Journal of Integrated Coastal Zone Management
Revista de Gestão Costeira Integrada

http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-568_Bairrao.pdf | DOI: 10.5894/rgci568

Bairrão *et al*. (2016) - Galgamento de uma estrutura portuária protegida por um quebra-mar submerso: o caso do porto de Leixões, Portugal. *Journal of Integrated Coastal Zone Management / Revista de Gestão Costeira Integrada*, 16(2):121-131. DOI: 10.5894/rgci568 Supporting Information

Supporting Information I

Descrição do modelo IH2VOF

IH2VOF é um modelo numérico bidimensional que resolve as equações completas de Reynolds na vertical (Reynolds Averaged Navier-Stokes, RANS) utilizando o método de diferenças finitas.

A formulação matemática de base do modelo pode ser dividida em duas partes: a primeira referente ao movimento do fluido e a segunda referente ao movimento do fluido nos meios porosos.

O modelo IH2VOF assume que as equações RANS, juntamente com um modelo de turbulência apropriado, neste caso o modelo $k-\varepsilon$ (Rodi, 1980; Lin & Liu, 1998), podem descrever o escoamento num meio poroso. Dada a complexidade destes meios, não é viável a aplicação direta das equações de Reynolds ao escoamento. Assim, o modelo resolve as equações através da integração num volume de controlo no meio poroso, considerando o meio como contínuo e com um volume maior que a dimensão dos poros, mas mais pequeno que o comprimento característico da escala do escoamento (Figura 1 e Hsu *et al.,* 2002), reduzindo assim o tempo de cálculo. Por outras palavras, o escoamento no interior de meios porosos é obtido resolvendo as equações *Volume-Averaged* RANS (VARANS), utilizando a relação de Forchheimer, generalizada para escoamentos não estacionários ou variáveis (Hsu *et al*., 2002). Esta equação é função de coeficientes adimensionais de atrito linear e não-linear, associados às parcelas linear e não linear da relação de Forchheimer, respetivamente. Estes coeficientes dependem das características do meio poroso, como a granulometria, forma e orientação das partículas, entre outras, e como tal, devem ser determinados empiricamente (Van Gent, 1995). No entanto, vários autores sugerem valores para estes coeficientes com base em trabalhos experimentais (Lara *et al*., 2006, García, 2007).

Assim, para o cálculo do escoamento no meio poroso com o modelo IH2VOF é necessário definir as propriedades do meio e calibrar os coeficientes adimensionais de atrito linear, a, e não-linear, β. Também o modelo de turbulência tem parâmetros que devem ser ajustados.

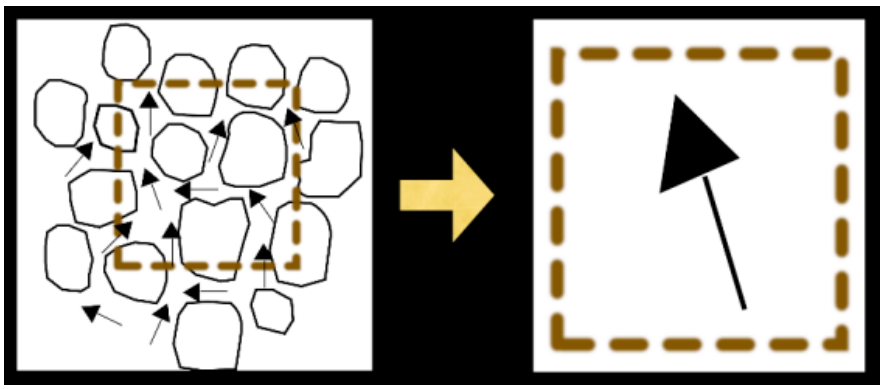


Figura 1 - Média de volume realizada pelo VARANS através do RANS.

O modelo IH2VOF permite simular a maioria dos fenómenos que ocorrem na interação onda-estrutura, nomeadamente reflexão, transmissão, galgamento e rebentação, considerando o escoamento, quer no meio fluido, quer no meio poroso.

O modelo reproduz com bastante precisão os registos de superfície livre e de pressão, tanto dentro como fora da zona de rebentação, permitindo simular estruturas com configurações complexas e domínios da ordem de quinze vezes o comprimento de onda. Este modelo foi já aplicado a casos de estudo de galgamento em quebra-mares de talude à escala do modelo e de protótipo, com bons resultados (Lara *et al*., 2006 e 2008, Losada *et al*., 2008, Neves *et al*., 2008).

A eficiência computacional do modelo é função essencialmente das dimensões da malha. No entanto, a precisão dos resultados exige, na maioria dos casos, uma reduzida dimensão da malha, o que acarreta tempos de cálculo elevados.

Referências

García, R.G. (2007) - *Análisis de la funcionalidad y estabilidad de obras marítimas mediante un modelo numérico basado en las ecuaciones de Reynolds*. 266p., Tesis Doctoral, Universidad de Cantabria, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, España. *Unpublished*.

Hsu, T.J.; Sakakiyama, T.; Liu, P.L.F. (2002) - A numerical model for wave motions and turbulence flows in front of a composite breakwater. *Coastal Engineering*, 46(1):25-50. DOI: 10.1016/S0378-3839(02)00045-5.

Lara, J.L.; Garcia, N.; Losada, I.J. (2006) - RANS modelling applied to random wave interaction with submerged permeable structures. *Coastal Engineering*, 53(5-6):395-417. DOI: 10.1016/j.coastaleng.2005.11.003.

Lara, J.L.; Losada, I.J.; Guanche, R. (2008) - Wave interaction with low-mound breakwaters using a RANS model. *Ocean Engineering*, 35(13):1388-1400. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2008.05.006.

Lin, P.Z.; Liu, P.L.F. (1998) - A numerical study of breaking waves in the surf zone. *Journal of Fluid Mechanics*, 359:239-264. DOI: 10.1017/S002211209700846X.

Losada, I.J.; Lara, J.L.; Guanche, R.; González-Ondina, J.M. (2008) - Numerical analysis of wave overtopping of rubble mound breakwaters. *Coastal Engineering*, 55(1):47-62. DOI: 10.1016/j.coastaleng.2007.06.003.

Neves, M.G.; Reis, M.T.; Losada, I.; Hu, K. (2008) - Wave overtopping of Póvoa de Varzim breakwater: physical and numerical simulations. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 134(4):226-236. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-950X(2008)134:4(226).

Rodi, W. (1980) - *Turbulence models and their application in hydraulics – a state-of-the-art review*. 115p., IAHR Monograph, Delft, The Netherlands. ISBN: 9054101504.

Van Gent, M.R.A. (1995) - *Wave interaction with permeable coastal structures*. 177p., Delft University Press, Delft, The Netherlands (Ph.D. thesis, Delft University of Technology, The Netherlands). ISBN: 90-407-1182-8.

Supporting Information II

Número de registos para diferentes gamas de período de pico (*Tp*) e de altura significativa de onda (*Hs*), entre 1993 e 2003 (adaptado de Lopes, 2013).

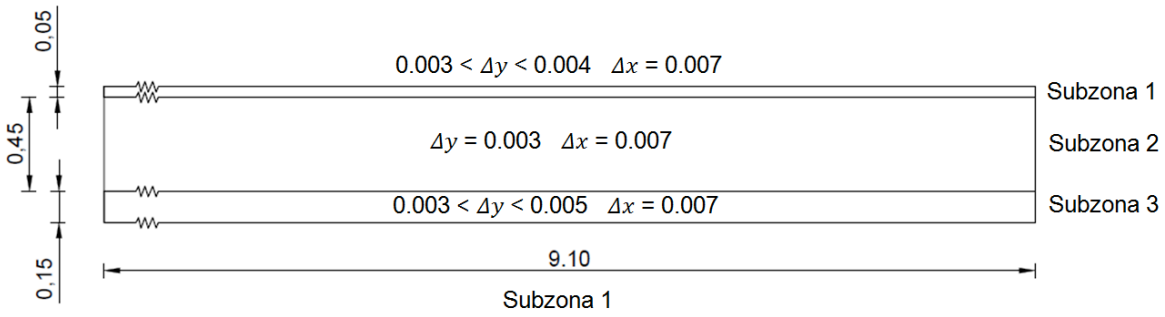
Período de pico (s)	Altura significativa de onda (m)	Nº Registos	% Total
4 a 6	*Hs*<2,5	857	4,6
	2,5<*Hs*<5	0	0,0
	Hs>5	0	0,0
6 a 7	*Hs*<2,5	1 959	10,4
	2,5<*Hs*<5	0	0,0
	Hs>5	0	0,0
7 a 8	*Hs*<2,5	2 422	12,9
	2,5<*Hs*<5	128	0,7
	Hs>5	0	0,0
8 a 10	*Hs*<2,5	4 649	24,7
	2,5<*Hs*<5	908	4,8
	Hs>5	3	0,0
10 a 12,5	*Hs*<2,5	3 044	16,2
	2,5<*Hs*<5	2 169	11,5
	Hs>5	290	1,5
12,5 a 15	*Hs*<2,5	273	1,5
	2,5<*Hs*<5	1 072	5,7
	Hs>5	710	3,8
15 a 20	*Hs*<2,5	16	0,1
	2,5<*Hs*<5	93	0,5
	Hs>5	214	1,1
	Total	18 815	

Referências

Lopes, H.G. (2013) - *Experimental analysis of the interaction between waves and a rubble-mound breakwater protected by a detached breakwater, using video imagery techniques. The port of Leixões case*. 191p., Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal. *Unpublished*.

Supporting Information III

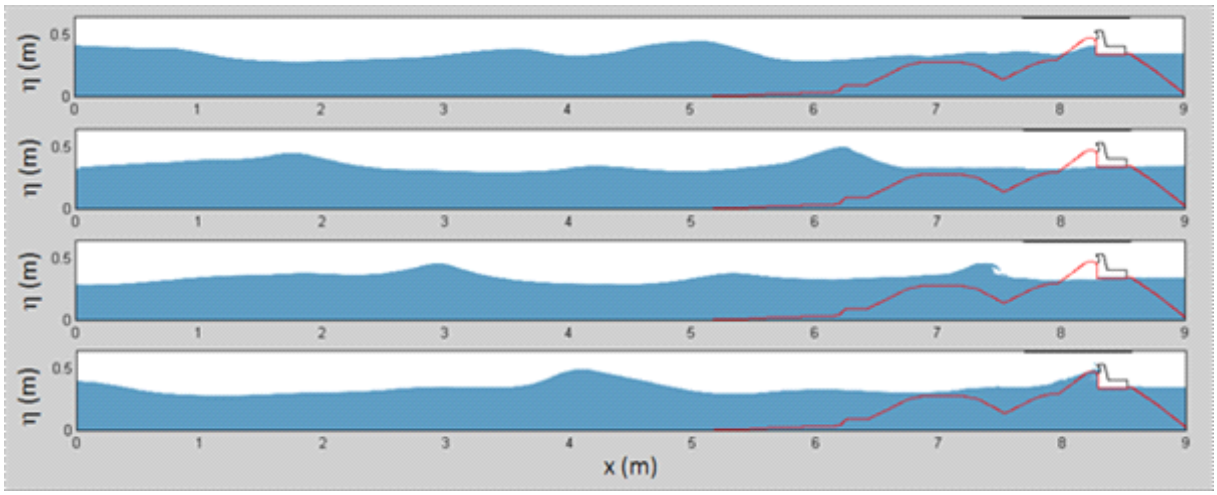
Domínio e discretização da malha (dimensões em metros).



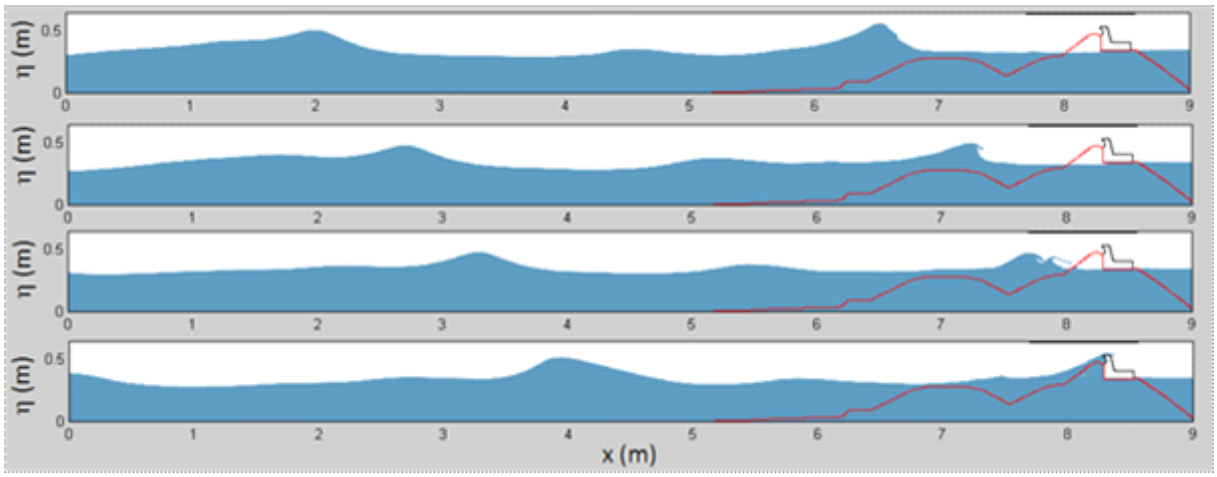
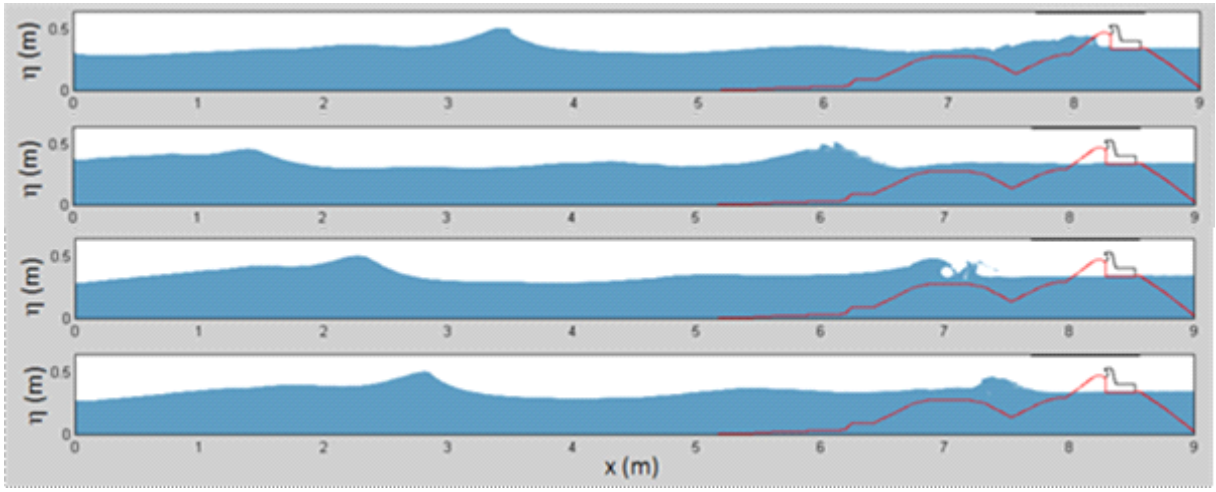
Supporting Information IV

Resultados do modelo IH2VOF: superfície livre em diferentes instantes para a Configuração 1 e para a altura de onda: a) H = 0,133 m; b) H = 0,150 m; c) H = 0,167 m.

a)



b)



c)