e favorecer a troca térmica, embora essa influência também dependa das condições experimentais e das concentrações de CMC utilizadas.

ISSN 2317-1316

4 CONCLUSÃO

O estudo permitiu determinar o coeficiente global de transferência de calor (U) de uma solução aquosa de carboximetilcelulose (CMC) durante os processos de aquecimento e resfriamento, considerando diferentes rotações e ângulos de impulsores. Os resultados demonstraram variações no coeficiente entre as condições experimentais, indicando que a transferência de calor é influenciada pelas condições de agitação e pelas propriedades da solução. Rotações mais elevadas podem favorecer a circulação do fluido e intensificar a troca térmica devido à redução da viscosidade aparente da CMC com o aumento da taxa de cisalhamento. Entretanto, essa tendência deve ser avaliada considerando as variações observadas entre os ensaios e as diferentes concentrações de CMC utilizadas. Agradece-se à Universidade Santa Cecília pela infraestrutura disponibilizada e ao Professor Doutor Vitor da Silva Rosa pelo suporte fornecido durante o desenvolvimento da pesquisa. Como continuidade deste estudo, sugere-se investigar a influência de diferentes concentrações de CMC e condições de agitação sobre o coeficiente global de transferência de calor, buscando compreender melhor o comportamento térmico da solução.

5 DECLARAÇÃO DE USO DE IA

Declaração de Uso de IA: Durante a elaboração deste trabalho, utilizou-se a ferramenta ChatGPT, da OpenAI, para auxiliar na revisão textual, na organização das ideias e auxílio na tradução do texto para a língua inglesa. O conteúdo gerado foi revisado, editado e validado pelos autores, que assumem total responsabilidade pelo texto final.

6 REFERÊNCIAS

BATISTA, Maurici Cunha; ALCÂNTARA, Matheus Martins de Lima; MORAES JUNIOR, Deovaldo de; ROSA, Vitor da Silva. Desempenho do coeficiente global de transferência de calor no resfriamento da água em tanques agitados e equipados com chicanas tubulares verticais. *Anais do Encontro Nacional de Pós-Graduação – IX ENPG*, v. 4, p. 115-119, 2020. 2558-6756-1-PB (1)

ROSA, Vitor da Silva; TORNEIROS, Daniel Lopes Muiños; MARANHÃO, Henrique Weiss de Albuquerque; MORAES, Marlene Silva de; TAQUEDA, Maria Elena Santos; PAIVA, José Luis de; SANTOS, Aldo Ramos; MORAES JÚNIOR, Deovaldo de. Heat transfer and power consumption of Newtonian and non-Newtonian liquids in stirred tanks with vertical tube

ISSN 2317-1316

baffles. *Applied Thermal Engineering*, v. 176, 115355, 2020. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2020.115355. 2020 - Heat transfer and power …