

# OTIMIZAÇÃO DA GEOMETRIA DE ESCADAS PARA PEIXES DE RANHURA VERTICAL

Júlia Brusso Rossi y Daniela Guzzon Sanagiotto

Instituto de Pesquisas Hidráulicas, IPH/UFRGS, Brasil.

E-mail: julia.rossi@ufrgs.br, dsanagiotto@ufrgs.br

## Resumo

Nesse trabalho se analisaram padrões médios do escoamento em escadas para peixes de ranhura vertical de diferentes geometrias através da simulação numérica do escoamento. Se avaliou a influência da declividade longitudinal do canal e da presença ou não de um elemento cilíndrico dentro dos tanques da escada nos valores médios de velocidade. Os resultados indicam aumento da velocidade com o aumento da declividade e que a presença do cilindro após os defletores resulta na redução da velocidade do escoamento na região de influência do cilindro. Também se verificou que as velocidades médias máximas obtidas são superiores aos valores teóricos esperados, sendo maiores as diferenças percentuais para as menores declividades.

## Introdução

Os mecanismos de transposição de peixes (MTP) surgiram da necessidade de se manter a passagem segura e atrativa para o trânsito dos peixes através de obstáculos, principalmente para que os peixes de piracema alcancem os locais de desova após o bloqueio do caminho natural pela construção de barragens.

No Brasil, encontra-se uma imensa diversidade de espécies de peixes, cujas características natatórias diferem em muito das apresentadas pelos salmonídeos. Este fato, associado à crescente exigência da implantação de MTP nos barramentos, através de leis estaduais ambientais, torna necessária a definição de estruturas adequadas à ictiofauna brasileira. (Sanagiotto, 2007). As escadas para peixes representam um dos tipos mais frequentes de MTP. Há muitas possibilidades de geometrias de escadas para peixes. Desta forma, há espaço para a otimização das geometrias das escadas para peixes, com a combinação de um fluxo adequado a ictiofauna local e estruturas mais econômicas.

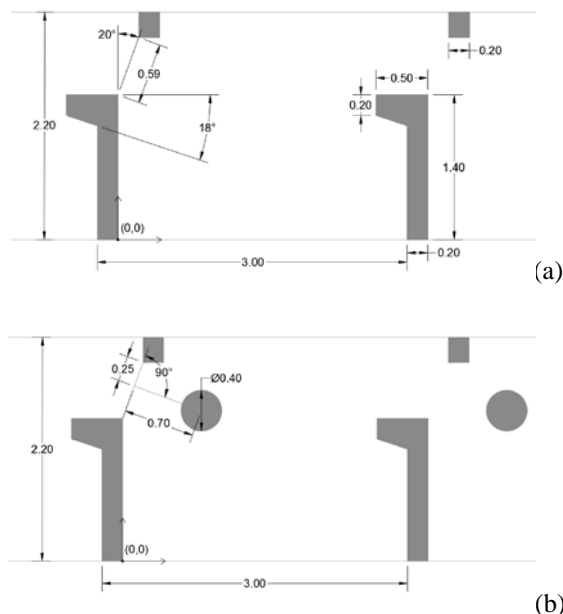
Esses estudos podem ser conduzidos por meio de modelagem física, computacional e pela combinação destas abordagens. Nesse estudo, a partir de validação de um modelo computacional utilizando dados experimentais, se busca analisar alternativas de geometrias para escadas para peixes.

## Materiais e métodos

Foram conduzidas simulações numéricas do escoamento utilizando o software Ansys - CFX, para diferentes configurações de escadas para peixes com ranhura vertical. A partir do trabalho de Bombac (2017) foi escolhida a geometria a ser utilizada e estabelecidos os parâmetros iniciais e as condições de contorno da simulação, a fim de que os resultados pudessem validar o esquema numérico. Foram modelados 9 tanques consecutivos de 3 m de comprimento e 2,2 m de largura, cada um, além de uma região de entrada e saída, totalizando 46 m de comprimento da estrutura. A Figura 1a apresenta as dimensões dessa geometria. Em um segundo momento, nessa mesma geometria, foi inserido um elemento cilíndrico posicionado após a abertura entre os defletores (Figura 1b), como já proposto em estudos anteriores (e.g. Calluud, 2014). Foi testado o elemento cilíndrico com 0,4 m de altura e 0,4 m de diâmetro.

Para ambas as geometrias foram feitas simulações para 4 declividades: 1,67%, 3,33%, 5,00% e 6,67% e para vazões de  $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $1,398 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $1,586 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  e  $1,765 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,

respectivamente, que resultaram na profundidade média do escoamento no tanque de 1,3 m, reproduzindo as condições de Bombac (2017), com variação máxima de 2%.



**Figura 1.** Geometria dos tanques das escadas para peixes utilizadas neste estudo: (a) de Bombac (2017), (b) com a inserção do cilindro.

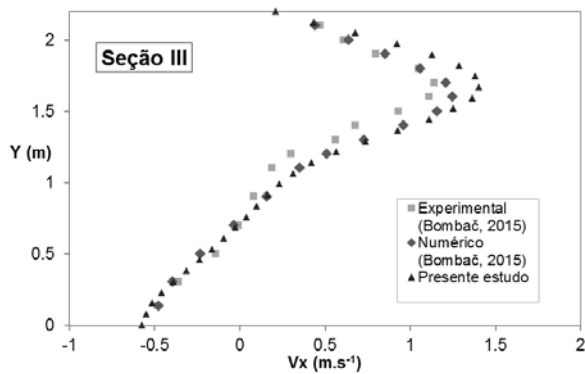
Para garantir uma malha adequada, foram testadas malhas com diferentes refinamentos. A malha final, antes da simulação, apresentou número de nós de cerca de  $5 \times 10^5$  e número de elementos de cerca de  $2 \times 10^6$ . Foi utilizada a ferramenta de adaptação de malha na interface ar-água.

Tomando como base o trabalho de Bombac (2015), no qual os resultados apresentados são para o tanque central, também foram selecionadas quatro seções transversais, nos planos  $x=0,60 \text{ m}$ ;  $x=1,2 \text{ m}$ ;  $x=1,80 \text{ m}$  e  $x=2,40 \text{ m}$ , que são nomeadas de seções I, II, III e IV.

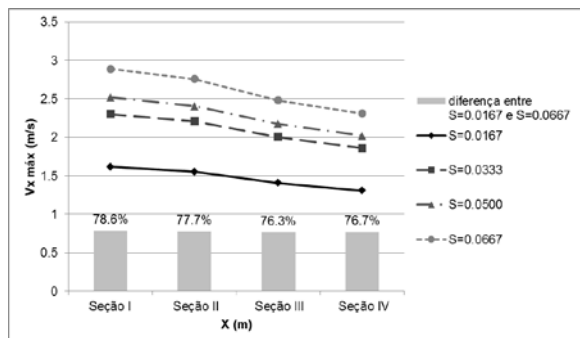
## Resultados e discussão

A figura 2 apresenta os resultados das velocidades médias na direção longitudinal da escada ( $V_x$ ) obtidas para a geometria da figura 1a com a vazão  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  e declividade de 1,667%, comparada aos resultados experimentais e numéricos apresentados por Bombac (2015). Nessa figura os valores são referentes a seção III ( $x=1,80 \text{ m}$ ) para um plano paralelo ao fundo na posição  $z/h = 0,4$  ( $z$  é a distância a partir do fundo até o plano e  $h$  é a profundidade média do escoamento – medida no meio do tanque central). Pode-se observar que há uma boa concordância entre os resultados obtidos no presente estudo e os apresentados por Bombac (2015). Esse resultado inicial permite considerar que o modelo numérico proposto neste trabalho, bem como as condições de contorno, modelo de turbulência e malha, são adequadas para a simulação do escoamento nestas estruturas.

Das simulações com diferentes declividades, foram selecionadas a máxima velocidade média em cada seção. A figura 3 apresenta o efeito da declividade nas velocidades médias máximas do escoamento, em quatro seções transversais do escoamento no tanque central.



**Figura 2.-** Comparação dos resultados do presente estudo de  $V_x$  para a seção III ( $x=1,80$  m) da geometria da Fig. 1a, com declividade de 1,667% com os resultados de Bombač (2015).



**Figura 3.-** Velocidades máximas em x,  $V_x$ , para diferentes declividades nas 4 seções.

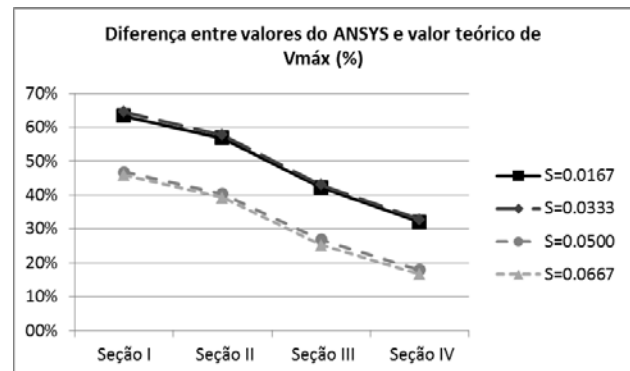
Como se esperava, as velocidades máximas aumentam com o aumento da declividade. Os máximos valores de velocidades médias máximas ocorrem na seção transversal mais próxima da entrada do escoamento na bacia (seção I), na região do jato principal, indicando que há a dissipação da energia do escoamento dentro do tanque, com redução das velocidades médias do jato a medida que este se desloca para jusante.

Na figura 3 ainda é apresentado, em termos percentuais, a variação de velocidade média máxima entre as declividades mínima e máxima. O aumento da declividade em quatro vezes (de 1,67% para 6,67%) aumenta as velocidades médias máximas em até cerca de 80%. Esse fato reforça a importância do papel da declividade de fundo no escoamento. Para a menor declividade testada a velocidade média máxima excede 1,5m/s em apenas algumas regiões da bacia. Para a máxima declividade testada, os valores médios máximos excedem 2,5m/s em cerca de 75% das seções transversais.

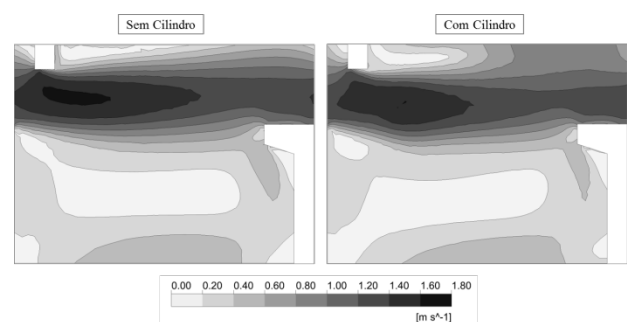
Ainda sobre esses dados, há um outro resultado relevante, que diz respeito ao confronto dos valores médios máximos obtidos das simulações com os valores teóricos, obtidos da relação  $V_{máx} = \sqrt{2g\Delta h}$ , sendo  $g$  a aceleração da gravidade e  $\Delta h$  o desnível entre tanques consecutivos. Os valores médios máximos obtidos das simulações foram sempre superiores aos valores teóricos. A figura 4 mostra as diferenças percentuais entre os valores obtidos nas simulações e os valores teóricos. Para a seção I, localizada na entrada do tanque, as diferenças variam entre 45 e 65%, sendo as maiores diferenças relacionadas as estruturas com menores declividades.

A influência da presença do cilindro no escoamento pode ser observada na Figura 5, onde se comparam campos de velocidades do escoamento para as mesmas condições de vazão. A inserção do cilindro, logo após a abertura vertical, busca diminuir as velocidades médias máximas. Percebe-se que a presença do cilindro altera a forma do jato principal e ocorre a redução das velocidades do escoamento. Na região de descanso

(recirculação maior) não houve grande variação. O mesmo padrão ocorre nas demais declividades.



**Figura 4.-** Diferença percentual entre os valores obtidos no presente estudo e os valores teóricos de  $V_{máx}$ .



**Figura 5.-** Campos de velocidade média da água no tanque central em um plano paralelo ao fundo, na posição  $z/h=0,4$ , para a declividade de 1,67%, com e sem cilindro (figuras 1a e 1b).

## Conclusões

Com a análise dos resultados obtidos neste estudo, verificou-se a influência nos campos de velocidade pela variação da declividade de fundo do canal e da inserção de um elemento cilíndrico em uma escada para peixes de ranhura vertical. O aumento da declividade resultou no acréscimo das velocidades do escoamento, enquanto a inserção do cilindro produziu reduções das velocidades. Verificou-se também que as máximas velocidades simuladas foram superiores aos valores teóricos.

## Agradecimentos

As autoras agradecem ao apoio financeiro do CNPq e da UFRGS.

## Referencias bibliográficas

- Bombač, M.; Četina, M.; Novak, G.. (2017). "Study on flow characteristics in vertical slot fishways regarding slot layout optimization". *J. Ecol. Eng.* 107, 126–136, DOI: 10.1016/j.ecoleng.2017.07.008
- Bombač, M.; Novak, G.; Mlačnik, J.; Četina, M.. (2015). "Extensive field measurements of flow in vertical slot fishway as datafor validation of numerical simulations". *J. Ecol. Eng.* 84, 476–484, DOI: 10.1016/j.ecoleng.2015.09.030
- Calluad D.; Pineau G.; Texier A.; David L.. (2014) "Modification of vertical slot fishway flow with a supplementary cylinder". *Journal of Hydraulic Research*, 52:5, 614-629, DOI: 10.1080/00221686.2014.906000
- Sanagiotto, D.G. (2007). "Análise da macroturbulência do escoamento em escadas para peixes por bacias sucessivas." Tese de doutorado, IPH, UFRGS, Porto Alegre, Brasil, 293p.