

HIDRODINÂMICA DE SISTEMAS DE AERAÇÃO A JATO

Daniel D. Lima¹ y Iran E. Lima Neto²

¹Doutorando, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – DEHA, Universidade Federal do Ceará – UFC, Brasil.

²Prof. Associado, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – DEHA, Universidade Federal do Ceará – UFC, Brasil.
E-mail: daniel8lima@gmail.com, iran@deha.ufc.br

Introdução

Sistemas de aeração artificial são largamente empregados nas áreas de engenharia hidráulica e ambiental (Seol et al., 2007; Lima Neto, 2012a,b; Lima Neto, 2015, Lima Neto et al., 2016; Pacheco e Lima Neto, 2017). Dentre os diversos tipos desses sistemas, destaca-se a aeração a jato, que apresenta vantagens do ponto de vista energético e operacional (Lima e Lima Neto, 2018).

Neste contexto, o presente estudo investiga experimentalmente o impacto de diferentes bocais de entrada sobre a hidrodinâmica de sistemas de aeração a jato. Além disso, adapta-se o modelo matemático de Lima Neto (2012b) para incorporar o efeito de bocais com múltiplos orifícios.

Materiais e métodos

Os experimentos foram realizados no Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – DEHA da Universidade Federal do Ceará – UFC. Utilizou-se um tanque de seção quadrada, confeccionado em acrílico, de 50 cm de base e com altura de 100 cm, conforme esquematizado na Figura 1. O tanque foi preenchido com água até a altura de 80 cm e, utilizando uma bomba centrífuga com potência de 2,0 CV e um injetor Venturi (ver Lima Neto e Porto, 2004), produziu-se um jato bifásico do tipo gás-líquido. As vazões volumétricas de água (10-30 l/min) e ar (1-10 l/min) foram ajustadas através de uma válvula do tipo globo e medidas com o auxílio de rotâmetros instalados na tubulação de recalque que, assim como a tubulação de sucção, apresentou diâmetro de 25,4 mm.

Os bocais utilizados nas diferentes etapas do experimento foram confeccionados em PVC, nos quais orifícios circulares de diferentes diâmetros foram feitos e, então, colocados no centro do tanque. O esquema apresentado na Figura 2 mostra cada bocal utilizado. Vale salientar que os bocais têm diferentes quantidades de orifícios, porém foram projetados para que a área total permanecesse a mesma. Um anemômetro eletromagnético (Omni Instruments, MiniWater20), adequado para medição de velocidades entre 0,02 e 5 m/s e com precisão de 2%, foi utilizado para medir as velocidades verticais (u) no interior dos jatos para diferentes distâncias radiais (r) e alturas (z) de 20, 35 e 50 cm.

Adaptou-se o modelo integral de Lima Neto (2012b) para simular a hidrodinâmica dos jatos, considerando orifícios únicos e múltiplos. Ressalta-se que o referido modelo se baseia na teoria clássica de plumas de bolhas, que assume uma distribuição Gaussiana similar para diferentes parâmetros do escoamento (velocidade axial, fração gasosa, etc.). Assim, utilizam-se as equações de conservação de massa e de quantidade de movimento para estimar os valores do coeficiente de entrada turbulenta (α) para cada condição experimental avaliada no presente estudo, uma vez que este parâmetro é necessário para resolução dos modelos integrais.

Maiores detalhes sobre os experimentos e o modelo adotado no presente estudo podem ser encontrados em Lima e Lima Neto (2018).

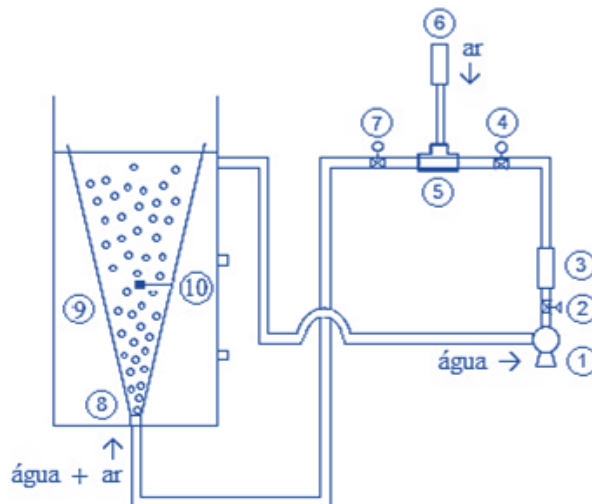


Figura 1.- Esquema experimental: 1 – bomba centrífuga; 2 – válvula do tipo globo; 3 e 6 – rotâmetros; 4 e 7 – manômetros; 5 – injetor Venturi; 8 – bocal de entrada; 9 – jatos bifásicos; 10 – anemômetro eletromagnético.

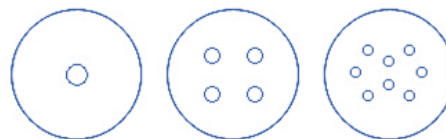


Figura 2.- Bocais utilizados nos experimentos: (a) Tipo A – 1 orifício com 10 mm de diâmetro; (b) Tipo B – 4 orifícios com 5 mm de diâmetro cada; e (c) Tipo C – 8 orifícios com 3,5 mm de diâmetro cada.

Resultados e discussão

Os resultados experimentais indicaram que independentemente do número de orifícios, a área total dos bocais é o fator que governa o escoamento gerado em sistemas de aeração a jato. Portanto, adaptou-se o modelo de Lima Neto (2012b) para considerar o diâmetro equivalente dos bocais (d) no cálculo da velocidade inicial dos jatos bifásicos. Essa simplificação produziu bons resultados, uma vez que os valores ajustados para o coeficiente de entrada turbulenta (α) para cada experimento e nas diferentes alturas de medição (z) variaram de 0,042 a 0,099, os quais estão dentro da faixa típica de valores, 0,04-0,12, descrita por Lima Neto (2012a) para plumas de bolhas. A Figura 3 apresenta, como exemplo, os gráficos da distribuição radial normalizada de velocidades e o ajuste do modelo para os bocais dos Tipos A e B em $z = 50$ cm. Para todas as condições analisadas, o modelo ajustou-se bem aos dados, com desvios-padrão menores que 10%. Os resultados apresentados também estão em concordância com os trabalhos desenvolvidos por Lima Neto (2012b, 2015), que encontrou valores para o coeficiente de entrada turbulenta variando de 0,060 a 0,095 para jatos bifásicos gerados por orifícios únicos e para diferentes condições experimentais de vazão, diâmetro do orifício e profundidade da água.

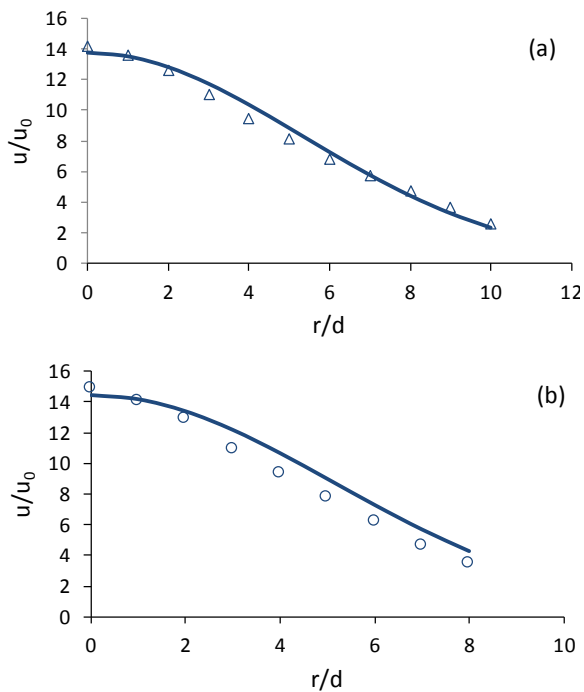


Figura 3.- Distribuição radial normalizada de velocidades e ajuste do modelo integral para os bocais dos Tipos A e B em $z = 50$ cm.

A Figura 4 mostra o ajuste do coeficiente de entrada turbulenta (α) como uma função da velocidade relativa adimensional, $u_s/(B/z)^{1/3}$, sendo u_s a velocidade terminal das bolhas e B o fluxo cinemático de empuxo. A curva obtida fornece valores superiores aos sugeridos por Seol et al. (2007) para plumas de bolhas.

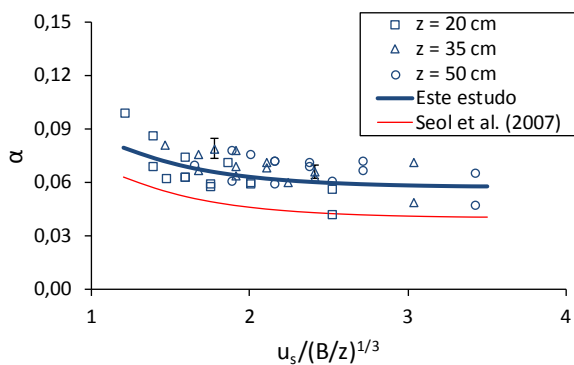


Figura 4.- Relação entre o coeficiente de entrada turbulenta e a velocidade adimensional das bolhas. A curva de Seol et al. (2007) para plumas de bolhas também é mostrada como referência.

Por fim, foi realizado um estudo comparativo visando avaliar a influência do presente modelo integral e de modelos disponíveis na literatura sobre a vazão de circulação induzida em um corpo hídrico com profundidade de 4 m incorporando um jato bifásico com vazões de ar e água de respectivamente 60 e 120 l/min.

Na Figura 5 estão apresentados os resultados das vazões de circulação geradas para o modelo proposto, bem como para os estudos desenvolvidos por Seol et al. (2007) e Lima Neto (2012b, 2015). A vazão induzida na superfície do corpo hídrico simulada pelo modelo proposto neste trabalho foi superior às obtidas com os demais modelos, sendo cerca de 12% maior do que a simulação mais próxima, que foi obtida utilizando o modelo de Lima Neto (2015). Já em relação aos modelos propostos por Lima Neto (2012b) e Seol et al. (2007), os valores da vazão induzida obtidos com o presente modelo foram 28% e

34% superiores, respectivamente. Vale salientar que para outras vazões de ar e água, o comportamento obtido foi semelhante, ou seja, as vazões induzidas na superfície pelo modelo proposto foram sistematicamente superiores, mantendo-se próximas das vazões obtidas para o modelo proposto por Lima Neto (2015). No entanto, pode-se afirmar que o presente modelo é mais preciso do que os demais citados neste estudo, uma vez que foi ajustado para um maior número de dados experimentais e para diferentes condições de vazão, altura d'água e tipos de orifícios. Salienta-se ainda que aplicações do modelo proposto neste trabalho, incluindo também aspectos relacionados ao tamanho das bolhas e à eficiência de oxigenação da água, além dos padrões de circulação da água, são apresentadas em Lima e Lima Neto (2018).

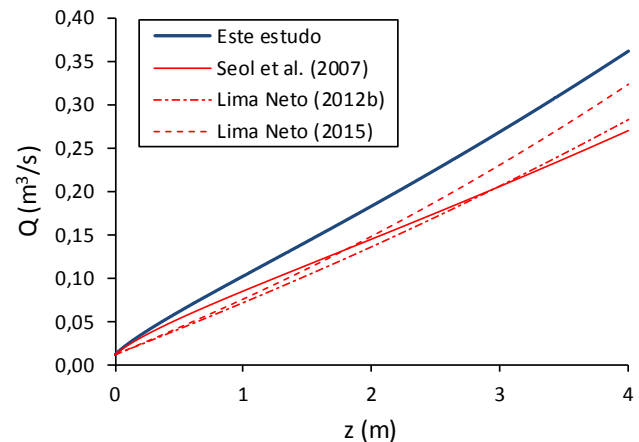


Figura 5.- Comparação da vazão de circulação simulada pelo modelo proposto e aquelas obtidas com modelos disponíveis na literatura.

Referências bibliográficas

- Lima, D. D., Lima Neto, I. E.** (2018). Effect of Nozzle Design on Bubbly Jet Entrainment and Oxygen Transfer Efficiency. *Journal of Hydraulic Engineering*. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0001493](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001493).
- Lima Neto, I. E.** (2012a). Bubble plume modelling with new functional relationships. *Journal of Hydraulic Research*, 50, 134-137.
- Lima Neto, I. E.** (2012b). Modeling the liquid volume flux in bubbly jets using a simple integral approach. *Journal of Hydraulic Engineering*, 138, 210-215.
- Lima Neto, I. E.** (2015). Self-similarity of vertical bubbly jets. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 32, 475-487.
- Lima Neto, I. E., Cardoso, S. S. S., Woods, A. W.** (2016). On mixing a density interface by a bubble plume. *Journal of Fluid Mechanics*, 802.
- Lima Neto, I. E., Porto, R. M.** (2004). Performance of Low-Cost Ejectors. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 130, 122-128.
- Pacheco, C. H. A., Lima Neto, I. E.** (2017). Effect of Artificial Circulation on the Removal Kinetics of Cyanobacteria in a Hypereutrophic Shallow Lake. *Journal of Environmental Engineering*, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001289](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001289).
- Seol, D.G., Bhaumik, T., Bergmann, C., Socolofsky, S. A.** (2007). Particle image velocimetry measurements of the mean flow characteristics in a bubble plume. *Journal of Engineering Mechanics*, 133, 665-676.

Agradecimentos

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito da Chamada Universal nº 14/2014 do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (Processo nº 445211/2014-8). O primeiro autor agradece também à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela bolsa de estudos concedida.