

ANÁLISE COMPARATIVA DE PADRÕES DE ESCOAMENTO EM RESERVATÓRIOS RETANGULARES RASOS DE DIFERENTES ESCALAS

Daniel Augusto de Miranda^{1,3,4}, Elsa Alves², Márcia M. L. P. Coelho³
e Antônio Heleno Cardoso⁴

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, IFMG, Santa Luzia, Brasil.

²Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LNEC, Lisboa, Portugal.

³Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte, Brasil.

⁴CERIS, Instituto Superior Técnico, IST, Lisboa, Portugal.

E-mail: d.miranda@ifmg.edu.br; ealves@lneec.pt; lara@ehr.ufmg.br; antonio.cardoso@tecnico.ulisboa.pt

Introdução e objetivo

Escoamentos rasos referem-se a fluxos turbulentos cujas dimensões horizontais são consideravelmente maiores que a dimensão vertical (Jirka; Uijtewall, 2004). Na Engenharia Hidráulica, as teorias envolvendo esses escoamentos aplicam-se, por exemplo, a bacias de retenção, lagoas de estabilização para tratamento de efluentes e tanques de aquacultura.

Pelo fato de estarem associados a baixas velocidades de escoamento, os reservatórios rasos são frequentemente afetados por contínuo processo de sedimentação. Destaca-se, portanto, a importância em se ampliar o conhecimento acerca de seu comportamento hidrodinâmico em função da configuração geométrica e das condições hidráulicas.

Diversas referências na literatura têm tratado desse tema através de modelação numérica e da realização de experimentos em laboratório. Destacam-se Kantoush (2008), Dufresne et al. (2010a,b), Camnasio et al. (2013) e Ferrara et al. (2017).

O objetivo do presente artigo consiste em comparar os resultados de velocidades superficiais e dos padrões de escoamento, obtidos experimentalmente em dois reservatórios retangulares rasos de diferentes escalas, com dimensões geométricas proporcionais.

Metodologia

A análise dos dados tratados nesse trabalho baseou-se na obtenção de velocidades superficiais do escoamento por meio da técnica LSPIV (*large scale particle image velocimetry*). Todos os experimentos foram realizados em regime permanente e com água limpa.

Para tanto, foram construídos dois reservatórios retangulares rasos geometricamente proporcionais e vinculados a partir das relações de semelhança de Froude, sendo um deles o modelo distorcido do outro, o protótipo. Ambos os reservatórios possuíam fundo plano.

O primeiro desses reservatórios (Figura 1) foi instalado no Centro de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal de Minas Gerais (CPH-UFGM), Brasil. Tem por dimensões comprimento de 3,0 m, largura de 2,0 m e profundidade máxima de 0,30 m, tendo sido construído em chapas metálicas. Ao referido reservatório, foram acoplados dois canais de seção retangular, um de montante e outro de jusante, ambos com 1,0 m de comprimento, 0,125 m de largura e 0,30 m de altura.

Com o objetivo de possibilitar a avaliação da influência da localização dos canais de montante e de jusante sobre o padrão de escoamento, foram previstas três posições alternativas para acoplagem dos mesmos junto ao reservatório: à esquerda do eixo longitudinal da bacia e em relação ao fluxo (posição L, *left*), alinhado com o eixo longitudinal (posição C, *central*) e à direita do mesmo (posição R, *right*). Durante os experimentos, avaliaram-se diferentes combinações geométricas simétricas e assimétricas: configurações CC (simétrica) e LL, LC, LR e CR (assimétricas). A título de informação, os códigos de duas letras ora citados correspondem, respectivamente, à localização dos

canais de montante e de jusante. Por exemplo, a configuração geométrica LR indica que o canal de montante foi instalado na posição esquerda (L), enquanto que o de jusante o foi na posição direita (R).



Figura 1.- Reservatório retangular instalado no CPH-UFGM, Brasil.

Ainda com relação ao reservatório construído no CPH-UFGM, levaram-se em conta durante os experimentos, para cada configuração geométrica, três diferentes vazões, cada qual associada a uma profundidade líquida (Tabela 1).

Tabela 1.- Vazões e profundidades líquidas de referência para os experimentos do CPH-UFGM.

Q	H
[L/s]	[m]
0,50	0,050
1,25	0,100
3,40	0,200

O segundo reservatório (Figura 2), por sua vez, foi construído no Laboratório de Hidráulica e Recursos Hídricos e Ambientais do Instituto Superior Técnico de Lisboa (LHRHA-IST), Portugal.

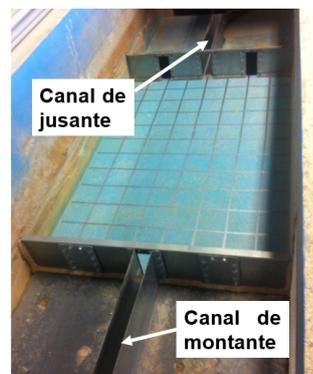


Figura 2.- Reservatório retangular instalado no LHRHA-IST, Portugal.

Este corresponde à metade da escala do primeiro, portanto, com comprimento de 1,5 m, largura de 1,0 m e profundidade de 0,15 m. O aparato em questão foi instalado dentro de um canal existente, com fundo e paredes laterais em alvenaria e com paredes de montante e de jusante em chapas metálicas.

Os canais de montante e de jusante também possuíam 1,0 m de comprimento, largura de 0,063 m e 0,15 m de altura. Considerou-se igualmente a possibilidade de acoplamento dos canais em três diferentes posições, de forma similar ao outro reservatório.

As vazões e profundidades líquidas análogas às do reservatório do CPH-UFGM são indicadas na Tabela 2.

Tabela 2.- Vazões e profundidades líquidas de referência para os experimentos do LHRHA-IST.

Q [L/s]	H [m]
0,15	0,036
0,37	0,071
1,00	0,143

Todos os experimentos foram filmados utilizando-se uma webcam de alta resolução de marca Logitech e modelo C920, instalada a uma altura suficiente para registro de toda a área de cada um dos reservatórios. Em cada ensaio, capturaram-se imagens sequenciais que foram processadas e convertidas em campos vetoriais de velocidade superficial com auxílio do programa computacional FUDAA-LSPIV (Jodeau et al., 2013). Utilizaram-se traçadores plásticos que foram continuamente lançados na água pelo lado de montante.

Ao todo, foram realizados 30 experimentos, sendo 15 deles no CPH-UFGM, Brasil e outros 15 no LHRHA-IST, Portugal. Para cada reservatório, consideraram-se as três vazões de referência destes para cada uma das combinações geométricas dos canais de montante e de jusante (CC, LC, LR, LR e CR).

Resultados e discussão

De modo geral, verificou-se que o padrão de escoamento é comparável em cada configuração geométrica e vazão análogas dos dois reservatórios.

No que se refere especificamente à configuração CC, cujos canais de montante e de jusante são alinhados em relação ao eixo longitudinal do reservatório, verificou-se que: (1) para a menor vazão (0,50 L/s para o CPH-UFGM e 0,15 L/s para o LHRHA-IST), o padrão de escoamento é simétrico e resulta na formação de dois grandes vórtices em sentidos opostos, um de cada lado do jato principal que, por sua vez, desloca-se ao longo do eixo longitudinal; (2) para as duas maiores vazões (1,25 e 3,40 L/s para o CPH-UFGM e 0,37 e 1,00 L/s para o LHRHA-IST), o padrão de escoamento é assimétrico; os ensaios no reservatório brasileiro indicaram, para ambas as vazões, o desvio do jato lateral em direção à parede lateral direita e a formação de um grande vórtice em sentido anti-horário; por outro lado, verificou-se no reservatório português, para ambas as vazões, o desvio do jato lateral em direção à parede lateral esquerda e o surgimento de um grande vórtice em sentido horário. Apresenta-se a seguir a distribuição dos vetores de velocidade média para a maior vazão de referência de ambos os reservatórios (Figuras 3 e 4).

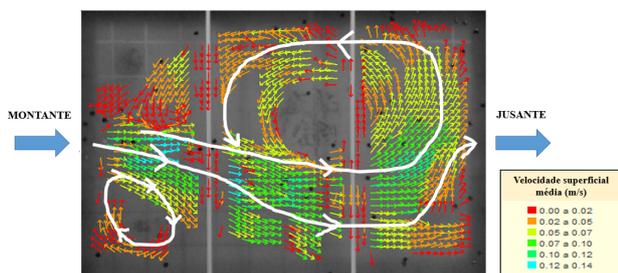


Figura 3.- Velocidades superficiais médias para configuração CC e $Q = 3,40$ L/s (CPH-UFGM, Brasil).

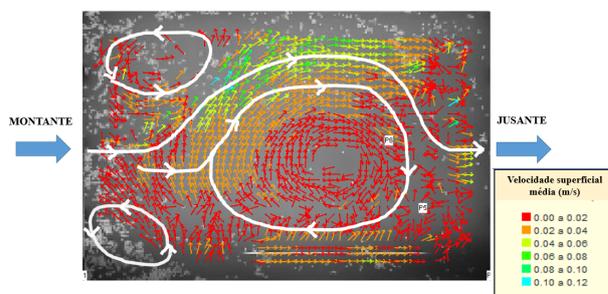


Figura 4.- Velocidades superficiais médias para configuração CC e $Q = 1,00$ L/s (LHRHA-IST, Portugal).

Cabe destacar que o fato de as Figuras 3 e 4 não retratarem campos de velocidade perfeitamente espelhados deve-se à diferença na forma de injeção dos traçadores. Enquanto que no reservatório do CPH-UFGM os traçadores foram inseridos pelo canal de montante, no do LHRHA-IST, eles foram distribuídos em toda sua face de montante.

Conclusão

Apesar de os dois reservatórios retangulares terem sido construídos em diferentes escalas, constatou-se, globalmente, que os padrões de escoamento indicados para as configurações geométricas e vazões análogas são comparáveis.

Agradecimentos

Os Autores gostariam de agradecer ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – pelo suporte financeiro da montagem do aparato experimental e aquisição de materiais de apoio utilizados no âmbito do CPH-UFGM, Brasil.

O primeiro autor agradece ainda o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG Campus Santa Luzia, Brasil) por sua colaboração com este trabalho e, em particular, a Fundação para Ciência e Tecnologia (FCT), pelo apoio financeiro durante sua permanência em Portugal, através do seu programa de financiamento PD/BD/135219/2017.

Referências bibliográficas

- Camnasio, E., Erpicum, S., Orsi, E., Piroton, M., Schleiss, A., Dewals, B.J. (2013). "Coupling between flow and sediment deposition in rectangular shallow reservoirs". *J. Hydraul. Res.* 51(5), 535-547.
- Dufresne, M., Dewals, B.J., Erpicum, S., Archambeau, P., Piroton, M. (2010a). "Classification of flow patterns in rectangular shallow reservoirs." *J. Hydraul. Res.* 48(2), 197-204.
- Dufresne, M., Dewals, B.J., Erpicum, S., Archambeau, P., Piroton, M. (2010b). "Experimental investigation of flow patterns and sediment deposition in rectangular shallow reservoirs." *Int. J. Sediment Res.* 25(3), 258 - 270.
- Ferrara V., Erpicum, S., Archambeau, P., Piroton, M., Dewals, B.J. (2017). "Flow field in shallow reservoir with varying inlet and outlet position". *Journal of Hydraulic Research*, DOI: 10.1080/00221686.2017.1399937.
- Jirka, G.H., Uijtewaal, W. S. J. (2004). "Shallow flows". In: *INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SHALLOW FLOWS*, 4, 2004, Delft. Proceedings... Delft: Taylor & Francis.
- Jodeau, M., Hauet, A. e Le Coz, J. (2013). "Fudaa-LSPIV 1.3.2 - Guide d'utilisation". Tech. rep. no. v04 du 17-09-2013. 26pp. (Em francês). EDF R&D, EDF DTG, Irstea, França.
- Kantoush, S.A. (2008). "Experimental study on the influence of the geometry of shallow reservoirs on flow patterns and sedimentation by suspended sediments." EPFL, Lausanne, Suíça, Tese de doutorado 4048.