



HAL
open science

USO DE UM FATOR DE AUMENTO EM MODELO 2D PARA REPRESENTAR A INTENSIFICAÇÃO DA TROCA TÉRMICA EM TUBOS HELICOIDAIS

N. H. M. Fortes, J. A. W. Gut, Artemio Plana-Fattori

► **To cite this version:**

N. H. M. Fortes, J. A. W. Gut, Artemio Plana-Fattori. USO DE UM FATOR DE AUMENTO EM MODELO 2D PARA REPRESENTAR A INTENSIFICAÇÃO DA TROCA TÉRMICA EM TUBOS HELICOIDAIS. 24th Brazilian Conference on Chemical Engineering, Oct 2023, Salvador (Bahia), Brazil. , 2023. hal-04265581

HAL Id: hal-04265581

<https://hal.science/hal-04265581v1>

Submitted on 2 Nov 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Uso de um fator de aumento para representar a intensificação da troca térmica em tubos helicoidais



Niló H. M. Fortes¹, Jorge A. W. Gut^{1,2} e Artemio Plana-Fattori³
¹Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Química
²Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Food Research Center (FoRC)
³Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, UMR SayFood
 E-mail para contato: jorgewgut@usp.br



INTRODUÇÃO

- Tubos helicoidais são muito utilizados operações de troca térmica devido a sua compacidade e alta taxa de mistura no regime laminar (Kushwaha *et al.* 2020).
- O escoamento secundário induzido pela curvatura do tubo (forças centrífugas) promovem circulação fluido na seção transversal do tubo (Dean, 1928).
- Objetivo:** estudar a circulação secundária de um tubo helicoidal por meio de um modelo 3D e a intensificação da troca térmica a partir de um modelo 2D semi-empírico

METODOLOGIA

Modelo 3D: baseado em um tubo helicoidal com 3 voltas.

- Fluido: solução de 1% em massa de carboximetilcelulose (CMC), fluido pseudoplástico
- Hipóteses: 1) estado estacionário; 2) escoamento laminar, incompressível e desenvolvido; 3) temperatura de parede constante; 4) ausência de geração de calor; 5) ação da força gravitacional sobre o escoamento; 6) ausência de retromistura; e 7) tensor fluxo viscoso $\tau = -\mu[\nabla\vec{v} + (\nabla\vec{v})^t] + \frac{2}{3}\mu\nabla\vec{v}$.

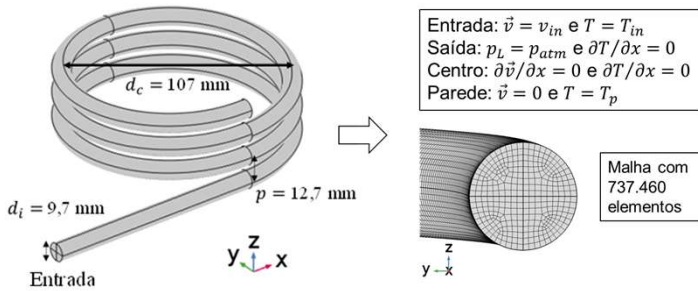


Figura 1 – Representação da geometria do modelo 3D
 Fonte: O autor (2023)

$$\rho \frac{D\vec{v}}{Dt} = -\nabla p - \nabla \tau + \rho g$$

Navier-Stokes

$$\vec{v}\nabla(\rho C_p T) = \nabla(k\nabla T)$$

Balço de energia

- Simulações: método de elementos finitos com $T_p = 10^\circ\text{C}$, $T_{in} = 60^\circ\text{C}$ e $Q = 1,5\text{ L/min}$.

Modelo 2D: baseado em um tubo reto de comprimento equivalente ao tubo do modelo 3D.

- Hipóteses: 1) estado estacionário; 2) escoamento laminar, incompressível e desenvolvido; 3) temperatura de parede constante; 4) ausência de geração de calor; 5) difusão térmica desprezível na direção axial; 6) escoamento apenas na direção axial (v_z); 7) problema axissimétrico com $T = T(z, r)$ e $\vec{v} = v_z(r)$; e 8) propriedades termofísicas constantes.

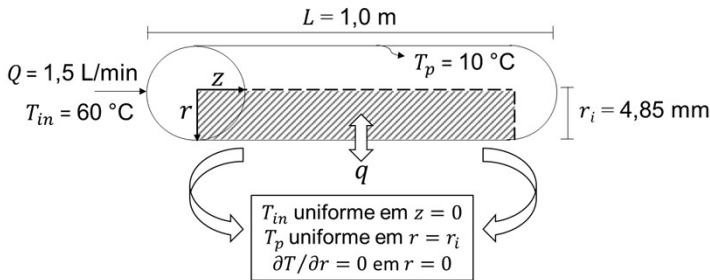


Figura 2 – Representação da geometria do modelo 2D
 Fonte: O autor (2023)

$$v_z \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha_{eff} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right)$$

Balço de energia

$$v_z(r) = v_{max} \left(1 - \frac{r}{r_i} \right)^y$$

Perfil de velocidade y-laminar
 (Pegoraro, Marangoni e Gut, 2012)

Simulações: método de elementos finitos, especificando T_{out} calculada pelo modelo 3D.

Fator de aumento: definido como $F = \alpha_{eff}/\alpha$, sendo α_{eff} a difusividade térmica efetiva (resultado da simulação).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Modelo 3D: perfis de temperatura e de velocidade ao longo das voltas do tubo. Tempo de simulação de 88 h com consumo de 250 GB de memória RAM

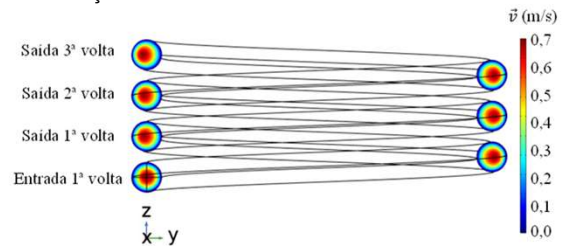


Figura 3 – Evolução do perfil de velocidade axial (x) ao longo das voltas do tubo
 Fonte: O autor (2023)

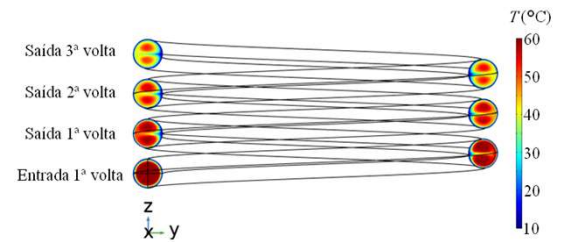
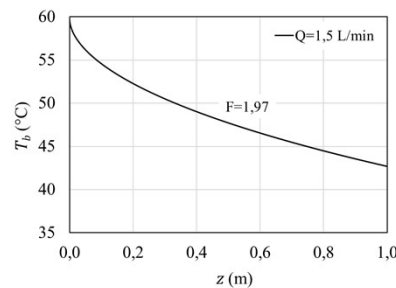


Figura 4 – Evolução do perfil de temperatura ao longo das voltas do tubo
 Fonte: O autor (2023)

Modelo 2D: temperatura média de mistura ao longo do comprimento do tubo. Tempo de simulação de 1 min com um consumo de 1 GB de memória RAM.



$$\alpha_{eff} = 0,85 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$$

$$F = 1,97$$

$F > 1$ intensificação da transferência de calor

CONCLUSÃO

- O valor de $F = 1,97$ indica que a difusividade térmica efetiva foi quase 2 vezes maior do que a difusividade térmica de um tubo reto.
- Foi identificada a influência do escoamento secundário sobre os perfis de velocidade e de temperatura com o modelo 3D.
- A simulação do modelo 2D requer um menor esforço computacional comparado ao 3D. O modelo 2D foi capaz de representar o aumento da troca térmica de tubos helicoidais

REFERÊNCIAS

DEAN, W. R. LXXII. The stream-line motion of fluid in a curved pipe (Second paper). *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, v. 5, n. 30, p. 673–695, abr. 1928.
 KUSHWAHA, N. et al. Heat Transfer and Fluid Flow Characteristics for Newtonian and Non-Newtonian Fluids in a Tube-in-Tube Helical Coil Heat Exchanger. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, v. 59, n. 9, p. 3972–3984, 2020.
 PEGORARO, P. R.; MARANGONI, M.; GUT, J. A. W. Residence time distribution models derived from non-ideal laminar velocity profiles in tubes. *Chemical Engineering Technology*, v. 35, n. 9, p. 1593–1603, 2012.

AGRADECIMENTOS

