

## Hidrodinâmica de Cavidades Laterais Vegetadas

Recursos Hídricos e Qualidade da Água

Luiz Eduardo Domingos de Oliveira<sup>1</sup>

Taís Natsumi Yamasaki<sup>2</sup>

Felipe Rezende da Costa<sup>3</sup>

Johannes Gérson Janzen<sup>4</sup>

Carlo Gualtieri<sup>5</sup>

### *Resumo*

Em rios e canais, zonas mortas são regiões de baixas velocidades e recirculação, que possuem importância ecológica, como a retenção de sedimentos, e que também podem ser formadas a partir de projetos de engenharia fluvial, como diques transversais. A presença de vegetação em zonas mortas é um assunto recente que vem ganhando maior interesse na área de escoamentos vegetados, pois a vegetação apresenta o potencial de modificar o escoamento em zonas mortas e alterar processos de troca de massa com o canal principal. O presente trabalho objetivou simular numericamente uma cavidade lateral vegetada, usando para isso a Fluidodinâmica Computacional (CFD). A vegetação foi representada por um meio poroso, cujos coeficientes foram calculados a partir de dados experimentais. Após a simulação, a cavidade apresentou um sistema único de vórtices em seu interior, e velocidades longitudinais variando entre -0,11 e 0,24 cm/s. A simulação se ajustou bem aos resultados experimentais, o que indica que o meio poroso é um método adequado para representar a vegetação no CFD.

Palavras-chave: Cavidades Laterais; Vegetação; Fluidodinâmica Computacional (CFD).

<sup>1</sup> Aluno do Curso de mestrado em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, luiz.domingos@ufms.br.

<sup>2</sup> Aluna do Curso de doutorado em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, taisnatsumi@gmail.com.

<sup>3</sup> Aluno do Curso de graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, felipe.costa@ufms.br.

<sup>4</sup> Prof. Dr. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – Campus Campo Grande, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, johannesjanzen@gmail.com.

<sup>5</sup> Prof. Dr. Universidade de Nápoles Federico II, Departamento de Engenharia Civil, Construção e Ambiental, carlo.gualtieri@unina.it.

## INTRODUÇÃO

Rios são formados por contornos morfológicos complexos, que criam uma diversidade de regiões de alto ou baixo fluxo de escoamento. Uma dessas regiões é denominada zona morta, a qual apresenta velocidades reduzidas em relação ao canal principal. As zonas mortas podem ser formadas naturalmente, através de cavidades laterais (JACKSON *et al.*, 2013), ou antropicamente, a exemplo dos campos de *groyne* (SUKHODOLOV *et al.*, 2017) e diques transversais (PANDEY; AHMADSHARMA, 2017). Do ponto de vista ambiental, as zonas mortas exercem o papel de “colchões” que absorvem parte da energia do escoamento, e com isso elas proporcionam a retenção de sedimentos, a proteção das margens de rios e o refúgio para organismos que se desenvolvem em águas mais calmas (WEITBRECHT *et al.*, 2008).

No campo de estudo de escoamentos vegetados, no qual se interessa compreender as interações hidrodinâmicas entre o escoamento e a vegetação, a pesquisa em zonas mortas vegetadas é um assunto recente. A presença da vegetação na zona morta oferece uma resistência adicional ao escoamento, impactando a distribuição das velocidades na região. Conseqüentemente, processos de troca de massa entre o canal principal e a zona morta também são alterados (XIANG *et al.*, 2019). Compreender essas relações é importante para que a vegetação possa ser melhor empregada em zonas mortas, a fim de beneficiar o ecossistema do entorno. No presente trabalho, objetiva-se simular através da Fluidodinâmica Computacional (CFD) uma cavidade lateral vegetada, utilizando o método do meio poroso para representar a vegetação.

## METODOLOGIA

A geometria do estudo foi constituída por um trecho de canal e uma cavidade lateral (Figura 1) baseada em Xiang *et al.* (2019). A profundidade do escoamento e do canal ( $H$ ) foi definida em 0,10 m, e a largura do canal ( $B$ ), em 0,30 m. A cavidade possuiu 0,25 m de comprimento ( $L$ ) e 0,15 m de largura ( $W$ ). A velocidade média constante no canal foi definida como  $U = 0,101$  m/s, o que correspondeu ao número de Reynolds igual a 9000 (escoamento turbulento). A água foi mantida a uma temperatura constante de 293 K.

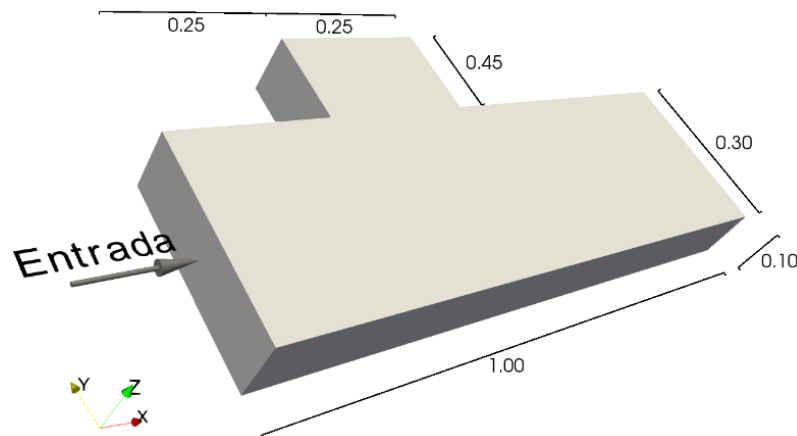


Figura 1 - Domínio computacional. A direção do escoamento é indicada pela seta cinza. As dimensões estão em metro. A origem das coordenadas ( $x, y, z = 0$ ) parte do canto inferior direito do canal.

As seguintes condições de contorno foram utilizadas. O plano longitudinal que passa em  $y = 0$  m e o plano no topo do canal ( $z = 0,10$  m) foram definidos como paredes de deslizamento livre. Os planos que contornam a margem esquerda do canal ( $y = 0,30$  m) e a cavidade foram considerados como paredes hidraulicamente lisas e de velocidade nula constante. A entrada do canal ( $x = 0$  m) recebeu um perfil de velocidades previamente desenvolvido em uma simulação periódica. O plano que passa no fim do canal ( $x = 1,00$  m) foi considerado como uma saída, na qual o gradiente de velocidades é igual a zero.

A vegetação foi representada por um meio poroso preenchendo toda a cavidade lateral. Esta é uma forma simples de representar a resistência exercida pela vegetação ao escoamento, e ainda assim efetiva em capturar os efeitos na hidrodinâmica (YAMASAKI *et al.*, 2019). No modelo atual, adotou-se um meio poroso governado pelo método de *Darcy-Forchheimer*, composto pelos coeficientes de resistência viscosa e inercial. Os coeficientes foram calculados pelos métodos de *Ergun* e de *Sonnenwald et al.* (2017), utilizando-se dados de densidade da vegetação a partir do caso dois de *Xiang et al.* (2019). Detalhes dos métodos podem ser encontrados no guia do usuário do *Fluent®*.

O modelo numérico foi simulado no software comercial *Fluent®* (versão 14), utilizando-se o método de volumes finitos para discretizar as equações governantes de conservação de massa e de quantidade de movimento. O modelo de turbulência utilizado foi o *Detached Eddy Simulation*, com o modelo de contorno *k-omega Shear Stress*

*Transport.* A simulação transiente rodou por 350 segundos, tempo suficiente para a estabilização do escoamento.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como era de se esperar, o escoamento dentro da cavidade se tornou mais lento quando comparado ao canal principal, com velocidades longitudinais variando entre  $-0,11$  e  $0,24 U$  (Figura 2a). O alto gradiente de velocidades formado na entrada da cavidade ( $y = 0,30$  m) originou uma camada de cisalhamento, o que acarretou na formação de vórtices. Esses vórtices foram carregados para o interior da cavidade, onde assumiram um único sistema de circulação mais concentrado à direita, como indicam as linhas de trajetória na Figura 2a. O coeficiente de resistência viscosa ficou em  $83,37 \text{ m}^{-2}$  e o de resistência inercial, em  $3,79 \text{ m}^{-1}$ .

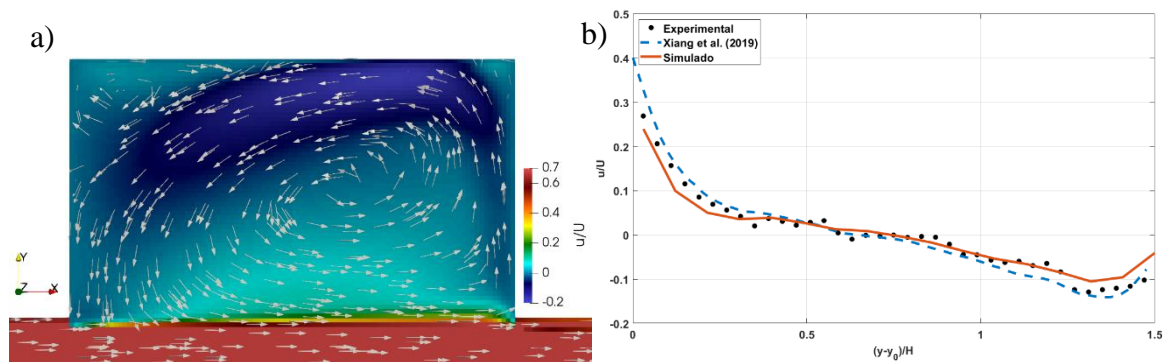


Figura 2 – (a) Contorno de velocidades médias  $u$  ao longo do plano em  $z = 0,60H$ ; (b) Média das velocidades  $u$  ao longo do plano em  $z = 0,60H$ , dentro da cavidade.

A fim de se comparar a simulação com os dados experimentais, os dados de velocidade longitudinal  $u$  foram extraídos ao longo da cavidade, no plano em  $z = 0,60$  m, e condensados em uma linha através de uma média ao longo do eixo  $y$ , similar a Sukhodolov (2014). O perfil de velocidades é mostrado e comparado, com os dados numéricos e experimentais de literatura, na Figura 2b. Na entrada da cavidade ( $(y-y_0)/H$  aproximadamente igual a zero), a velocidade  $u$  apresentou valor aproximado de  $0,25U$ , que foi diminuindo conforme se seguia para o interior da cavidade. Em  $(y-y_0)/H = 1,4$ , o escoamento apresentou o valor negativo de  $-0,1U$ , indicando a presença de vórtices. A curva da simulação atual, em laranja, ficou bem ajustada aos dados experimentais (pontos pretos).

Isso significa que os coeficientes do meio poroso conseguiram representar a vegetação na simulação e produzir resultados condizentes com os experimentos.

## CONCLUSÃO

O modelo de meio poroso foi capaz de representar a vegetação na simulação numérica. A cavidade apresentou um único sistema de circulação, com velocidades mais baixas do que no canal principal. O perfil de velocidade obtido na simulação se ajustou bem aos dados experimentais, demonstrando que a simulação conseguiu capturar os efeitos da vegetação na cavidade.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

- JACKSON, T.R. et al. A mean residence time relationship for lateral cavities in gravel-bed rivers and streams: Incorporating streambed roughness and cavity shape. **Water Resources Research**, v. 49, p. 3642-3650, 2013.
- PANDEY, M.; AHMAD, Z.; SHARMA, P. Scour around impermeable spur dikes: a review. **ISH Journal of Hydraulic Engineering**, v. 24, n. 1, p. 25-44, 2017.
- SONNENWALD, F. et al. Computational fluid dynamics modelling of residence times in vegetated stormwater ponds. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management**, v. 171, n. 2, p. 76-86, 2017.
- SUKHODOLOV, A. N. Hydrodynamics of groyne fields in a straight river reach: Insight from field experiments. **Journal of Hydraulic Research**, v. 52, n. 1, p. 105-120, 2014.
- SUKHODOLOV, A. N. et al. Effects of vegetation on turbulent flow structure in groyne fields. **Journal of Hydraulic Research**, v. 55, n. 1, p. 1-15, 2017.
- UIJTTEWAAL, W. S. Effects of Groyne Layout on the Flow in Groyne Fields: Laboratory Experiments. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 131, n. 9, p. 782-791, 2005.
- WEITBRECHT, V. et al. Experiments on Mass Exchange between Groin Fields and Main Stream in Rivers. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 134, n. 2, p. 173-183, 2008.
- XIANG, K. et al. Large eddy simulation of turbulent flow structure in a rectangular embayment zone with different population densities of vegetation. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 14, p. 14583-14597, 2019.
- YAMASAKI, T. N. et al. From patch to channel scale: the evolution of emergent vegetation in a channel. **Advances in Water Resources**, v. 129, p. 131-145, 2019.