

## FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL APLICADA NA CALIBRAÇÃO DA PERMEABILIDADE DE UM *WETLAND* FLUTUANTE DE TRATAMENTO

Taís Natsumi Yamasaki <sup>1</sup>  
Johannes Gérson Janzen <sup>2</sup>

### Recursos Hídricos e Qualidade da Água

#### *Resumo*

*Wetlands* flutuantes de tratamento (FTWs) são uma alternativa ao tratamento de água, seja em rios ou lagoas. Os FTWs são constituídos por plataformas flutuantes colocadas na superfície d'água, sobre as quais a vegetação cresce de forma hidropônica, isto é, com as raízes sempre submersas. Os FTWs atuam na melhora da qualidade da água através das raízes e do biofilme que se forma aderido a elas, que juntos absorvem nutrientes e retêm contaminantes e partículas suspensas. O objetivo do estudo foi calibrar a permeabilidade de um FTW utilizando a Fluidodinâmica Computacional (CFD), com base em experimentos em escala de laboratório. O FTW foi numericamente representado como meio poroso, no qual um termo sumidouro foi adicionado nas equações de quantidade de movimento da simulação. A calibração da permeabilidade foi obtida comparando-se, entre a simulação e os experimentos, o perfil da velocidade longitudinal no eixo de simetria do FTW. Valores de permeabilidade foram variados entre  $10^{-6}$  a  $10^{-8}$  m<sup>2</sup>. O melhor ajuste se deu para a permeabilidade de  $10^{-6}$  m<sup>2</sup>.

Palavras-chave: *Wetlands* flutuantes de tratamento, permeabilidade, meio poroso, CFD.

---

<sup>1</sup> Me. e aluna de Doutorado em Tecnologias Ambientais. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, taisnatsumi@gmail.com.

<sup>2</sup> Prof. Dr. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, johannesjanzen@gmail.com.

## INTRODUÇÃO

Nas últimas duas décadas, os *wetlands* flutuantes de tratamento (FTWs) têm se tornado uma tecnologia de crescente interesse no tratamento de rios, canais e lagoas (LUCKE *et al.*, 2019). Os FTWs são similares aos *wetlands* construídos convencionais no que tange ao uso de plantas para a remoção de nutrientes e contaminantes. A diferença é que, nos FTWs, as raízes das plantas permanecem em contato direto com a coluna d'água, crescendo de forma hidropônica, ao invés de se fixar em um substrato (HEADLEY & TANNER, 2012). Isso é possível com o uso de plataformas flutuantes, que são colocadas na superfície d'água, e sobre quais as plantas são inseridas.

O tratamento proporcionado pelos FTWs é realizado pelas raízes das plantas e pelo biofilme, este último constituído por algas, bactérias e outros microrganismos que crescem aderidos à raízes (LUCKE *et al.*, 2019). Através de processos bioquímicos e físicos, os FTWs conseguem remover nutrientes, metais e matéria orgânica dissolvida, reter sólidos suspensos e diminuir a turbidez da água (HEADLEY & TANNER, 2012). Estudos laboratoriais também têm indicado o potencial dos FTWs na remoção de pesticidas, herbicidas e produtos farmacêuticos (BI *et al.*, 2019).

Um aspecto importante que precisa ser considerado em estudos de FTWs são as interações hidrodinâmicas entre as raízes e o escoamento. O tempo de contato e o fluxo de massa do escoamento entrando nos FTWs são essenciais para a eficiência do tratamento. Por isso, o presente trabalho objetivou, como primeiro passo no estudo hidrodinâmico de um FTW, calibrar numericamente a permeabilidade de um FTW a partir de dados experimentais de Liu *et al.* (2019), utilizando para isso a Fluidodinâmica Computacional (CFD).

## METODOLOGIA

A geometria do modelo consistiu em um FTW retangular, colocado na parede de um canal (Figura 1a). O FTW apresentou comprimento  $L = 25.6$  cm, largura  $W = 18$  cm e profundidade  $h = 10.5$  cm, e foi colocado 300 cm a jusante da entrada do canal. O canal possuiu comprimento  $L_c = 1600$  cm, largura  $W_c = 120$  cm e profundidade  $H = 23$  cm. A

geometria foi baseada nos experimentos de laboratório de Liu *et al.* (2019), que construíram FTWs a partir de arranjos de *Eichhornia crassipes*.

A geometria foi dividida em elementos hexaédricos de volume finito, nos quais as equações governantes de conservação de massa e de quantidade de movimento foram calculadas. Isso resultou em uma malha composta por 77 mil elementos, cada um medindo 4 cm de lado (Figura 1b). O CFD utiliza a discretização da geometria para conseguir resolver as equações de *Navier-Stokes* através de métodos numéricos.

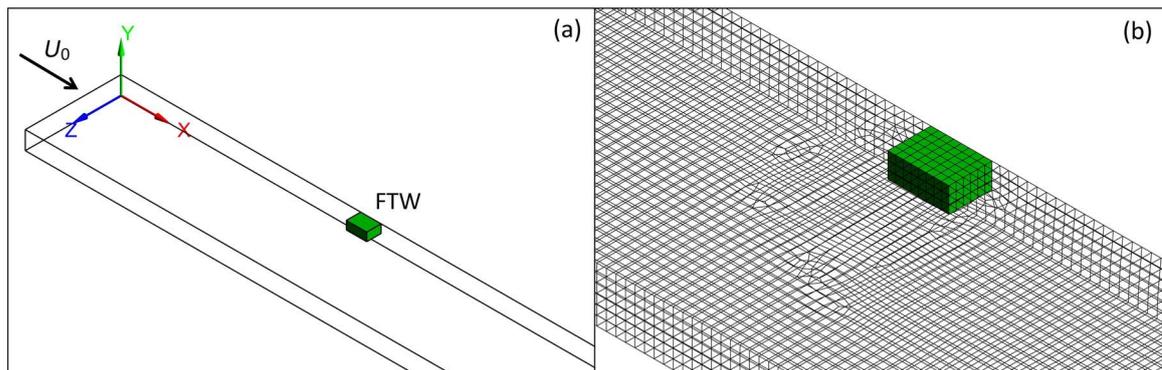


Figura 1 – (a) Domínio computacional, com o FTW em verde. O escoamento chega à entrada do canal com velocidade  $U_0$ . (b) Malha resultante da discretização do domínio. Para fins de melhor visualização, o canal inteiro não está sendo mostrado.

A zona de raízes do FTW foi representada por um meio poroso, através do método de *Darcy*. Xavier *et al.* (2018) mostraram que o meio poroso é capaz de capturar os efeitos da resistência que as raízes exercem sobre o escoamento. Para isso, um termo sumidouro é adicionado na equação da quantidade de movimento. A permeabilidade do meio poroso foi calibrada com base nos dados de Liu *et al.* (2019), variando-se entre  $10^{-6}$  a  $10^{-8}$  m<sup>2</sup>.

A simulação foi realizada em regime permanente, com velocidade inicial  $U_0 = 9.8$  cm/s na entrada do canal, similar a Liu *et al.* (2019). A profundidade do escoamento foi de 23 cm. A saída do canal foi definida como *outlet*, com pressão igual a zero. As paredes e o fundo do canal foram tratados como paredes não-deslizantes. O topo do canal foi definido como simetria. O modelo de turbulência utilizado foi o *Shear Stress Transport*. A simulação foi realizada no *solver Fluent®*, versão 19R3.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os perfis de velocidade  $u$  (na direção  $x$ ), normalizados pela velocidade inicial  $U_0$ , foram plotados na Figura 2. Os perfis foram obtidos no eixo de simetria longitudinal do FTW, isto é, passando a meia largura do FTW ( $y = 9$  cm), e a meia profundidade do FTW.

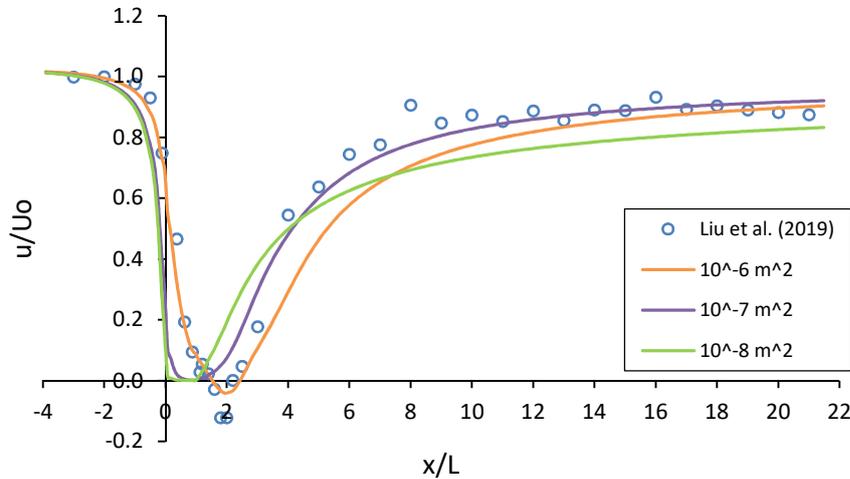


Figura 2 – perfis da velocidade  $u/U_0$  ao longo do eixo de simetria longitudinal do FTW, para diferentes permeabilidades. O FTW está localizado entre  $x/L = 0$  e 1.

De modo geral, o escoamento apresentou uma grande redução na velocidade ao entrar em contato com o FTW ( $x/L = 0$ ). Isso se deveu à resistência das raízes, que desacelerou o escoamento na direção longitudinal (eixo  $x$ ). A redução persistiu até a uma distância de  $x/L = 2$  no experimento (círculos azuis), quando o escoamento passou a retornar progressivamente aos valores iniciais de velocidade ( $x/L > 2$ ).

A curva da permeabilidade de  $10^{-8}$  m<sup>2</sup> (em verde) apresentou uma redução mais acentuada antes de atingir o FTW ( $x/L = -2$  a 0), e permaneceu com velocidade nula em todo o FTW ( $x/L = 0$  a 1). A jusante ( $x/L > 1$ ), a velocidade se recuperou antes dos próprios dados experimentais para valores próximos a  $u/U_0 = 0.8$ .

A curva da permeabilidade de  $10^{-7}$  m<sup>2</sup> (em roxo) apresentou um outro comportamento. A montante do FTW ( $x/L = -2$  a 0), a redução na velocidade ficou similar ao da permeabilidade de  $10^{-8}$  m<sup>2</sup>, chegando a zero logo no início do FTW. Dentro do FTW, ( $x/L = 0$  a 1), a curva não acompanhou os dados de Liu *et al.* (2019). A recuperação da velocidade se iniciou em aproximadamente  $x/L = 1.5$  e se deu de forma mais suave, conseguindo acompanhar os dados experimentais a partir de  $x/L > 4$ .

Por fim, a curva da permeabilidade de  $10^{-6} \text{ m}^2$  (em laranja) resultou em um perfil mais ajustado ao experimento, especialmente dentro do FTW. A curva conseguiu acompanhar os dados em toda a região imediatamente a montante do FTW ( $x/L = -2$  a  $0$ ), dentro do FTW ( $x/L = 0$  e  $1$ ) e imediatamente a jusante do FTW ( $x/L = 1$  a  $3$ ), conforme mostrado na Figura 2. Durante a recuperação da velocidade, a curva ficou abaixo dos dados experimentais ( $x/L > 4$ ), até alcançá-los em  $x/L = 15$ . Dentre os valores testados, o FTW ficou melhor calibrado com a permeabilidade de  $10^{-6} \text{ m}^2$ .

## CONCLUSÕES

A simulação CFD conseguiu representar o comportamento hidrodinâmico de um FTW em um canal. As raízes do FTW foram representadas por um meio poroso, cuja permeabilidade foi calibrada com base em dados experimentais. A permeabilidade que resultou no melhor ajuste da simulação foi a de  $10^{-6} \text{ m}^2$ .

## AGRADECIMENTOS

Taís N. Yamasaki agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de doutorado, na modalidade Demanda Social.

## REFERÊNCIAS

- BI, R. et al. Giving waterbodies the treatment they need: A critical review of the application of constructed floating wetlands. **Journal of Environmental Management**, v. 238, p. 484-498, 2019.
- HEADLEY, T.R.; TANNER, C.C. Constructed Wetlands With Floating Emergent Macrophytes: An Innovative Stormwater Treatment Technology. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 42, p. 2261-2310, 2012.
- LIU, C. et al. Floating treatment islands in series along a channel: The impact of island spacing on the velocity field and estimated mass removal. **Advances in Water Resources**, v. 129, p. 222-231, 2019.
- LUCKE, T. et al. Experimental designs of field-based constructed floating wetland studies: A review. **Science of the Total Environment**, v. 660, p. 199-208, 2019.
- XAVIER, M.L.M. et al. Numerical modeling study to compare the nutrient removal potential of different floating treatment island configurations in a stormwater pond. **Ecological Engineering**, v. 111, p. 78-84, 2018.