



Método SPH para estudo de escoamento sobre vertedouros em degraus

SPH method for studying flow over stepped spillways

Caroline Marques Lau¹, Luis Fernando Grigoletto Hirata², Maria Luiza Silva Oliveira³,
Mateus Batichotti Silva⁴, Flávia Aparecida Reitz Cardoso⁵

RESUMO

Vertedouros são estruturas utilizadas com diversas funções, como medição e controle de vazão e descarga do excesso de água a jusante, até aquelas anexas a barragens, que devem ser adequadamente projetadas para não comprometer a estrutura. Os métodos numéricos têm sido cada vez mais estudados como ferramentas de pré-projeto e o método SPH é uma ferramenta promissora para o estudo da dinâmica de fluidos. No presente trabalho foi utilizado o software DualSPHysics para analisar o fluxo de água sobre um vertedouro em etapas com configuração 1 V: 0,75 H (53,13o), pouco reproduzido com o método, comparando os resultados experimentais e numéricos obtidos por outros autores. Assim, foram analisados critérios de convergência do modelo, com base em verificações qualitativas, a fim de definir as constantes, parâmetros e especificações da simulação, para então comparar futuramente os perfis de velocidade e pressão de diferentes testes com diferentes dados de entrada da simulação. Também foram apresentadas a detecção de superfície livre ao longo da calha e a evolução temporal dos testes. Tratamentos especiais foram utilizados para obter melhores resultados, que por sua vez se mostraram satisfatórios na comparação de dados de diferenças percentuais médias.

PALAVRAS-CHAVE: vertedouro escalonado, vertedouro de alto grau, CFD, SPH.

ABSTRACT

Spillways are structures used with various functions, such as flow measurement and control and discharge of excess water downstream, to those attached to dams, which must be properly designed to avoid compromising the structure. Numerical methods have been increasingly studied as pre-design tools and the SPH method is a promising tool for the study of fluid dynamics. In the present work, the DualSPHysics software was used to analyze the flow of water over a spillway in steps with configuration 1 V: 0.75 H (53.13o), which is little reproduced with the method, comparing the experimental and numerical results obtained by other authors. Thus, convergence criteria for the model were analyzed, based on qualitative verifications in order to define the constants, parameters and specifications of the simulation, in order to then compare the velocity and pressure profiles of different tests with different simulation input data in the future. The free surface detection along the gutter and the temporal evolution of the tests were also presented. Special treatments were used to obtain better results, which in turn proved to be satisfactory when comparing data of mean percentage differences.

KEYWORDS: stepped spillway, high grade spillway, CFD, SPH.

¹ Bolsista do Cnpq. Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil. E-mail: carolinelau@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 0698228494830562.

² Bolsista do Cnpq. Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil. E-mail: luishirata@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 0144651492801182.

³ Bolsista do Cnpq. Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil. E-mail: marialuizaooliveira@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 8330537680863440.

⁴ Bolsista do Cnpq. Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil. E-mail: mateusbatichotti@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 5288330053446144.

⁵ Docente do Curso Técnico Integrado em Informática. Universidade Federal Tecnológica do Paraná. Campo Mourão, Paraná, Brasil. E-mail: flaviareitz@gmail.com. ID Lattes: 2663975071704461.



INTRODUÇÃO

Métodos numéricos têm se popularizado na engenharia com a emergência de processadores mais potentes, resultando na possibilidade de estudar problemas mais complexos e realistas, que não são de fácil execução para estudo experimental nem simplificados suficiente para uso da abordagem teórica (CHANSON, 2000).

O Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) ou hidrodinâmica das partículas suavizadas é um método numérico idealizado para problemas astrofísicos, que teve aplicação estendida para o uso no campo de dinâmica computacional dos fluidos (CFD) devido as particularidades da abordagem sem malha ou meshfree (CRESPO, 2007; DALRYMPLE; KNIO, 2001).

Problemas que tratam de escoamento em superfície livre são ideais para o SPH pois o rastreamento da interface entre diferentes fluidos (como água e ar) é algo intrínseco do método, uma vez que as partículas representam o escoamento do fluido. Tendo isso em vista, problemas como o comportamento da água em descarregadores em degraus mostram-se interessantes para o estudo em abordagem numérica com o SPH, complementando e confirmando os resultados de modelos físicos (CRESPO, 2007; DALRYMPLE; KNIO, 2001).

Vertedores em degraus são estruturas anexadas a barragens ou outros dispositivos de transporte de fluido, que tem diversos propósitos, como medição e controle de vazão e diminuir a energia cinética do escoamento ocasionado da transferência de água para jusante em períodos de cheia, impedindo a erosão do talude de jusante da barragem, o que comprometeria a estabilidade da estrutura (GOTOH et al., 2005).

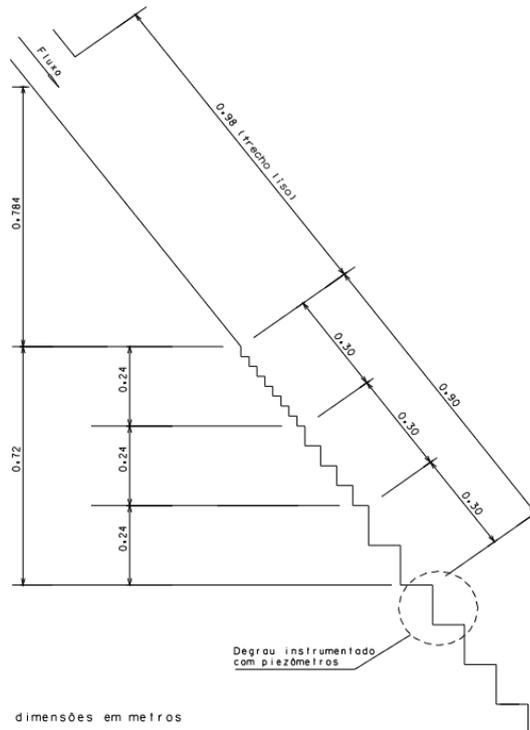
Devido a importância destas estruturas, é interessante a análise de diferentes alternativas para meios de transferência de água para o leito natural do rio, sendo o SPH uma das ferramentas que podem ser usadas no pré-projeto devido a flexibilidade em testar diferentes geometrias para os vertedores visando a maximização da perda de energia do escoamento, além de seus resultados confiáveis para este tipo de problema, tal como demonstrado no trabalho de Nóbrega (2018).

Face a estas considerações, este trabalho simulou o escoamento de fluido sobre um vertedouro em degraus com o método SPH e comparar as informações obtidas com outros métodos de análise simulado e prático.

METODOLOGIA

Para comparação de resultados entre diferentes abordagens, utilizou-se a geometria esquematizada na Figura 1. Esta foi estudada experimentalmente por Olinger (2000), que foi posteriormente comparada numericamente com o software Ansys CFX (MVF), por Arantes (2007).

Figura 1 - Configuração de calha estudada por Olinger (2000) com degraus 0,12m x 0,09m



Fonte: OLINGER (2000).

Tabela 1 - Valores iniciais para y_0 e V para as quatro simulações

Ensaio	y_0 (cm)	V (m/s)
1	15	8,0
2		10,7
3	20	8,0
4		9,84

Fonte: Adaptado de Arantes (2007).

As modelagens dos experimentos da literatura foram realizados com o software de código aberto DualSPHysics, que permite a leitura dos documentos com extensão “.xml”, que funciona como um bloco de notas para salvar todas as informações necessárias para a simulação (parâmetros, constantes, geometria, tempo, etc.), que por sua vez são recebidas por um script “.bat” que gera a simulação com base nos diferentes códigos encontrados no diretório do programa, resultando em um conjunto de arquivos “.vtk” que representam a geometria e a evolução do escoamento, bem como os dados quantitativos do fluido uma vez que especificados (ERIKSSON, 2018).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a análise de convergência da simulação foram utilizados critérios qualitativos feitos tomando como referência a evolução da simulação e levando em conta o

preenchimento e recirculação de água nos degraus, bem como formato coerente da lâmina de água sobre a calha, característicos de um escoamento em regime do tipo skimming.

Tabela 2 - Diferentes configurações de parâmetros

Configuração	c_s (m/s)	d_p (m)	Tratamento da viscosidade	DDT	t_s (s)	t_p (h)
1	$10U_{max}$	0,0030	Laminar+SPS	-	1	1,44
2	$10U_{max}$	0,0020	Laminar+SPS	-	3	13,02
3	$10U_{max}$	0,0030	Artificial	-	1	0,96
4	$10U_{max}$	0,0015	Laminar+SPS	-	2	16,48
5	$10U_{max}$	0,0030	Laminar+SPS	Fourtakas (full)	2	2,89
6	$10U_{max}$	0,0015	Laminar+SPS	Fourtakas (full)	2	10,77
7	$10U_{max}$	0,0015	Laminar+SPS	Fourtakas	2	11,08
8	$10U_{max}$	0,0015	Laminar+SPS	Fourtakas (full)	2	4,08

As figuras a seguir representam o escoamento do fluido em $t = t_s$, com partículas coloridas com relação à velocidade, cores mais avermelhadas representam velocidades maiores. Para as simulações das três primeiras partes da Figuras 2, considerou-se um limite sólido paralelo à calha, tal como no experimento de Olinger (2000).

Posteriormente este limite foi desconsiderado para diminuir o tempo de simulação necessário para escoar toda a camada de fluido inicial para fora do domínio. O limite horizontal também foi desconsiderado na última parte da Figura 2 para que a carga hidráulica à jusante não afete os resultados do degrau de análise, uma vez que ambos se encontram próximos.

Figura 2 - Escoamento das configurações 1 a 4

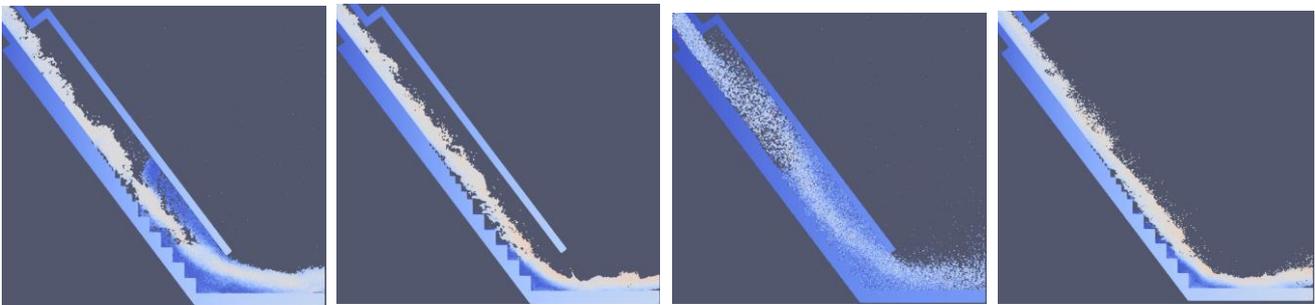
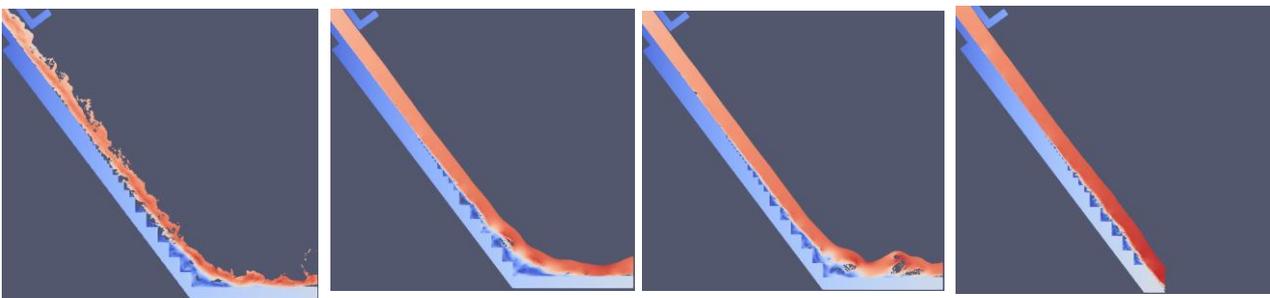


Figura 3 - Escoamento das configurações 5 a 8





Até a simulação da configuração 5, considerou-se a entrada do fluido no ponto mais recuado da estrutura, com $y_0 = 20\text{cm}$. Posteriormente a entrada de fluido foi definida com relação ao começo do trecho de estrangulamento, afim de suspender o efeito de recirculação que ocorria na primeira situação, quando parte do escoamento encostava na superfície à perpendicular.

Com base nos diferentes resultados das simulações, pode-se observar que:

- A distância entre partículas influencia de forma exponencial no tempo de processamento;
- O tratamento artificial para viscosidade não fornece forças de coesão suficientes ao escoamento, porém foi testado apenas considerando coeficiente de viscosidade artificial de 10^{-6} . Este é um coeficiente empírico que requer testes para calibração do mesmo, portanto utilizou-se o esquema laminar + SPS que é mais recorrente em problemas de escoamento sobre vertedouros em degraus;
- O comportamento do escoamento e o devido preenchimento de todos os degraus só começaram a ser válidos considerando um termo de difusão de densidade (DDT).

Devido à alta velocidade, grande inclinação e pequeno trecho, o fluido em estado inicial deixa completamente o domínio (desconsiderando os que ficam em recirculação nos degraus) de forma relativamente rápida, sendo que para a última configuração pode-se perceber o fenômeno ocorrendo em $t = 0,64\text{s}$.

CONCLUSÕES

O SPH é um método numérico poderoso e eficiente para o estudo de escoamentos, porém a calibração é uma etapa importante e que deve ser feita com cuidado ao explorar novas geometrias (HUSAIN et al., 2017). A configuração da calha 1 V : 0,75 H ($53,13^\circ$) foi utilizada como geometria de estudo por ser pouco reproduzida com o SPH. Em especial, utilizou-se o experimento de Olinger (2000) para comparação de resultados, visto que seria também possível fazê-lo com os resultados numéricos de Arantes (2007), que utilizou o software CFX para simulação. Este experimento também é apropriado para análise, devido ao fato que à montante, o fluido é injetado sem passar por soleira espessa, assim não é necessário modelar um reservatório para reprodução do escoamento sobre o perfil, uma vez que este fenômeno encareceria o custo computacional que é de grande importância para a viabilidade deste estudo (GU et al., 2017).

Agradecimentos

Agradeço à Fundação Cnpq por financiar todo o projeto e à minha orientadora pela instrução, confiança e por todos os ensinamentos.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS



ARANTES, E. J. **Caracterização do escoamento sobre vertedouros em degraus via CFD.** Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, 2007.

CHANSON, H. **Historical development of stepped cascades for the dissipation of hydraulic energy.** Transactions of the Newcomen Society, v. 72, p.295-318, 2000.

CRESPO, A. et al. **How to numerically compute free surface elevation, velocity, pressure, forces.** [S.I.], 2018.

CRESPO, A. et al. **Boundary conditions generated by dynamic particles in SPH methods.** EUA: Tech Science Press, 2007. 173 p.

DALRYMPLE, R. A.; KNIO, O. **SPH modelling of water waves. In: Fourth Conference on Coastal Dynamics,** p. 779-787, 2001.

ERIKSSON, J. **Evaluation of SPH for hydrodynamic modeling, using DualSPHysics.** Thesis (Doctoral) - UPPSALA Universitet, 2018.

FOURTAKAS, G. et al. **Local uniform stencil (LUST) boundary condition for arbitrary 3-D boundaries in parallel smoothed particle hydrodynamics (SPH) models.** Computer & Fluids, v. 19, p. 346-361, 2019.

GOTOH, H. et al. **Lagrangian particle method for simulation of wave overtopping on a vertical seawall.** Coastal Engineering Journal, v. 47, n. 2, p. 157-181, 2005.

GU, S. et al. **SPHysics simulation of experimental spillway hydraulics.** Water, v. 9, n. 12, p. 973, 2017.

HUSAIN, S. M. et al. **Investigation of pressure variations over stepped spillways using smooth particle hydrodynamics.** Advances in Water Resources, v. 16, 52-69, 2014.

OLINGER, J. C. **Contribuição ao estudo da distribuição de pressões nos vertedouros em degraus.** Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, 2000.