SIMULAÇÃO NUMÉRICA DO PADRÃO DE ESCOAMENTO CHURN UTILIZANDO MODELO LES EM OPENFOAM COM PLENO DE ENTRADA

Guilherme Philip Rodrigues Costa, Marcus Vinícius Canhoto Alves

INTRODUÇÃO

Os escoamentos multifásicos são amplamente utilizados em indústrias como a química, petrolífera e nuclear. Em reatores nucleares do tipo PWR, a perda de refrigerante (LOCA) pode causar o fenômeno de *dryout*, no qual a película líquida junto à parede do tubo desaparece, elevando rapidamente sua temperatura e comprometendo a segurança do sistema. O estudo investiga os regimes de escoamento anular e churn, além da transição entre eles, por meio de simulações tridimensionais e transientes. Enquanto o escoamento anular apresenta uma película líquida estável e um núcleo gasoso de alta velocidade, o regime churn é caracterizado por grande instabilidade, fortes oscilações e reversão local do escoamento, sendo menos compreendido devido à sua natureza transitória (Hewitt and Hall-Taylor, 1970 e Govan et al., 1991).

Este trabalho investiga os padrões de escoamento anular e churn e a transição entre eles por meio de simulações tridimensionais transientes, visando ampliar a compreensão desses regimes em escoamentos bifásicos.

DESENVOLVIMENTO

O software OpenFOAM emprega uma formulação de domínio completo para a solução das equações de movimento, resolvendo separadamente um conjunto de equações governantes para cada fase presente no escoamento. Devido à natureza turbulenta desse tipo de escoamento, é necessário utilizar um modelo de turbulência. Considerando o caráter transiente do fenômeno e os elevados custos computacionais das simulações de Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD), foi selecionado o modelo LES (*Large Eddy Simulation* – Simulação de Grandes Escalas) disponível na biblioteca OpenFOAM. Esse modelo combina diferentes abordagens de modelagem da turbulência para representar adequadamente os fenômenos transientes do escoamento. A Figura 1 apresenta a geometria do problema, juntamente com as três condições de contorno definidas no software. Essa geometria foi concebida para reproduzir a configuração experimental utilizada por Govan et al. (1991), na qual o ar era introduzido em uma câmara de distribuição (plenum) conectada a um tubo vertical. Após um trecho de estabilização do escoamento, a parede do tubo possuía uma seção porosa que permitia a injeção de água através da própria parede. Nas simulações realizadas, as vazões mássicas de entrada de ar e água foram fixadas em 15,6 g/s e 24,3 g/s, respectivamente. A pressão de saída foi mantida constante em 132,5 kPa, de modo a reproduzir as condições experimentais apresentadas por Govan et al. (1991).

RESULTADOS

A Figura 2(a) apresenta a influência do diâmetro máximo das gotículas sobre os dois parâmetros globais de interesse: o gradiente de pressão e a fração volumétrica de líquido. À medida que o diâmetro máximo aumenta, consegue-se uma representação mais realista da interação por atrito entre as fases. Comparando os resultados obtidos para um diâmetro máximo de 8 mm com os dados experimentais de Govan et al. (1991), foram observados desvios de 15,3% para a fração volumétrica de líquido e de 26,5% para o gradiente de pressão. Esses valores encontram-se na mesma faixa reportada em outros trabalhos da literatura, embora utilizando malhas computacionais com apenas uma fração da densidade de pontos empregada nesses estudos. A Figura 2(b) demonstra que o diâmetro mínimo exerce pouca ou nenhuma influência sobre os parâmetros globais analisados, isto

é, o gradiente de pressão e a fração volumétrica de gás. Dessa forma, sua variação não afeta significativamente os resultados globais do escoamento investigado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A principal conclusão deste trabalho é que a utilização da câmara de distribuição (plenum) e o ajuste do diâmetro máximo constituem ferramentas importantes para a simulação de escoamentos do tipo churn em tubos verticais. Esses recursos contribuem para uma representação mais adequada das características hidrodinâmicas desse regime de escoamento. Outra observação relevante refere-se ao custo computacional das simulações. Para cada 5 segundos de escoamento simulado, o tempo de processamento foi de aproximadamente duas semanas em uma estação de trabalho equipada com um processador Intel de 8 núcleos. Em comparação, os resultados obtidos por Savagnago e Alves (2021) demandariam entre dois e três meses de processamento para condições semelhantes, evidenciando uma redução significativa no custo computacional do método empregado.

Palavras-chave: revestimento por fenda; escoamento bifásico; método de fração de volume; reologia não newtoniana; OpenFOAM.

ANEXOS



Figura 1. *Geometria e condições de contorno.*

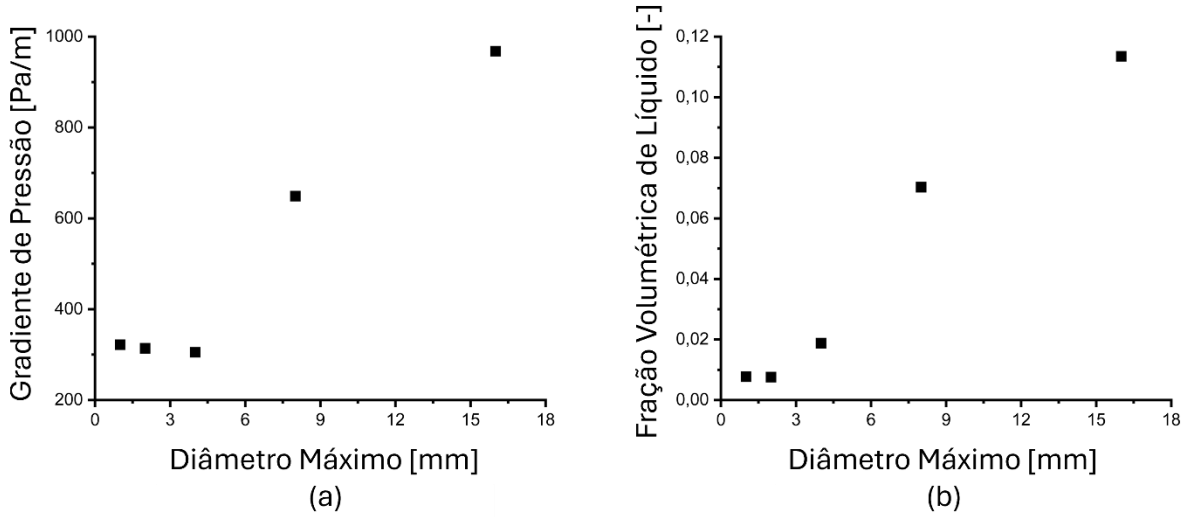


Figura 2. *Influência do diâmetro máximo em: (a) gradiente de pressão; (b) fração volumétrica de líquido.*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HEWITT, G. F.; HALL-TAYLOR, N. S. Annular Two-Phase Flow. Oxford: Pergamon Press, 1970.

GOVAN, A. H.; HEWITT, G. F.; RICHTER, H. J.; SHARPE, D. J. M. Flooding, churn and annular flow in vertical pipes. International Journal of Multiphase Flow, v. 17, n. 1, p. 27-44, 1991.

SAVAGNAGO, V.; ALVES, M. V. C. Numerical simulation of churn and annular transient flows. In: ROCHA, L. A. O.; ISOLDI, L. A.; DOS SANTOS, E. D.; XIE, G. (org.). Trends in Computational and Applied Mathematics. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 343-354. (Smart Innovation, Systems and Technologies, v. 267).