



ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO DO CO₂ SUPERCRÍTICO PARA ENSAIOS EM BANCADA EXPERIMENTAL

Victor Gouveia Ferrares¹, victor.ferrares@usp.br
Mateus Henrique Corrêa¹, mateus.hcorrea@usp.br
Cristiano Bigonha Tibiriçá¹, bigonha@sc.usp.br

¹Heat Transfer Research Group, Laboratório de Engenharia Térmica e Fluidos, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Carlos

RESUMO EXPANDIDO

O dióxido de carbono, CO₂, é considerado uma alternativa promissora como fluido refrigerante em sistemas fluido-térmicos, principalmente por seu menor impacto ambiental em comparação a outros refrigerantes, apresentando ODP igual a 0 e GWP igual a 1. Trata-se ainda de um fluido atóxico, não inflamável e de baixo custo. Quando utilizado em condições supercríticas (sCO₂), apresenta variações abruptas em suas propriedades termofísicas, incluindo um pico no calor específico a pressão constante (C_P) e na condutividade térmica (k), resultando em um aumento localizado do coeficiente de transferência de calor por convecção (CTC) (Cabeza et al., 2017).

Devido à essa difícil previsibilidade do CTC e aos elevados valores que este pode atingir próximo ao ponto pseudocrítico, torna-se necessária a investigação experimental do fenômeno. Nesse contexto, este trabalho visa estimar o CTC esperado para as condições operacionais atingíveis na bancada experimental de convecção interna e forçada com o sCO₂ que será construída. Para tal, foi realizada uma revisão bibliográfica das correlações reportadas na literatura para o cálculo do CTC do sCO₂, seguida da avaliação de seus desempenhos com base em um banco de dados contendo 1049 pontos experimentais, obtidos em diferentes condições e coletados de estudos experimentais encontrados na literatura.

A partir dessa análise, foram selecionadas as correlações de Zhu et al. (2020), Eq. 1, e Preda et al. (2012), Eq. 2, por apresentarem o melhor desempenho frente ao banco de dados. As condições experimentais previstas para a bancada, utilizadas como base para as estimativas, encontram-se na Tab. 1.

$$Nu_m = 0,0012 Re_m^{0,9484} Pr_m^{-0,718} K^{-0,0313}, \text{ onde } K = \left(\frac{q_p}{G i_p} \right)^2 \frac{\rho_m}{\rho_p} \quad (1)$$

$$Nu_p = 0,0015 Re_p^{1,03} Pr_p^{-0,76} \left(\frac{\rho_p}{\rho_m} \right)^{0,46} \left(\frac{\mu_p}{\mu_m} \right)^{0,53} \left(\frac{k_p}{k_m} \right)^{-0,43} \quad (2)$$

Tabela 1. Condições experimentais previstas.

Condição	G [kg/m ² s]	D [mm]	T_f [°C]	q'' [kW/m ²]	P [bar]
Aquecimento	200 - 10000	1,1	25 - 50	100 - 1000	75 - 100

Ambas as correlações indicam comportamento similar, observando-se um pico no CTC nas proximidades do ponto pseudocrítico, cujo valor e posição variam com a pressão de operação. À medida que a pressão aumenta, tanto o pico quanto a temperatura pseudocrítica deslocam-se para temperaturas mais elevadas. Além disso, o incremento do fluxo de calor, principalmente em pressões mais altas, amplia a faixa de temperaturas com valores elevados de CTC. Tais tendências, para a correlação de Zhu et al. (2020), podem ser vistas nos gráficos da Fig. 1.

Conclui-se que o sCO₂ é um fluido refrigerante tecnicamente viável e que a bancada experimental proposta permitirá alcançar CTCs elevados, estimados na ordem de 35 kW/m² pela correlação de Zhu et al. (2020), valor compatível com o máximo observado no banco de dados (34,4 kW/m²). Esses resultados reforçam o potencial do sCO₂ para aplicações em transferência de calor e fornecem base para futuros ensaios experimentais, essenciais à compreensão detalhada do comportamento térmico do CO₂ em condições supercríticas.

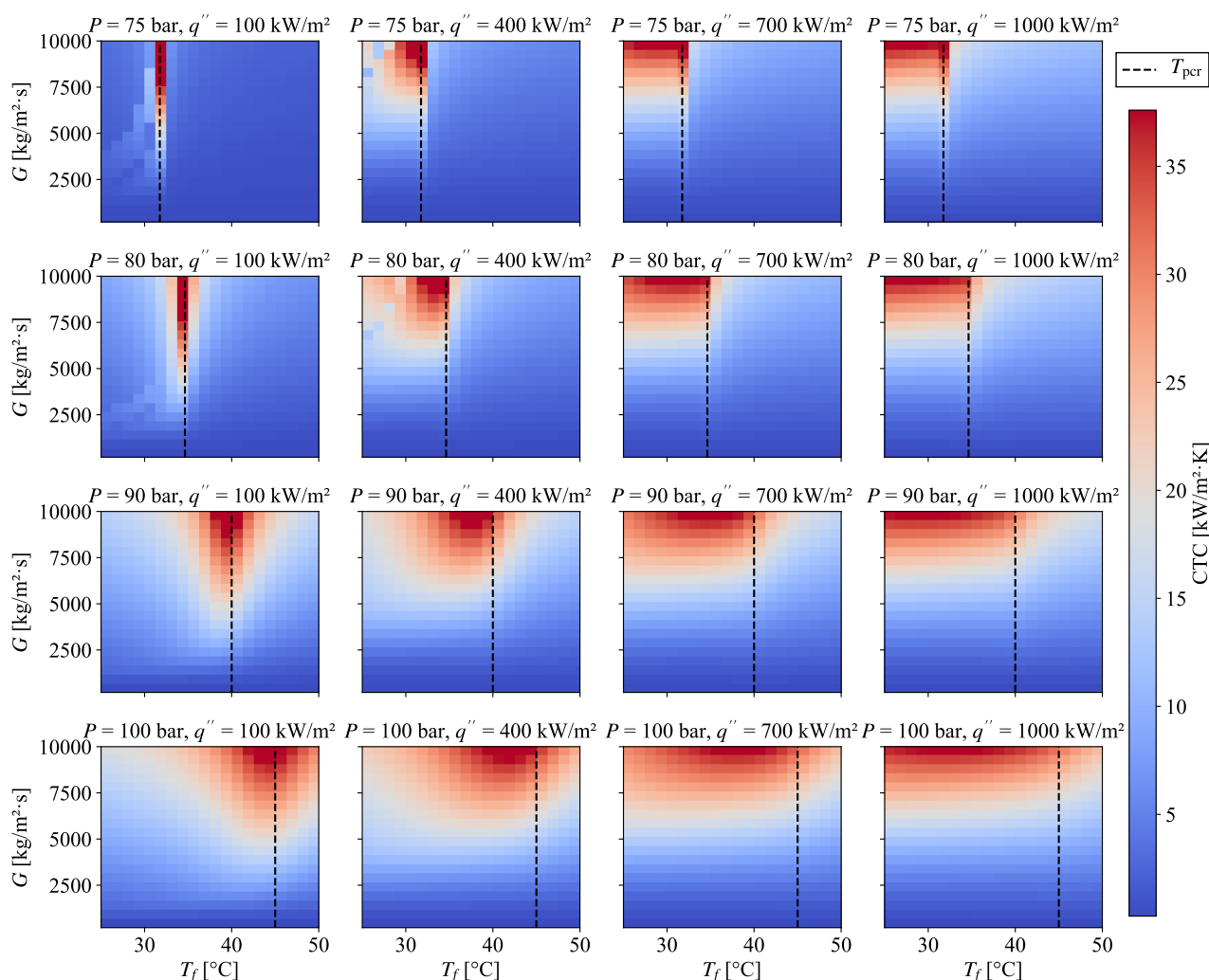


Figura 1. CTC previsto a partir da correlação de Zhu et al. (2020).

REFERÊNCIAS

- Cabeza, L. F., de Gracia, A., Fernández, A. I., and Farid, M. M. (2017). Supercritical co2 as heat transfer fluid: A review. *Applied Thermal Engineering*, 125:799–810.
- Preda, T., Saltanov, E., Pioro, I., and Gabriel, K. S. (2012). Development of a heat transfer correlation for supercritical co2 based on multiple data sets. In *International Conference on Nuclear Engineering*, volume 44991, pages 211–217. American Society of Mechanical Engineers.
- Zhu, B., Xu, J., Yan, C., and Xie, J. (2020). The general supercritical heat transfer correlation for vertical up-flow tubes: K number correlation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 148:119080.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, processo 2022/15765-1) e à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior, código 001) pelo apoio financeiro que contribuiu para esta pesquisa.

RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.