

## SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE UM DISPOSITIVO DE GALGAMENTO TRIDIMENSIONAL PARA CONVERSÃO DE ENERGIA DAS ONDAS

**MACHADO, Bianca Neves<sup>1</sup>; ZANELLA, Marcos Moises<sup>2</sup>; LOPES, Nathalia da Rosa<sup>3</sup>; GOMES, Mateus das Neves<sup>4</sup>; ISOLDI, Liércio André<sup>5</sup>; DOS SANTOS, Elizaldo Domingues<sup>6</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande - [biancanevesmachado@gmail.com](mailto:biancanevesmachado@gmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio Grande - [marcosmzanella@hotmail.com](mailto:marcosmzanella@hotmail.com)

<sup>3</sup> Universidade Federal do Rio Grande - [nathaliapel@hotmail.com](mailto:nathaliapel@hotmail.com)

<sup>4</sup> Universidade Federal do Paraná - [mateusufpel@hotmail.com](mailto:mateusufpel@hotmail.com)

<sup>5</sup> Universidade Federal do Rio Grande - [liercioisoldi@gmail.com](mailto:liercioisoldi@gmail.com)

<sup>6</sup> Universidade Federal do Rio Grande - [elizaldo@ibest.com.br](mailto:elizaldo@ibest.com.br)

### 1. INTRODUÇÃO

Os apelos pela conscientização humana quanto a degradação da natureza tem surtido efeito nos últimos anos, por este motivo e pelos combustíveis fósseis serem finitos, o homem vem buscando fontes de energia renováveis. Alguns dos benefícios relacionados com a utilização destas fontes de energia podem ser citados: minimização da emissão de CO<sub>2</sub> e poluentes atmosféricos, redução do ritmo de exploração de jazidas de combustíveis fósseis e dos impactos ambientais associados (TOLMASQUIM, 2003). Estas benfeitorias tornam latente a necessidade pela utilização destas fontes de energias e, do desenvolvimento científico e tecnológico de dispositivos para conversão destas em energia elétrica, garantindo uma oferta de energia em larga escala. Entre tais fontes destaca-se a energia proveniente das ondas, que advém da ação dos ventos sobre o oceano. A energia das ondas é muito promissora para conversão, visto que se apresenta de uma forma muito concentrada.

A conversão da energia proveniente das ondas em energia elétrica é realizada através de dispositivos apropriados. Que podem ser classificados quanto ao princípio físico de funcionamento (CRUZ; SARMENTO, 2004):

- **Coluna de Água Oscilante** – CAO (*Oscillating Water Column* - OWC);
- **Corpos Flutuantes**, podendo ser de absorção pontual (*Point Absorbers*) ou progressivos (*Surging devices*);
- **Galgamento** (*Overtopping devices*).

O escopo do presente trabalho são os dispositivos de galgamento, tecnologias flutuantes para aplicação na terra ou em alto mar. Seu princípio de funcionamento baseia-se na acumulação de água em um reservatório sobrelevado relativamente ao nível médio da superfície livre do mar (Figura 1). A devolução ao mar da água acumulada dar-se através da passagem desta por turbinas hidráulicas de baixa queda que acionam geradores elétricos de fabricação comum. A acumulação da água no reservatório sobrelevado produz-se através do galgamento de uma rampa inclinada pela onda (RELATÓRIO WAVEC, 2004).

Alguns equipamentos se encontram em testes em alto mar, tais como: *Wave Dragon*, *Wave Plane* e o *Seawave Slot-Cone Generator*. No que tange ao estado da arte, são apresentados diversos estudos na literatura para análise do dispositivo de galgamento. Por exemplo, IAHNKE (2010) otimizou a relação de inclinação da rampa de um dispositivo de galgamento para escoamentos bidimensionais, DIDIER e NEVES (2010) empregaram um modelo lagrangeano para analisar o comportamento do escoamento sobre um dispositivo de

galgamento e NEVES et al. (2010) analisaram e compararam a produção de três modelos numéricos utilizados para prever o volume médio de galgamento: *Amazônia*, baseado na resolução de equações não lineares para águas rasas; *Cobras-UC*, um modelo Euleriano utilizando o VOF e *SPHysics*. Os estudos apresentados na literatura enfatizaram a importância do presente trabalho, pois não foram encontrados estudos relacionados com a simulação numérica de dispositivos de galgamento em domínios tridimensionais.

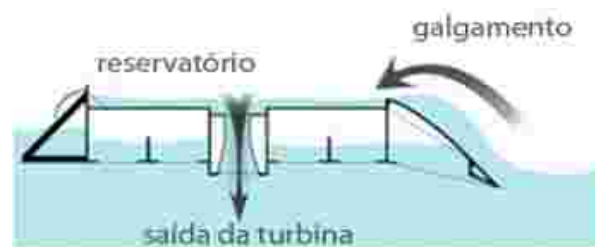


Figura 1: Ilustração do princípio de funcionamento do galgamento (Fonte: TEDD e KOFOED, 2009).

## 2. METODOLOGIA

Neste trabalho apresenta-se uma abordagem numérica de um dispositivo de conversão de energia das ondas do tipo galgamento, cujo principal objetivo é a realização de uma simulação numérica tridimensional deste dispositivo. O domínio computacional utilizado na simulação numérica consiste basicamente em um dispositivo do tipo galgamento situado no centro de um tanque de ondas, conforme a Figura 2. A onda simulada possui as características: período  $T = 0.88$  s, altura da onda  $H = 0.88$  m, comprimento de onda  $\lambda = 1.2$  m e profundidade do tanque  $h = 0.6$  m. Para a simulação numérica das equações de conservação da massa e quantidade de movimento, foi empregado um código comercial baseado no Método dos Volumes Finitos (MVF), FLUENT (FLUENT, 2006). O movimento da onda é gerado pela imposição de um campo de velocidades na entrada do tanque de ondas através da condição de contorno denominada velocidade de entrada (velocity inlet) dada através de uma função definida pelo usuário (UDF – *User Defined Function*). Esta metodologia é a mesma empregada nos trabalhos de GOMES (2010) e GOMES et al. (2009), nos quais a velocidade varia em função do espaço e do tempo com base na Teoria de Stokes de 2ª ordem. Para a abordagem da interação entre as fases ar e água emprega-se o modelo multifásico *Volume of Fluid* (VOF), semelhante ao utilizado por LIU et al. (2008a) e LIU et al. (2008b).

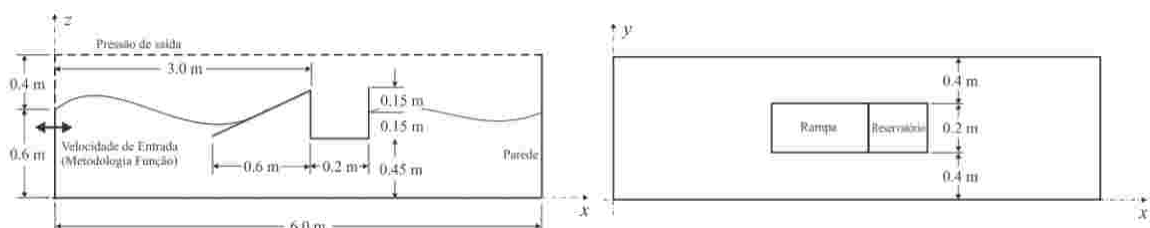


Figura 2: Ilustração do domínio computacional do tanque de ondas com o dispositivo de galgamento.

Quanto as demais condições de contorno, na parte superior da superfície lateral esquerda, bem como na superfície superior é aplicada uma condição de contorno de pressão atmosférica. Nas demais superfícies do tanque de ondas e nas superfícies do dispositivo de galgamento é imposta uma condição de não-deslizamento e impermeabilidade com velocidade nula. Já na condição inicial, considerou-se que o fluido está em repouso.

No caso estudado subdividiu-se o domínio computacional (Figura 2) em três regiões (região 1:  $0.0 \text{ m} \leq x \leq 2.4 \text{ m}$ , região 2:  $2.4 \text{ m} \leq x \leq 3.2 \text{ m}$  e região 3:  $x \geq 3.2 \text{ m}$ ) com o intuito de obter uma malha com maior refinamento na região do dispositivo, devido a maior intensidade dos gradientes de velocidades. Na região 1 e 3 utilizou-se uma malha regular constituída de hexaedros de dimensão  $\Delta x = 0.02 \text{ m}$ . Na região (3) do dispositivo empregou-se uma malha tetraédrica com a mesma dimensão de malha empregada nas outras regiões. Para a discretização temporal empregou-se um passo de tempo de  $\Delta t = 0.001 \text{ s}$ . O tempo total de simulação foi de  $t = 8 \text{ s}$ .

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 3 apresenta o comportamento transiente de uma onda gerada em um tanque numérico sobre a rampa do dispositivo, este comportamento é analisado qualitativamente através da avaliação das fases do escoamento (ar, representado pela cor vermelha e água, representada pela cor azul) ao longo do domínio e do tempo. As topologias das fases em função do tempo são obtidas para os instantes de tempo  $t = 1.0 \text{ s}$  à  $t = 8.0 \text{ s}$ , dados respectivamente pelas Figuras 3(a) – 3(h). Para o tempo  $t = 1.0 \text{ s}$  (Figura 3(a)) é possível observar a formação da primeira onda devido à imposição do campo de velocidades na superfície de entrada do tanque de ondas. Posteriormente, para  $t = 2.0 \text{ s}$  (Figura 3(b)) pode-se observar a formação de uma segunda onda e o início da incidência de uma onda sobre o dispositivo de galgamento. Para  $t = 3.0 \text{ s}$  e  $t = 4.0 \text{ s}$ , Figura 3(c) – (d), a onda ainda não possui energia suficiente para superar a resistência imposta pela rampa. Vale destacar que, para este instante de tempo, as ondas ainda são amortecidas, visto que o escoamento parte do repouso e sofre um processo de inércia. Em  $t = 5.0 \text{ s}$  pode ser notada uma pequena quantidade de água que entra no reservatório, ou seja, a onda adquiriu energia cinética suficiente para superar a resistência da rampa. Além disso, pode ser vista a incidência do volume de água galgado no interior do reservatório, o que não havia sido observado nas topologias para os instantes de tempo anteriores (Figura 3(a) – (d)). Para  $t = 7.0 \text{ s}$  (Figura 3(g)) é visto o efeito da reflexão causado pelo dispositivo de galgamento, bem como o comportamento irregular das ondas. Em  $t = 8.0 \text{ s}$  é observada a quebra da onda que chega ao dispositivo de galgamento, dissipando a energia da mesma. Esse fato leva a uma redução significativa da quantidade de água que entra no reservatório. Ainda podemos destacar que o somatório da vazão mássica que entra no reservatório ao longo dos 8 s de simulação é  $\dot{m} = 0.88076 \text{ kg/s}$ , confirmando a habilidade do modelo numérico em prever o fenômeno.

### 4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi realizado um estudo numérico a respeito da eficiência de um modelo tridimensional para o estudo de dispositivos de galgamento. De forma geral foi observada a eficiência do modelo numérico (FVM e VOF) para a predição dos escoamentos transientes de ondas sobre um dispositivo de galgamento.

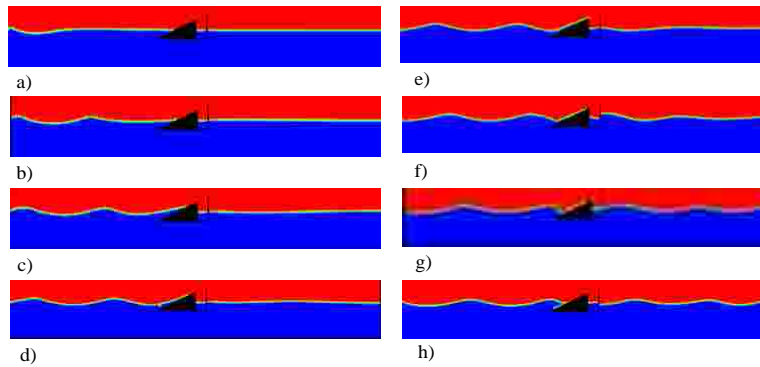


Figura 3: Comportamento transiente do escoamento de ondas sobre o dispositivo de galgamento para os seguintes instantes de tempo: a)  $t = 1$  s; b)  $t = 2$  s; c)  $t = 3$  s; d)  $t = 4$  s; e)  $t = 5$  s; f)  $t = 6$  s; g)  $t = 7$  s; h)  $t = 8$  s.

### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CRUZ, J.; SARMENTO, A. **Energia das Ondas – Introdução aos Aspectos Tecnológicos, Econômicos e Ambientais**. Instituto do Ambiente, 2004.
- DIDIER, E.; NEVES, M.G. A Lagrangian Smoothed Particle Hydrodynamics – SPH – Method For Modelling Waves-Coastal Structure Interaction. In proceedings of the **European Conference on Computational Fluid Dynamics**, Portugal, 2010.
- FLUENT (version 6.3.16), ANSYS, Inc., 2006.
- GOMES, M. N.; ISOLDI, L. A.; OLINTO, C. R. ROCHA, L. A. O.; SOUZA, J. A. Simulação numérica e otimização do comprimento de um dispositivo do tipo coluna d'água oscilante. **Congresso Ibero-Latino-Americano de Métodos Computacionais em Engenharia (CILAMCE)**, Brasil, 2009.
- GOMES, M. N. **Modelagem Computacional de um Dispositivo Coluna d'água Oscilante para Conversão da Energia das Ondas do Mar em Energia Elétrica**, 2010. Dissertação (Mestrado em Modelagem Computacional) – Curso de Pós Graduação em Modelagem Computacional, Universidade Federal do Rio Grande.
- IAHNKE, S. L. P. **Estado da Arte e Desenvolvimento de um Modelo de Simulação Numérica para o Princípio de Galgamento**, 2010. Dissertação (Mestrado em Modelagem Computacional) – Curso de Pós Graduação em Modelagem Computacional, Universidade Federal do Rio Grande.
- LIU, Z., HYUN B., HONG, K. Application of Numerical Wave Tank to OWC air chamber for wave energy conversion. **International Offshore and Polar Engineering Conference**, Canada, 2008a.
- LIU, Z., HYUN B., JIN, J. Numerical Prediction for Overtopping Performance of OWEC, **Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering**, Vol. 11, No.1, 2008b.
- NEVES, M.G.; REIS, M.T.; DIDIER, E. Comparison of wave overtopping at coastal structures calculated with AMAZON, COBRAS-UC and SPHysics. **V European Conference on Computational Fluid Dynamics**, Portugal, 2010.
- RELATÓRIO DO WAVEC. **Potencial e Estratégia de Desenvolvimento da Energia das Ondas em Portugal**. Wave Energy Centre, 2004.
- TEDD, J. KOFOED, J. P. Measurements of overtopping flow time series on the Wave Dragon, wave energy converter, **Renewable Energy**, Vol. 34, 2009.
- TOLMASQUIM, M. **Fontes Renováveis de Energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência: CENERGIA, 2003.