SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA PROPAGAÇÃO DE ONDAS SOBRE UM BANCO NA FORMA DE ELIPSÓIDE SUBMERSO

Rodrigo C. Lisboa
Acadêmico do curso de Engenharia Civil Costeira e Portuária
Universidade Federal do Rio Grande - FURG
email: lisboa_r@hotmail.com
Paulo R. F. Teixeira
Professor do curso de Engenharia Civil Costeira e Portuária
Universidade Federal do Rio Grande - FURG
email: pauloteixeira@furg.br

Resumo. *Neste trabalho avalia-se o desempenho do modelo Delft3D na simulação de ondas sobre um banco na forma de elipsóide submerso. Para isso, é usado o módulo de propagação de ondas baseado na conservação da energia espectral (SWAN) e o módulo hidrodinâmico (FLOW) do modelo de circulação em águas rasas Delft3D. Os resultados obtidos na simulação numérica são comparados com os experimentais. Foram selecionados seis tipos de ondas espectrais incidentes, sendo que duas sofrem o processo de rebentação. De um modo geral, os resultados obtidos pelo Delft3D mostraram boa concordância com os resultados experimentais. Nos casos em que há rebentação, o acoplamento entre o módulo de propagação e o módulo hidrodinâmico mostrou boa concordância no caso de espectro estreito. Por outro lado, no caso de espectro largo, o resultado obtido com o acoplamento é semelhante com o resultado obtido somente com a propagação de ondas.*

Palavras-chave: *Hidráulica Marítima. Modelagem Numérica. Delft3D.*

1. INTRODUÇÃO

Estimar a refração e a difração de ondas que se propagam sobre uma complicada batimetria é um problema persistente em engenharia costeira (Vicent e Briggs, 1989). As ondas quando se propagam sobre bancos submersos sofrem os efeitos de refração, difração, empolamento e rebentação. A dificuldade de reproduzir estes fenômenos pelo uso de modelos numéricos serve de motivação para a validação de metodologias com o objetivo de alcançar maior precisão e eficiência computacional.

Neste trabalho, serão testados o módulo SWAN e o SWAN combinado com o módulo hidrodinâmico (*FLOW*) do modelo Delft3D em casos experimentados por Vicent e Briggs. (1989) de ondas sobre um banco na forma de elipsóide submerso (*submerged shoal*) no *Coastal Engineering Research Center* (CERC).

Serão testados dois grupos de ondas: O primeiro grupo não sofrerá o fenômeno da rebentação ao passar sobre o banco, enquanto que o segundo grupo sofrerá rebentação. O espectro de frequência TMA para águas rasas e o espectro de direção com a função de espalhamento direcional serão usados nas simulações.

Yoon et al (2004) e Choi et al (2009) constataram que a combinação entre o modelo de propagação de ondas com o modelo hidrodinâmico proporcionavam resultados melhores nos casos onde a rebentação de ondas está presente. Segundo estes pesquisadores, a consideração das correntes induzidas modifica o foco das ondas a sotamar do banco e cria uma zona de

sombra responsável pelo relativo decréscimo da altura de onda nesta região.

2. MODELAGEM NUMÉRICA

O Delft3D é um pacote de modelagem para estudar a hidrodinâmica (*FLOW*), transporte de sedimentos, mudanças morfológicas, qualidade d'água e ondas (SWAN), sendo capaz de reproduzir as interações entre esses processos em ambientes costeiros, fluviais e estuarinos.

O módulo hidrodinâmico (*FLOW*) resolve um sistema de equações de águas rasas em modo bi-dimensional (integrado na vertical) e tri-dimensional e calcula o fluxo e transporte resultante de forçantes meteorológicas e de maré. Este módulo resolve a equação de Navier-Stokes para um fluido incompressível, levando em conta a aproximação de águas rasas e de Boussinesq.

Já o módulo SWAN (*Simulation WAves Nearshore*) é um modelo espectral de terceira geração onde as ondas são descritas por meio da evolução do espectro de energia. O SWAN apresenta esquemas numéricos implícitos para a simulação que resulta em um menor tempo computacional e a possibilidade de fazer simulações com o passo de tempo mais elevado.

3. ESTUDO DE CASO E CONDIÇÕES DE SIMULAÇÃO

Vicent e Briggs (1989) desenvolveram experimentos com ondas monocromáticas e espectrais sobre um banco na forma de um elipsóide submerso usando um gerador de ondas DSWG (*Directional Spectral Wave Generator*) no *Coastal and Hydraulics Laboratory* do *US Army Engineer Research and Development Center*. O esquema do tanque utilizado para realização dos experimentos é mostrado na Fig. 1.

O banco na forma de um elipsoide é caracterizado por um raio maior de 3,96m e um raio menor de 3,05m, além disso, possui altura de 0,3048m em seu centro.

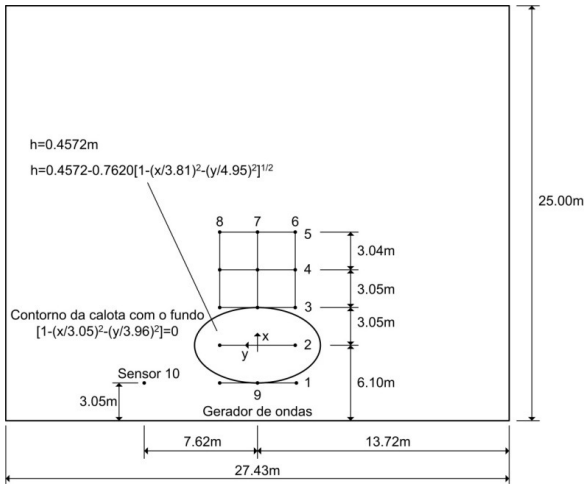

Figura 1- Esquematização do domínio utilizado por Vicent e Briggs (1989)

No presente trabalho, serão realizadas simulações numéricas com o módulo SWAN e o SWAN acoplado com o módulo hidrodinâmico (*FLOW*) do modelo Delft3D para este caso experimental.

Selecionaram-se seis diferentes tipos de ondas com espectro direcional e de frequência, que são as que mais se aproximam das ondas reais. As ondas escolhidas são divididas em dois grupos, no primeiro grupo estão as ondas que não sofrem rebentação e no segundo grupo têm-se as ondas que sofrem rebentação ao passar sobre o banco. Todas as ondas simuladas possuem período de T=1,3s. Na Tab. 1 encontram-se as características das ondas simuladas.

Tabela 1 Características das ondas simuladas

Nº do teste	Nome do caso	Altura (m)	α	γ	σ_m
Sem rebentação					
1	N3	0,0254	0,00155	2	10
2	B3	0,0254	0,00155	2	30
3	N4	0,0254	0,00047	20	10
4	B4	0,0254	0,00047	20	30
Com rebentação					
5	B5	0,19	0,08650	2	10
6	N5	0,19	0,08650	20	30

Nesta tabela a letra inicial N indica espectros direcionais estreitos (*Narrow*) e a letra inicial é B indica espectros direcionais largos (*Broad*). Os casos 1, 2 e 5 possuem espectro de frequência largo (fator de aprimoramento de pico $\gamma = 2$), enquanto que

os casos 3, 4 e 6 possuem este espectro estreito ($\gamma = 20$).

O espectro direcional estreito tem espalhamento direcional de $\sigma_m = 10°$ e o largo tem $\sigma_m = 30°$. Na Fig. 2 é mostrado uma comparação entre os espectros impostos na simulação numérica com dados amostrados por Vicent e Briggs (1989).

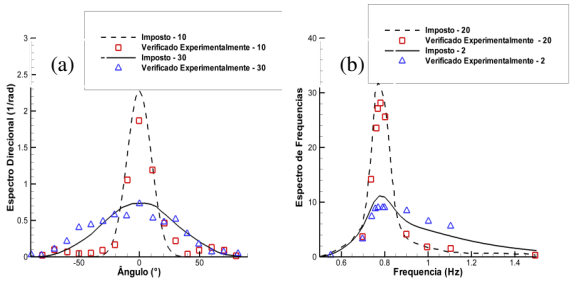

Figura 2 - Comparação entre os espectros impostos na simulação com os dados amostrados por Vicent e Briggs (1989). (a) Espectro Direcional e (b) espectro de frequências.

Para a geração do espectro bidimensional foram usado 61 direções ao longo de 180° (de -90° a 90°), indicando uma grade direcional de $\Delta\theta=3^o$ e 41 frequências em uma faixa de 0,5 à 1,5Hz. Assim o espaço espectral fica definido por 2501 bins.

O domínio computacional gerado para a propagação de ondas é o mesmo domínio que foi realizado no experimento (Fig. 1). A geração da malha foi executada no módulo *RGFGRID* que é o gerador de malha do programa Delft3D. A grade utilizada é retangular e possui um espaçamento contínuo de 0,2m x 0,2m, o mesmo proposto por Choi *et al* (2009). No módulo *QUICKIN*, foi feito a interpolação dos dados batimétricos amostrados nos pontos da grade. Aplicou-se a condição de absorção nas fronteiras leste, oeste e norte e na fronteira sul foi aplicado à condição de entrada de onda no domínio.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram obtidos resultados da altura significativa das ondas em relação à imposta na entrada do domínio. Compararam-se os valores da simulação numérica com os valores experimentais na seção 4, que se encontra a 6,1m do centro do banco (Fig. 1).

A Fig. 3 mostra os resultados numéricos e experimentais para os caos sem rebentação (N3, N4, B3 e B4). Já os resultados da série de ondas que sofrem rebentação (N5 e B5) são mostrados na Fig. 4.

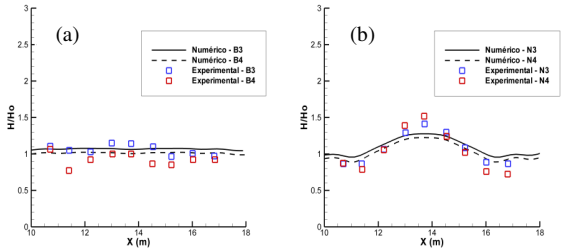

Figura 3 – Alturas significativas na seção 4. (a) B3 e B4 e (b) N3 e N4.

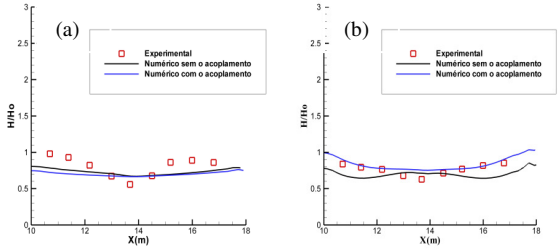

Figura 4 – Alturas significativas na seção 4. (a) B5 e (b) N5

De um modo geral para os casos que não envolvem o fenômeno da rebentação (B3, B4, N3 e N4) o SWAN conseguiu obter bons resultados. Não foi simulado o módulo hidrodinâmico acoplado ao modelo de propagação de ondas para estes casos, pois a geração de correntes neste estudo de caso deve-se a rebentação.

Quanto aos casos que envolvem uma rebentação parcial sobre o banco, nota-se certa divergência entre os resultados experimentais e numéricos quando não há o acoplamento do módulo hidrodinâmico na propagação de ondas. Mostrando a dificuldade do SWAN em reproduzir os fenômenos não lineares presente na rebentação, em especial a interação onda-corrente.

Analisando os resultados numéricos dos casos em que houve o acoplamento da propagação de ondas com o módulo hidrodinâmico percebe-se uma melhora no caso em que a onda possui espectro de direção e frequência estreito (N5). Tratando-se do caso em que a onda possui espectro de direção e frequência largo (B5) os resultados obtidos somente com o módulo SWAN são semelhantes aos obtidos com o acoplamento.

As correntes induzidas por ondas mudam o foco das ondas a sotamar do banco e criam uma zona de sombra responsável pelo relativo decréscimo de altura nesta região (Yoon et al 2004).

Porém, no caso B5 (espectros largos), a energia está mais distribuída formando as rebentações são menos intensas e conseqüentemente, a velocidade da corrente será de menor magnitude. Por isso é que os resultados com e sem o acoplamento são semelhantes.

Já no caso N5, onde os espectros são estreitos, a rebentação tem maior intensidade, por isso que os resultados com e sem acoplamento são diferentes.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho, avaliou-se o desempenho do módulo SWAN e do mesmo acoplado com o módulo hidrodinâmico (FLOW) do modelo de circulação Delft3D na propagação de ondas sobre um banco na forma de elipsóide submerso. O objetivo principal foi analisar o desempenho do SWAN e do acoplamento do mesmo com o módulo hidrodinâmico para este caso.

Foram escolhidos seis diferentes tipos de onda incidente para a simulação numérica, sendo que duas sofrem o fenômeno da rebentação. Os resultados numéricos de altura significativa adimensionalizada foram comparados com os resultados experimentais em uma seção a sotamar do banco.

Os resultados sem rebentação mostraram uma boa concordância com os resultados experimentais. Tratando-se dos casos com rebentação o acoplamento do módulo hidrodinâmico com o de propagação de ondas contribuiu apenas para o caso de espectros estreitos. No caso de espetros largos os resultados são semelhantes aos obtidos somente com a propagação de ondas.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece o apoio da Universidade Federal do Rio Grande - FURG pela concessão da bolsa e o segundo autor o fomento de bolsa de produtividade de pesquisa do CNPq.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Choi, J., Lim, L. H., Lee, J. I., Yonn, S. B. Evolution of waves and currents over a submerged laboratory shoal. **Coastal Engineering**, n.56, p. 297-312, 2009.

Reeve, D., Chadwick, A., Fleming, C. **Coastal engineering: processes, theory and design practice**. Spon Press. Publishers, 2004. 21-111p.

Vicent, C.L., Briggs, M.J. Refraction – diffraction waves over a mound. **Jounal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering** V.2, n.115, p. 269-284,.1989.

Yoon, S.B., Cho, Y.W., Lee, C. Effects of breaking-induced currents on refraction-diffraction of irregular waves over submerged shoal, **Ocean Engineering,** V.31, p. 633-652, 2004.