

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DO ESCOAMENTO EM MODELO FÍSICO DA ESTAÇÃO DE REFINO SECUNDÁRIO RH¹

Bayard Beling Morales²
Leonardo Trindade Barboza³
Antônio Cezar Faria Vilela⁴

Resumo

Através das técnicas de fluidodinâmica computacional, é realizada a simulação numérica do escoamento em um modelo físico da estação de refino secundário tipo RH. É construído um modelo tridimensional do equipamento, compreendendo panela, pernas e vaso. A metodologia Euler-Lagrange é empregada na solução do escoamento, levando em conta a presença das fases líquida e gasosa. A movimentação do líquido é impelida através da força de arrasto com a fase gasosa. São realizadas comparações entre os resultados obtidos e os dados presentes em literatura recente. Observa-se que o modelo numérico é capaz de determinar razoavelmente a distribuição de gás na perna de subida, embora não obtenha sucesso na reprodução da taxa de circulação.

Palavras-chave: Aço; Refino secundário; RH.

NUMERICAL SIMULATION OF FLOW IN PHYSICAL MODEL OF SECONDARY REFINING STATION RH

Abstract

Making use of computational fluid dynamics tools, the numerical simulation of flow within a physical model of secondary refining station RH is performed. A three-dimensional model of the equipment is built, considering ladle, snorkels and vacuum chamber. Euler-Lagrange methodology is employed in flow calculation, taking into account the presence of liquid and gaseous phases. Comparison between numerical results and published experimental data is evaluated. It can be observed that the numerical simulation can determine the gas holdup in the up snorkel reasonably. Nevertheless, it is not able to reproduce the circulation rates measured in the physical model.

Key words: Steel; Secondary refining; RH.

¹ Contribuição técnica ao XXXIX Seminário de Aciaria – Internacional, 12 a 16 de maio de 2008, Curitiba, PR, Brasil

² Físico, mestrando em Engenharia Metalúrgica PPGEM/UFRGS

³ Físico, Dr. Eng. Metalúrgica – Diretor Geral – Science, Technology & Engineering – STE

⁴ Eng. Metalúrgico, Dr.-Ing., Professor do DEMET/PPGEM/UFRGS, Coordenador do LASID

INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por aços com baixos teores de carbono, hidrogênio e nitrogênio têm pressionado o setor siderúrgico à otimização dos processos de desgaseificação a vácuo. O escoamento na estação de refino RH tem sido objeto de diversos estudos, tanto por modelagem física^(1,2) como por modelagem numérica.⁽³⁻⁶⁾ Um dos focos principais destes estudos é a determinação da taxa de circulação (Q) em função de parâmetros operacionais (como vazão de gás inerte, pressão no vaso, etc.). Isso se deve à importância desta taxa na eficiência do processo.

Até meados da década de 1990, a simulação numérica do RH seguiu a metodologia utilizada por Tsujino et al.,⁽³⁾ que resolvia o escoamento somente na panela, desprezando as pernas e o vaso. Nessa abordagem é impossível prever Q, visto que a taxa de circulação é determinada pela interação entre gás e aço que ocorre na perna de subida. Park et al.,⁽⁴⁾ propuseram um modelo mais fundamental, na qual toda a geometria é considerada (panela, pernas e vaso). Apesar disso, a distribuição de gás na perna de subida necessitava ser especificada previamente – o que representa uma simplificação que pode alterar os resultados de Q, em vista de sua dependência em relação à área de contato entre gás e líquido.

Atualmente, os estudos numéricos sobre o RH caminham na direção de modelos que considerem a geometria completa, com a presença de duas fases (gás e aço) interagindo conforme as equações da mecânica dos fluidos. Exemplos recentes podem ser vistos nos trabalhos de Wei e Hu⁽⁵⁾ e Kishan e Dash⁽⁶⁾ Nesses artigos, foi utilizada uma formulação matemática que descreve o comportamento de cada fase através das equações da continuidade e de Navier-Stokes (formulação Euler-Euler). No presente trabalho, foi simulado numericamente o escoamento em um modelo físico do RH, cujos resultados foram publicados recentemente.⁽²⁾ Analisou-se a influência da vazão de gás na taxa de circulação, assim como na distribuição de gás na perna de subida. Busca-se, desta forma, validar a metodologia numérica para posteriormente emprega-la na simulação de uma estação em escala plena.

METODOLOGIA

O modelo numérico foi construído de acordo com a geometria do modelo físico apresentado por Nascimento, Pujatti e Tavares.⁽²⁾ O escoamento foi resolvido somente para metade do equipamento, tendo em vista a sua simetria (Figura 1a). Ressalta-se, nesta figura, que a superfície livre do líquido, exposta à atmosfera rarefeita do vaso, foi considerada plana – assim não são simuladas as projeções de líquido no vaso. Os fluidos simulados foram água e ar, conforme o experimento.

A discretização da geometria foi realizada utilizando aproximadamente 160 mil nós. A distribuição de nós foi realizada de modo a priorizar a área de maior interação gás-líquido, a perna de subida, como pode ser observado na Figura 1b.

A formulação matemática utilizada nesta simulação difere essencialmente das presentes nos trabalhos anteriores.⁽³⁻⁶⁾ Propõe-se a solução do escoamento através da metodologia de Euler-Lagrange. Essa metodologia considera que a fase dispersa seja composta por um número contável de “partículas” de fluido (bolhas, gotas, etc). Dessa forma, o aumento da vazão de gás eleva o número de partículas que entram no domínio da simulação. Leva-se em conta o efeito do movimento das partículas na fase líquida e desta nas partículas (acoplamento de “mão-dupla”).

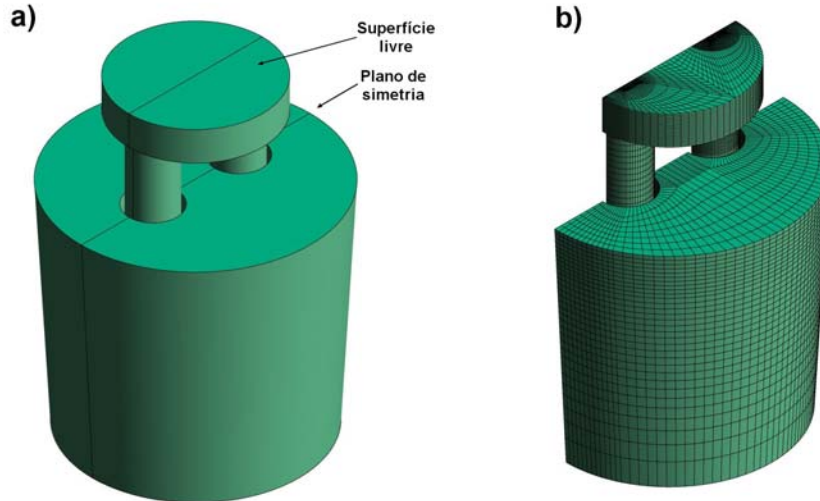


Figura 1 - a) geometria completa do modelo físico simulado; b) malha computacional utilizada.

A conservação de massa e momento da fase contínua (água) é calculada por meio das equações de Navier-Stokes e da equação da continuidade (equações 1 e 2, respectivamente). Adotou-se o modelo de turbulência k-ε.

$$\frac{\partial(\rho_l u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_l u_i u_j)}{\partial x_j} = -\nabla p + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu_l \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + f_i \quad \text{eq.1}$$

$$\frac{\partial \rho_l}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_l u_i)}{\partial x_i} = S_l \quad \text{eq.2}$$

O balanço de momento para a fase dispersa (ar) é tratado através da lei de Newton para partículas (equação 3), de forma que a injeção de gás no equipamento é feita, na simulação, utilizando “partículas” de gás, representando as bolhas. O escoamento foi considerado isotérmico. Essa metodologia, já foi utilizada anteriormente por diversos autores em estudos sobre o escoamento em painéis siderúrgicas.^(7,8)

$$m_p \frac{dU_p}{dt} = F_D + F_{VM} \quad \text{eq.3}$$

A transferência de momento entre as fases foi efetuada pelo arrasto e pela força de massa virtual. O modelo de arrasto empregado foi o estabelecido por Ishii e Zuber.⁽⁹⁾ Os coeficientes de força de massa virtual foram variados entre 0.01 e 0.10. O efeito da turbulência sobre a trajetória das partículas é levado em conta através de um termo de perturbação somado à velocidade das partículas, proporcional à energia cinética de turbulência. O diâmetro das partículas foi considerado obedecendo a uma distribuição normal centrada em 5 mm.

Foram simuladas algumas vazões representativas para análise do escoamento: 50 l/min, 150 l/min, 250 l/min, 300 l/min, 400 l/min e 500 l/min. Os parâmetros de injeção foram considerados para um bico de 1 mm de diâmetro. A implementação e solução do problema foi realizada através do software Ansys CFX 11.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 estão ilustrados os campos de velocidade simulados para diversas vazões de gás. Os padrões de escoamento na panela reproduzem, de forma qualitativa, as estruturas de vórtices encontradas na literatura.⁽³⁻⁶⁾

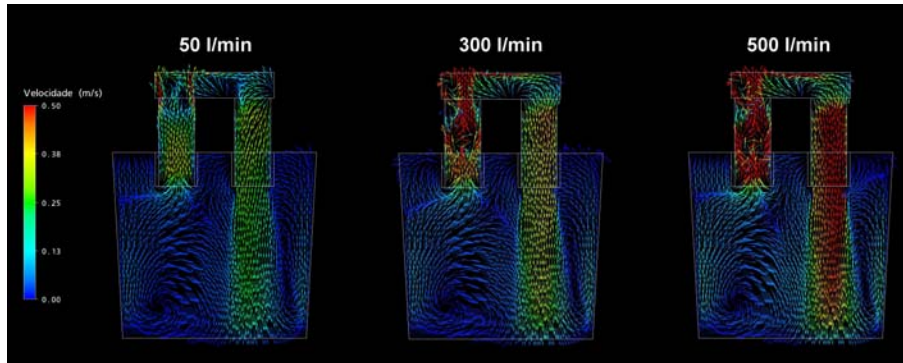


Figura 2 - Velocidade sobre o plano de simetria.

Na Figura 3, são observadas as trajetórias das partículas (bolhas) injetadas na perna de subida e comparadas com a distribuição de gás fotografada no experimento. Observa-se boa concordância na penetração de gás. Ressalta-se que o gás, com o aumento da vazão, acaba se concentrando no centro da perna de subida.

Vazão de gás	Numérico	Experimento ^[2]
50 l/min		
300 l/min		
500 l/min		

Figura 3 – Comparação entre a distribuição de gás na perna de subida simulada numericamente e obtida experimentalmente. Adaptado de Nascimento, Pujatti e Tavares.⁽²⁾

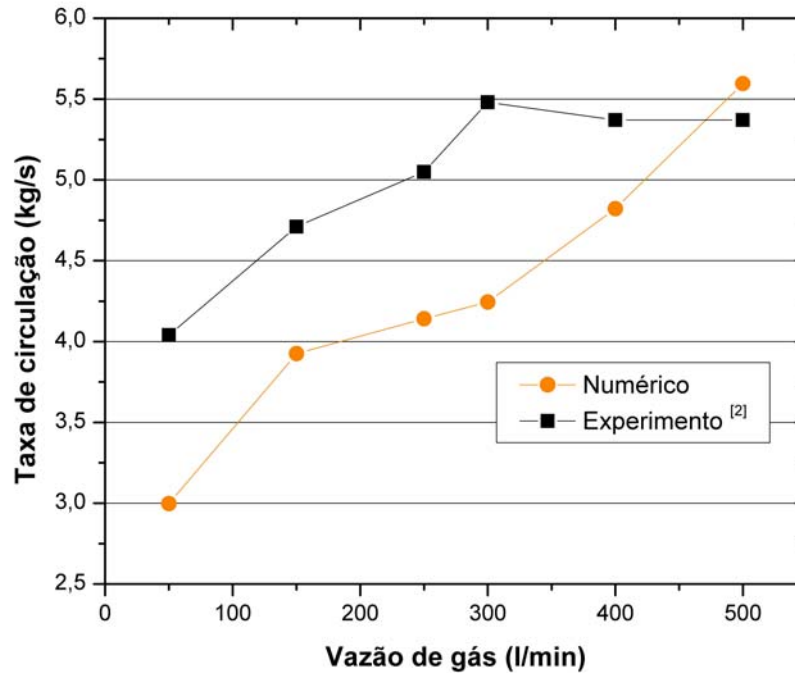


Figura 4 – Taxa de circulação obtida pela simulação e do experimento. Adaptado de Nascimento, Pujatti e Tavares.⁽²⁾

Não obstante a análise qualitativa anterior, é possível ver, através do gráfico contido na Figura 4, que as taxas de circulação calculadas apresentam grande desvio em relação aos dados experimentais. Não é possível identificar a vazão de gás que satura Q – vazão a partir da qual a taxa de circulação não aumenta com o acréscimo da vazão de gás.

É possível atribuir a divergência entre simulação numérica e experimento a diversos fatores:

1. O coeficiente de arrasto utilizado no presente trabalho foi calculado conforme o modelo desenvolvido por Ishii e Zuber.⁽⁹⁾ Na literatura, os autores que obtiveram melhores resultados na taxa de circulação do RH⁽⁵⁾ adotaram um modelo alternativo.
2. A simulação numérica considera que o tamanho de bolha médio é o mesmo em todas as vazões. Conforme Iguchi et al.,⁽¹⁰⁾ é possível que com o aumento da vazão de gás inerte, a quebra de bolhas grandes em bolhas menores torne-se mais freqüente. Dessa forma, seria necessário alterar o diâmetro de bolha (e seu número, conseqüentemente) em função da vazão de gás.
3. O modelo de turbulência adotado ($k-\epsilon$) pode ser inadequado para este tipo de escoamento. Outros modelos, como os modelos de fechamento de segunda ordem, podem resultar em aperfeiçoamento da simulação.

CONCLUSÃO

Foi simulado numericamente o escoamento em um modelo físico de RH através da metodologia de Euler-Lagrange. Os campos de velocidades na panela e a distribuição de gás na perna de subida são similares aos reportados na literatura. A taxa de circulação obtida apresenta divergência em relação ao experimento. Entretanto, acredita-se que a implementação de aperfeiçoamentos propostos na discussão pode levar a resultados mais próximos aos obtidos na modelagem física.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Prof. Roberto Parreira Tavares e ao mestre Leonardo Neves, do LaSip (UFMG) pela colaboração com a modelagem física do RH. Agradecem também ao Centro de Supercomputação Nacional (UFRGS) pela disponibilização de recursos computacionais. Este trabalho teve contou com apoio de bolsas da CAPES.

REFERÊNCIAS

- 1 SESHADRI, V.; COSTA, S.L.S. Cold model studies of R.H. degassing process. **Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan**, v. 26, n. 2, p.133-8, 1986.
- 2 NASCIMENTO, A.A.; PUJATTI, H.L.V.; TAVARES, R.P. Simulação física do escoamento de fluidos e da descarburagem em desgaseificadores RH. In: SEMINÁRIO DE ACIARIA – INTERNACIONAL, 38., 2007, Belo Horizonte. **Anais...** São Paulo: ABM, 2007. 1 Cd-Rom. p.830-40.
- 3 TSUJINO, R.; NAKASHIMA, J.; HIRAI, M.; SAWADA, I. Numerical analysis of molten steel flow in ladle of RH process. **ISIJ International**, v. 29, n. 7, p. 589-95, 1989.
- 4 PARK, Y.-G.; DOO, W.-C.; YI, K.-W.; AN, S.-B. Numerical calculation of circulation flow rate in the degassing Rheinstahl-Heraeus process. **ISIJ International**, v. 40, n. 8, p. 749-55, 2000.
- 5 WEI, J.-H.; HU, H.-T. Mathematical modeling of molten steel flow in a whole degasser during RH refining process. **Ironmaking and Steelmaking**, v. 32, n. 5, p. 427-34, 2005.
- 6 KISHAN, A.; DASH, S.K. Numerical and experimental study of circulation flow rate in a closed circuit due to gas jet impingement. **International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow**, v. 16, n. 8, p.890-909, 2006.
- 7 MAZUMDAR, D.; GUTHRIE, R. I.L. An assessment of a two phase calculation procedure for hydrodynamics modeling of submerged gas injection in ladles. **ISIJ International**, v. 34, n. 5, p. 384-92, 1994.
- 8 DOMGIN, J.F.; GARDIN, P.; BRUNET, M. Experimental and numerical investigation of gas stirred ladles. In: CONFERENCE ON CFD IN THE MINERALS AND PROCESS INDUSTRIES, 2., 1999. p.181-6.
- 9 ISHII, M.; ZUBER, N. Drag coefficient and relative velocity in bubbly, droplet or particulate flows". **AIChE Journal**, v. 25, n. 5, p. 843-55, 1979.
- 10 IGUCHI, M.; NOZAWA, K.; TOMIDA, H.; MORITA, Z. Bubble characteristics in the buoyancy region of a vertical bubbling jet. **ISIJ International**, vol. 32, n. 6, p. 747-54, 1992.