



SIMULAÇÃO CFD DE AÇÕES HIDRODINÂMICAS SOBRE UM QUEBRA-MAR SEMICIRCULAR PERFURADO

Ana GOMES¹, José PINHO², Tiago VALENTE³, José ANTUNES DO CARMO⁴

1. Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, carolina_gomes@live.com

2. Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, jpinho@civil.uminho.pt

3. CiviTest – Pesquisa de Novos Materiais para a Engenharia Civil, Lda, tiagovalente@civitest.com

4. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, jsacarmo@dec.uc.pt

RESUMO

As obras de defesa costeira, como os quebra-mares, são estruturas que têm como objetivo suportar e dissipar a energia dinâmica da agitação marítima e, assim, proporcionar condições de estabilidade na costa, protegendo portos, praias e outras infraestruturas costeiras. Os quebra-mares semicirculares (SBW) têm vindo a ser aplicados em diferentes locais do mundo devido às suas vantagens em termos estéticos e elevado desempenho estrutural. De modo a complementar estudos de modelação física, testar parâmetros e/ou analisar diferentes cenários com custos e tempos de análise comportáveis recorre-se frequentemente à simulação numérica dos processos físicos para estudos relacionados com o desempenho hidrodinâmico e estrutural de estruturas marítimas. O presente trabalho apresenta resultados da aplicação de uma ferramenta CFD para o estudo da estabilidade de um quebra-mar semicircular perfurado sobre uma base de fundação TOT. O modelo é utilizado para determinar o peso crítico necessário para resistir ao deslizamento, tendo em consideração os efeitos da profundidade da água e diferentes características da agitação incidente.

Palavras-Chave: Quebra-mar semicircular, simulação numérica, Flow-3D

1. INTRODUÇÃO

Os quebra-mares são estruturas de proteção geralmente construídas na baixa praia, ou na praia submersa, para proteger praias, arribas, dunas ou áreas portuárias da ação da agitação marítima. Nas últimas décadas, os quebra-mares semicirculares têm despertado interesse na comunidade científica, devido às suas vantagens comparativamente com os quebra-mares convencionais. O quebra-mar semicircular foi desenvolvido no Japão no início dos anos 90, conforme relatado por Tanimoto e Takahashi (1994), e entre 1992 e 1993 foi construído no porto de Miyazaki um protótipo de quebra-mar semicircular de 36 m de comprimento. Os quebra-mares semicirculares (SBW) são normalmente construídos em betão armado pré-moldado, e são compostos por caixões semicirculares ocos perfurados na face exposta e uma laje de fundo assente sob uma base de fundação TOT (enrocamento de Todo o Tamanho). Apresentam-se mais estáveis, eficientes e apresentam um custo inferior aos quebra-mares convencionais, sendo adequados para solos de fundação de baixa capacidade resistente (Dhinakaran *et al.*, 2009). As ondas que atingem um SBW emerso, perfurado na superfície exposta à agitação, são parcialmente refletidas, havendo um fluxo para o interior do quebra-mar através das perfurações, dissipando energia e diminuindo, assim, a geração de reflexões significativas.

Os estudos anteriores de quebra-mares semicirculares perfurados, baseados em métodos experimentais, concentraram-se essencialmente no cálculo de parâmetros e parâmetros hidrodinâmicos, como a pressão, reflexão, *runup*, *rundown* e aspetos relacionados com a dissipação da energia (ex. Goda e Suzuki, 1976; Sasajima *et al.*, 1994; Sundar e Raghun, 1997; Dhinakaran *et al.*, 2002, 2009; Nishanth, 2008).

As ferramentas de modelação CFD (*Computational Fluid Dynamics*) permitem simular problemas de interação entre fluidos e estruturas, permitindo estimar as ações da agitação sobre estruturas de geometria complexa. O programa FLOW3D apresenta uma elevada capacidade de simulação de problemas de dinâmica de fluidos, incluindo a possibilidade de simular diferentes tipos de agitação em domínios de geometrias complexas que incluam objetos sólidos tridimensionais. Resolve as equações de Reynolds (RANS) com um método numérico eficiente e contempla diferentes modelos de turbulência.

O presente trabalho foca-se na avaliação da capacidade do modelo computacional FLOW3D na simulação de quebra-mares semicirculares perfurados, tendo por base resultados experimentais obtidos por Hedge *et al.* (2018).

2. MÉTODOS

2.1. Estudo experimental de um quebra-mar semicircular perfurado

Hedge *et al.* (2018) recorreram a um modelo físico laboratorial para avaliar a estabilidade de um quebra-mar semicircular perfurado. Foi realizado um conjunto de experiências com o objetivo de determinar o peso do quebra-mar necessário para resistir ao deslizamento, tendo em consideração o efeito da profundidade da água, a altura de onda e o respetivo período. Os autores recorreram a um canal equipado com um batedor de ondas, de modo a simular a agitação marítima. Na Figura 1 são apresentados os detalhes de um modelo de SBW perfurado emerso, tendo uma secção transversal com raio de 0.6 m. O modelo foi posicionado sobre uma base de fundação TOT, com uma espessura de 0.05m. O grau de perfuração foi de $S/D=8$, com um diâmetro de 0.016m, em que S é o espaçamento entre centros da perfuração e D é o diâmetro dos furos.

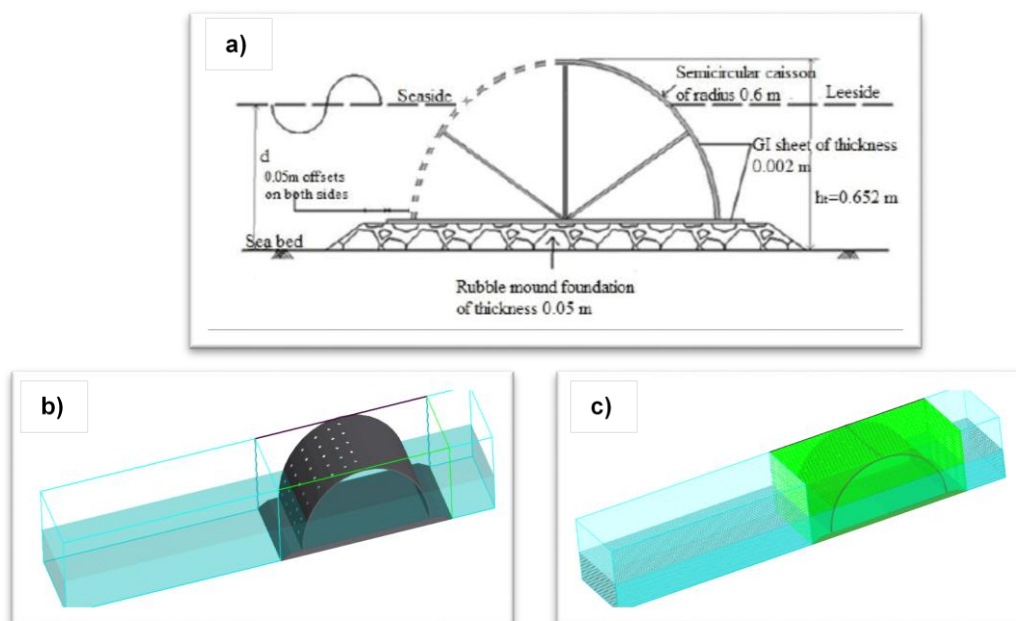


Figura 1- a) Secção transversal do modelo de quebra-mar semicircular com fundação de TOT, inclinação de 1:2 (adaptado de Hedge *et al.*, 2018); b) Modelo do SBW; c) malha do modelo.

2.2. Modelo computacional Flow-3D

O modelo físico foi implementado no modelo computacional FLOW3D (Hirt and Nichols, 1981). Este programa resolve as equações de Reynolds (RANS) utilizando um método numérico robusto. Foram considerados, para além da gravidade, dois processos físicos: (a) um modelo de turbulência, tendo sido selecionado um dos modelos de duas equações ($k-\epsilon$) e (b) objetos imersos em movimento para simular o SBW e, consequentemente, obter as forças resultantes atuantes.

A geometria tridimensional do modelo de quebra-mar foi definida numa ferramenta CAD e exportada para o programa Flow-3D. A precisão dos resultados e o tempo de simulação dependem da dimensão das células, sendo importante minimizar o número de células, mas simultaneamente é necessário considerar uma resolução espacial suficiente reduzida para ser possível simular todos os padrões dos fluxos relevantes e todos os pormenores da geometria. Adotaram-se, assim, malhas com resoluções diferentes ao longo do domínio concentrando-se a maior resolução na proximidade da estrutura (Figura 1).



A condição definida na fronteira de montante corresponde à agitação incidente, a jusante foi imposta uma fronteira de absorção da agitação para evitar ou mitigar os efeitos da reflexão. O tipo de fronteira de montante foi definido em conformidade com a altura da onda (H_i), período (T) e profundidade média da água no domínio.

3. RESULTADOS

Na Figura 2 apresentam-se resultados da evolução da superfície livre, pressão e energia turbulenta com representação 3D para três instantes da mesma simulação. Apresentam-se ainda os valores das componentes das resultantes das pressões para duas das experiências numéricas realizadas.

4. CONCLUSÃO

A metodologia seguida para a quantificação das ações sobre um quebra-mar semicircular emerso perfurado na superfície exposta à agitação mostrou-se eficiente relativamente à quantificação da resultante das forças atuantes, conforme evidenciado pelos resultados obtidos, mostrando a eficácia do modelo computacional Flow-3D na resolução de problemas de interação fluido-estrutura. Os resultados numéricos serão comparados com os resultados experimentais e sintetizados de modo a poderem ser utilizados em pré-dimensionamentos deste tipo de estruturas de defesa.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao projeto EcOffShorBE, Eco Offshore Built Environment, NORTE-01-0247-FEDER-037417, o apoio concedido para a realização deste estudo, possibilitando o desenvolvimento e aplicação de ferramentas de simulação numérica para estudos relacionados com o desempenho hidrodinâmico e de fluxo em estruturas marítimas, contribuindo para um melhor conhecimento da interação fluido-estrutura. Este estudo foi financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) através do Programa Operacional Regional do Norte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Dhinakaran, G., Sundar, V. and Graw, K., Effect of perforations and rubble mound height on wave transformation characteristics of surface piercing semicircular breakwaters, *J. Ocean Engg.*, 36 (15) (2009), 1182-1198.
- Dhinakaran, G., Sundar, V., Sundaravadivelu, R. and Graw, KU, Hydrodynamic characteristics of waterproof and seaside perforated SBW, *Leipzig Annual Civil Engineering Report*, 6 (2001), pp.1-8.
- Goda and Suzuki, 1976, Estimation of incident and reflected waves in random wave experiments, *Proceedings of the 15th Coastal Engineering Conference*, 1 (1976), pp. 828-845
- Hegde, A. V., Mohan, S., Pinho, J. L., & Sharhabeel, P. S. (2018). Physical model studies on the stability of emerged seaside perforated semicircular breakwaters.
- Hirt, C. W., & Nichols, B. D. (1981). Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. *Journal of computational physics*, 39(1), 201-225.
- Nishnath, N., Hydrodynamic performance characteristics. of semicircular breakwater, M. Tech Thesis, NITK, Surathkal, Mangaluru, Karnataka, India. 2008
- Sasajima, H., Koizuka, T., and Sasayama, H., Field demonstration test of a semicircular breakwater, *Proc., HYDROPORTR94*, PHRI, Yokosuka, Japan, 593-610, 1994
- Sundar, V., and Raghu, D., Wave induced pressures on semicircular breakwater, *Proc., 2nd Indian National Conf. on Harbor and Ocean Engineering*, Cochin Univ. of Science and Technology, Thiruvananthapuram, India, 278-287, 1997.
- Tanimono, K. and Takahashi, S, Design and construction of caisson breakwaters - the Japanese experience, *Coastal Engineering*, 22 (1-2) (1994), 57-77.

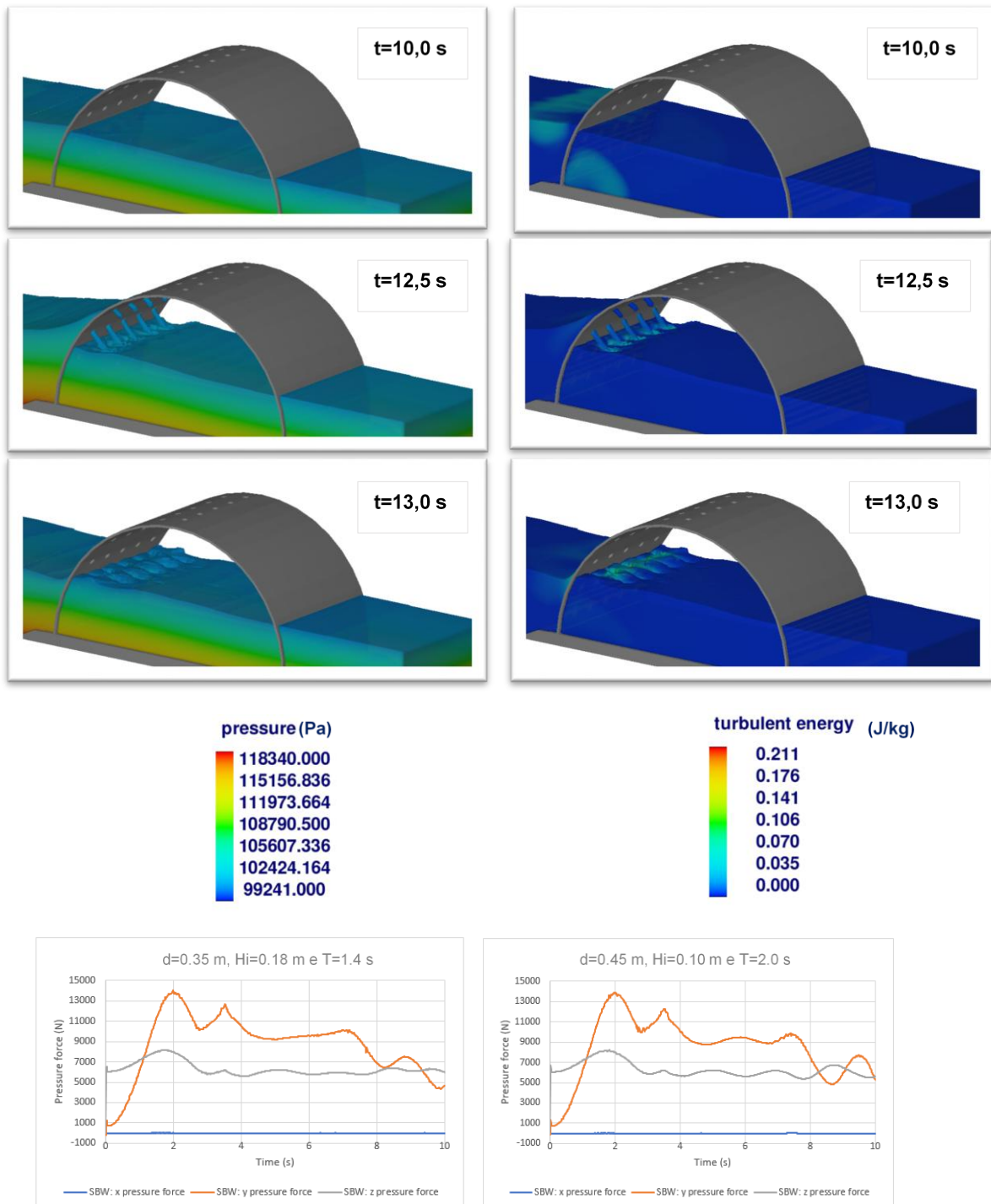


Figura 2 – Resultados de pressão e energia turbulenta para diferentes instantes (10.0 s, 12.5 s e 13.0 s) de uma das simulações realizadas. Resultantes das forças de pressão para uma simulação com profundidade $d=0.35$ m, altura de onda $H_i=0.18$ m e período de onda $T=1.4$ s (gráfico inferior esquerdo), e resultantes das forças de pressão para uma profundidade $d=0.45$ m, altura de onda $H_i=0.1$ m e período de onda $T=2$ s (gráfico inferior direito).