



V SEMINÁRIO E WORKSHOP EM ENGENHARIA OCEÂNICA

Rio Grande, 07 a 09 de Novembro de 2012

Caracterização da Agitação Marítima com Base no Modelo SWAN Aplicado ao Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte, Área de Exploração Petrolífera na Bacia Potiguar

João Ângelo^{1,2}, Ada C. Scudelari³, Conceição J. Fortes¹, Maria de Fátima Matos³, António Pires Silva²,
Venerando E. Amaro³

¹Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil, 101, 1750-044 Lisboa, Portugal
E-mail: jfortes@lneec.pt

²Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, Lisboa, Portugal
E-mail: jpangelo@hotmail.com, aps@ist.utl.pt

³Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Campus Universitário s/nº, Lagoa Nova, C.P. 1596, CEP 59078-970, Natal, RN, Brasil
E-mail: ada@ct.ufrn.br, fatimaalves@geologia.ufrn.br, amaro@geologia.ufrn.br

RESUMO

No presente trabalho, avalia-se o desempenho do modelo espectral SWAN na caracterização da agitação marítima no litoral setentrional do Rio Grande do Norte, entre os municípios de Macau e Guamaré, durante os períodos em que se efectuaram três campanhas de medição de ondas e correntes nessa zona: 11 a 12 e 20 a 27 de Dezembro/2010 e 15 a 22 de Fevereiro/2011.

Assim, partindo dos resultados do modelo de previsão da agitação marítima de larga escala, WAVEWATCH III, dos dados de vento recolhidos na estação meteorológica de Macau e dos dados de maré da estação maregráfica de Macau para as datas referidas, foram efetuados cálculos com o modelo SWAN em regime estacionário e compararam-se as simulações com as medições in situ. Os resultados obtidos permitem aferir o desempenho do modelo numérico avaliando as suas potencialidades e limitações, e contribuem para ampliar o conhecimento da hidrodinâmica desta região costeira no Nordeste do Brasil.

Palavras-chave: Ondas de vento, Medições in situ, Modelação numérica, Nordeste do Brasil, SWAN.

1. INTRODUÇÃO

A região entre os municípios de Macau e Guamaré, no litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil (Figura 1) concentra importantes atividades de exploração de petróleo e gás natural, indústria de sal, carcinicultura e pesca, além de outras iniciativas de menor escala. A indústria petrolífera, em particular, concentra-se em áreas onshore, em águas rasas (entre as cotas de 6 e 30 metros de profundidade) e possui o único campo de exploração no país com bases instaladas na zona de estirâncio de sistemas de ilhas barreiras atuais, sob o frequente impacto de ondas, correntes e marés. Esta região apresenta-se, portanto, como uma área de intensa instabilidade morfodinâmica, pronunciada pelos processos de erosão e acreção da linha de costa, resultantes das ações constantes das ondas, das variações do nível do mar, das condições climáticas, das atividades neotectônicas presentes na Bacia Potiguar e do baixo suprimento de sedimentos carregados pelos rios ao oceano, que controlam o desenvolvimento de feições predominantemente erosivas na faixa litorânea (Souto et al. 2006; Nascimento, 2009).

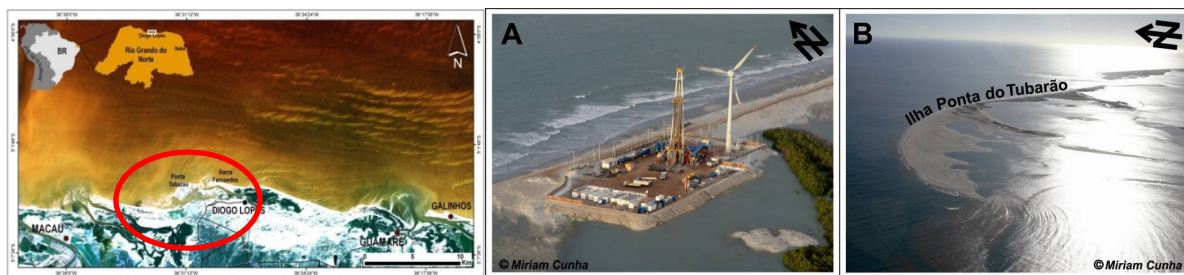


Figura 1 – Localização da área de estudo no litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil, entre os municípios de Macau a Guararé; em (A) as bases de exploração petrolífera instaladas na zona de estirâncio de um sistema de ilhas barreiras, como a Ilha da Ponta do Tubarão em (B). Fotos: Miriam Cunha, acervo GEOPRO/DG/UFRN.

Atualmente, a região vem sendo alvo de vários estudos interdisciplinares que procuram contribuir para o entendimento dos processos costeiros locais, processos que são o resultado da acção conjunta de ondas, marés, correntes, agentes meteorológicos e climáticos. Em particular, tem sido dada especial atenção ao conhecimento da agitação marítima local uma vez que as ondas são o principal agente que determina, ao longo do tempo, a modelação dos fundos e o transporte de sedimentos. A monitorização in situ é, sem dúvida, uma técnica essencial para a caracterização dos parâmetros de ondas numa dada região costeira, pois os dados obtidos são o resultado dos vários fenómenos que afetam a propagação de ondas que atingem a referida zona costeira, dos quais se salientam os associados à variação da profundidade, à transmissão de energia ao longo da crista da onda, à ocorrência de rebentação, à dissipação de energia por atrito de fundo, à sua reflexão total ou parcial e à existência de obstáculos. Nesse sentido, foi implementado um programa de monitoramento ambiental da região em estudo, pela equipe de trabalho do Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geologia, da Universidade Federal do Rio Norte. Neste programa, incluíram-se várias campanhas com vista à medição de ondas e correntes, desde Novembro/2009, para a caracterização da agitação marítima local. No entanto, estas campanhas são pontuais e de limitada duração, pelo que tem de ser complementadas com estudos de modelação numérica para caracterizar e avaliar no longo prazo os efeitos da agitação na zona costeira em consideração.

Nesse sentido, um dos modelos mais utilizados para este fim é o SWAN (*Simulating Waves Nearshore*), (Booji et al., 1999, SWAN Team, 2008), que é um modelo de domínio público em constante desenvolvimento pela *Delft University of Technology* da Holanda, que fornece as estatísticas características das ondas através da evolução do espectro direccional junto à costa. Mas, como qualquer modelo numérico, são baseados em aproximações e hipóteses, apresentando, por isso, limitações na descrição precisa das ondas na zona em estudo. Além disso, este tipo de modelos envolve uma série de parâmetros livres que têm de ser calibrados para cada caso de estudo, recorrendo, por exemplo, a dados adquiridos in situ.

Em Matos et al. (2011, 2012) efetuaram-se as primeiras aplicações em modo estacionário do modelo SWAN na zona entre Macau e Guararé, em especial na região do estuário de Diogo Lopes, sem considerar a variação da maré e nem efetuar qualquer ajustamento dos parâmetros do modelo (i.e., considerando os valores sugeridos no manual). Os resultados foram comparados com os dados medidos em duas campanhas realizadas entre 20 a 27 de Dezembro/2010 e 15 a 22 de Fevereiro/2011 e mostraram que o modelo conseguiu reproduzir o andamento geral e a ordem de grandeza das alturas significativas e períodos de onda ao longo desses períodos. Para estas grandezas, os valores numéricos se mostraram mais alisados e na maioria dos casos inferiores aos medidos. Em relação à direcção de onda, o modelo apresentou maiores dificuldades na simulação dos valores medidos.

Em Ângelo et al. (2012) analisou-se comparativamente a aplicação do modelo numa semana em Dezembro/2010, em regimes estacionário e não estacionário, a influência do valor do coeficiente de atrito por dissipação no fundo da expressão semi-empírica de JONSWAP (Hasselmann et al., 1973) e da formulação da dissipação por *whitcapping* (Komen et al., 1984 e van der Westhuysen et al., 2007). As aplicações foram realizadas considerando a variação do nível de maré. Os resultados mostraram que, em modo estacionário, a adopção da formulação de van der Westhuysen et al. (2007) e o coeficiente de atrito de fundo igual a $0.015 \text{ m}^2 \text{ s}^{-3}$ foram as condições que proporcionaram uma maior aproximação das simulações numéricas às medições.

No presente trabalho, o modelo SWAN é aplicado para as referidas condições, em regime estacionário e para as datas das campanhas realizadas em 11 a 12 e 20 a 27 de Dezembro/2010 e 15 a 22 de Fevereiro/2011. Assim, nas próximas secções descrevem-se sucintamente as medições in situ efectuadas, as condições de aplicação do modelo SWAN para três períodos distintos, os resultados numéricos obtidos, as análises comparativas e a consequente avaliação do modelo na zona de estudo.

2. MEDIÇÕES

2.1 Dados das Campanhas

Os dados referentes aos parâmetros de ondas foram obtidos por meio de perfiladores acústicos ADV, fundeados nos locais a duas profundidades de 5 m (PT1) e 9 m (PT2), Figura 2. As características das campanhas são as descritas na Tabela 1. Por razões técnicas relativas ao ADV no ponto mais junto à costa (PT1), apenas se

possuem medições simultâneas nos dois pontos nos dias 11 e 12. Já na semana de 20 a 27, apenas há registos do ponto mais ao largo (PT2) e na semana de 15 a 22 de Fevereiro/2011 apenas há registos do ponto mais junto à costa (PT1).

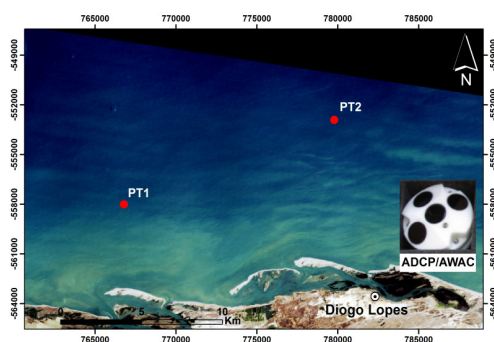


Figura 2 – Localização dos pontos de medição.

Tabela 1 – Descrição das campanhas de aquisição dos dados.

Campanha	Início	Fim	Localização
1	11/12/2010	12/12/2010	PT1 (766768 E, 9441999 N), Prof. 5 m PT2 (769765 E, 9447091 N), Prof. 9 m
2	20/12/2010	27/12/2010	PT2 (769765 E, 9447091 N), Prof. 9 m
3	15/02/2011	22/02/2011	PT1 (766768 E, 9441999 N), Prof. 5 m

2.2 Ventos

No período correspondente às medições, a velocidade e direção dos ventos observados na estação Meteorológica de Macau, localizada na área do Município de Macau (Lat. 5°16.00'S/Long. 35°48.75'W), são as apresentadas nas Figura 3, 4 e Figura 5.

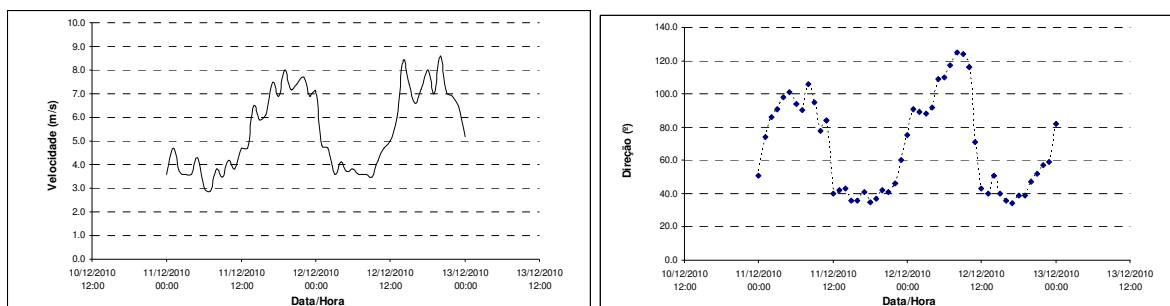


Figura 3 – Características dos ventos (vel (m/s), Dir (°)) para 11 a 12 de Dezembro/2010.

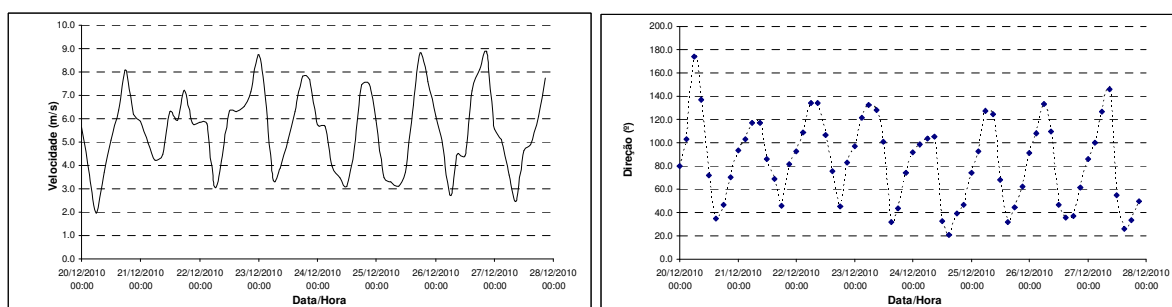


Figura 4 – Características dos ventos (vel (m/s), Dir (°)) para 20 a 27 de Dezembro/2010.

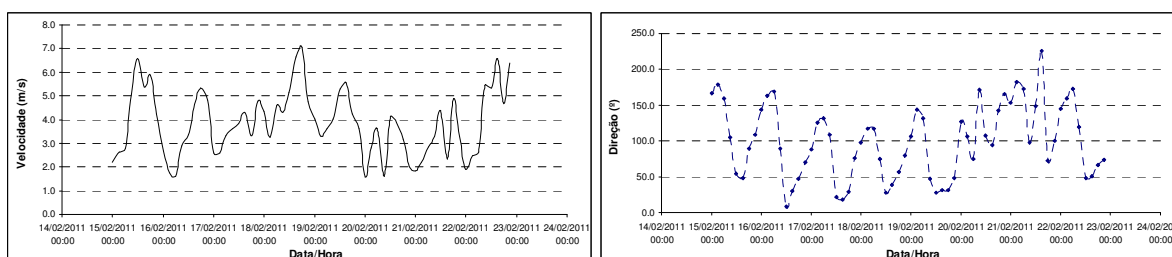


Figura 5 – Características dos ventos (vel (m/s), Dir (°)) para 15 a 22 de Fevereiro/2011.

2.3 Marés

Na Figura 6 apresentam-se os valores do nível da maré, obtidos para os períodos de 11 a 12 e 20 a 27 de Dezembro/2010 e de 15 a 22 de Fevereiro/2011 na estação marégrafica de Macau (Lat. 05°06.0'S / Long. 036°40.4'W). A maré local é semi-diurna, onde o nível médio (Z0) estabelecido é 139 cm acima do RN (Nível de Redução) com médias de praia-mares de sizígia (MHWS) de 234 cm acima do RN, média de praia-mares de quadratura de (MHWN) de 221 cm, média de baixa-mares de sizígia (MLWS) de 43 cm abaixo do RN e média das baixa-mares de quadratura (MLWN) de 56 cm.

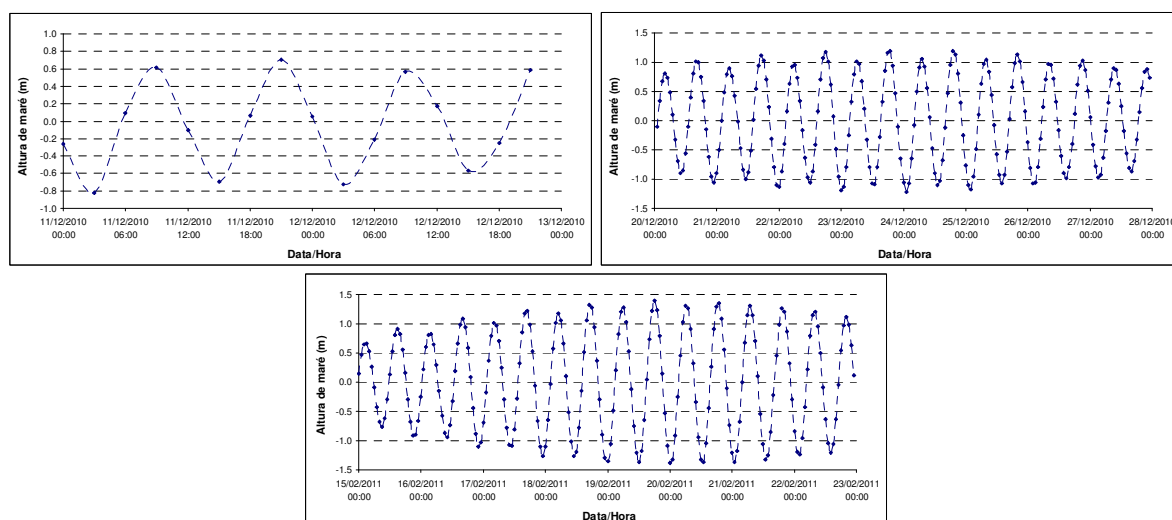


Figura 6 – Características da variação da maré de 11 a 12 e 20 a 27 de Dezembro/2010 e 15 a 22 de Fevereiro/2011.

3. APLICAÇÃO DO MODELO SWAN

O procedimento seguido foi:

- Utilização como condições ao largo, os resultados das simulações do modelo de previsão da agitação marítima WAVEWATCH III, WWIII (Tolman, 1999);
- Utilização dos dados dos ventos e dos dados de marés para os três períodos distintos, de 11 a 12 e 20 a 27 de Dezembro/ 2010 e 15 a 22 de Fevereiro/2011;
- Cálculo das características das ondas (HS, TM01 e DIRmed) em PT1 e PT2, utilizando o modelo SWAN para os períodos referidos;
- Comparação dos valores numéricos das alturas de onda significativas, períodos médios e direções médias com as medições efetuadas nos pontos PT1 e PT2.

O modelo SWAN propaga a agitação marítima desde o largo até próximo da costa considerando os processos físicos de refração e empolamento devido a variações do fundo e presença de correntes, crescimento de onda por ação dos ventos, rebentação por influência do fundo e por excesso de declividade (*whitecapping*), dissipação de energia devido ao atrito de fundo, bloqueio e reflexão por correntes opostas e transmissão através de obstáculos.

O campo de ondas na zona é caracterizado pelo espectro bidimensional de densidade espectral da ação de onda. A propagação da agitação, nos modos estacionário ou não estacionário, nos espaços geográfico e espectral, é realizada utilizando esquemas numéricos implícitos. Os dados necessários para a execução do SWAN são a malha batimétrica e as condições de agitação na fronteira de entrada do domínio, para além de um conjunto de outros parâmetros de cálculo. De entre os vários resultados obtidos pelo SWAN destacam-se a altura significativa, os períodos de pico e média, as direções de pico e média, a dispersão direcional, o parâmetro de largura de banda e nível de água em qualquer parte do domínio computacional. Para a preparação dos dados, execução e visualização dos resultados do modelo SWAN também se utiliza a ferramenta SOPRO (Pinheiro et al. 2007).

3.1 Batimetria, Condições Fronteira ao Largo, Ventos e Marés

A batimetria foi obtida a partir das informações da carta náutica 720, fornecidas pela Directoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil. Nas zonas próximas à costa foram utilizados os levantamentos batimétricos realizados em 2005 pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e a PETROBRAS.

As condições de forçamento ao largo, na fronteira de mar, foram fornecidas pelo modelo de escala oceânica, de 3ª geração WAVEWATCH, WWIII (Tolman, 1999), que providenciou valores para HS (altura de onda significativa), Tp (período de pico) e Dir (direção média para a frequência de pico), com uma periodicidade de 3 horas, no ponto de coordenadas 3°S 36°W, o mais próximo a Norte da malha exterior (Figura 7) e os valores ao largo fornecidos para as três datas de estudo são apresentados da Figura 8 à Figura 10.



Figura 7 – Localização da cidade de Diogo Lopes em (A) e do ponto de saída do WWIII em (B).

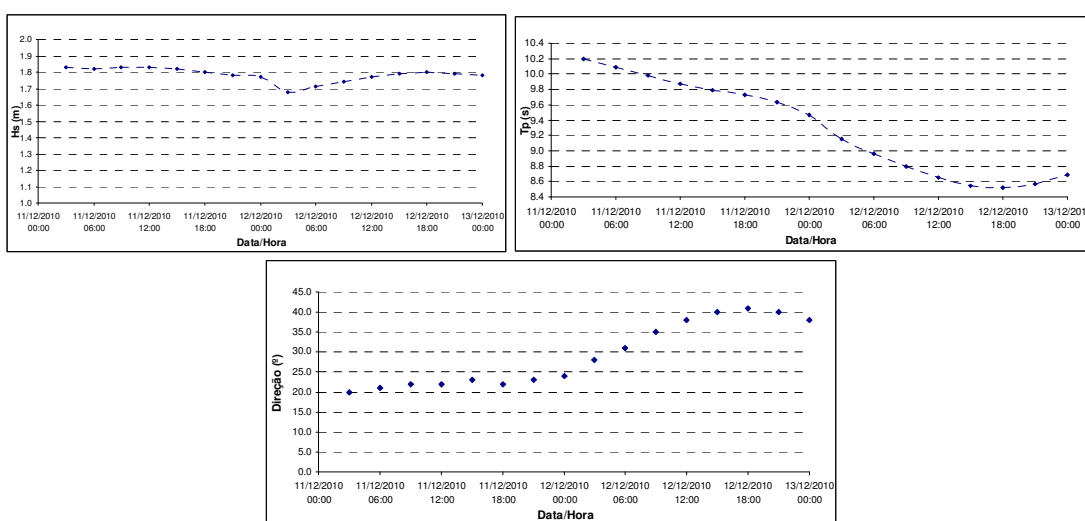


Figura 8 – Valores de Hs, Tp e DIR fornecidos pelo WWIII, de 11 a 12 de Dezembro/2010

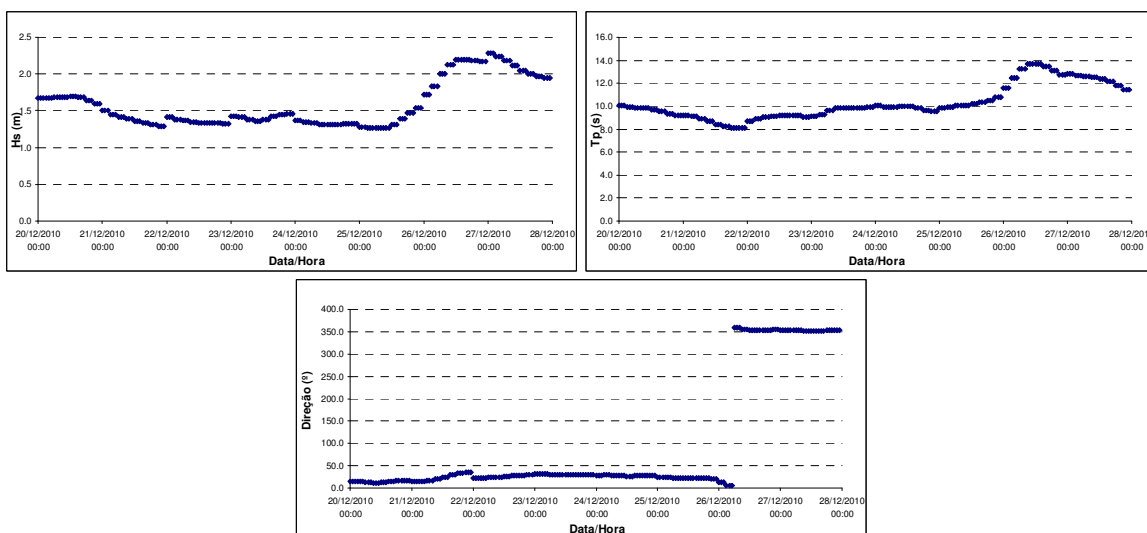


Figura 9 – Valores de Hs, Tp e DIR fornecidos pelo WWIII de 20 a 27 de Dezembro/2010.

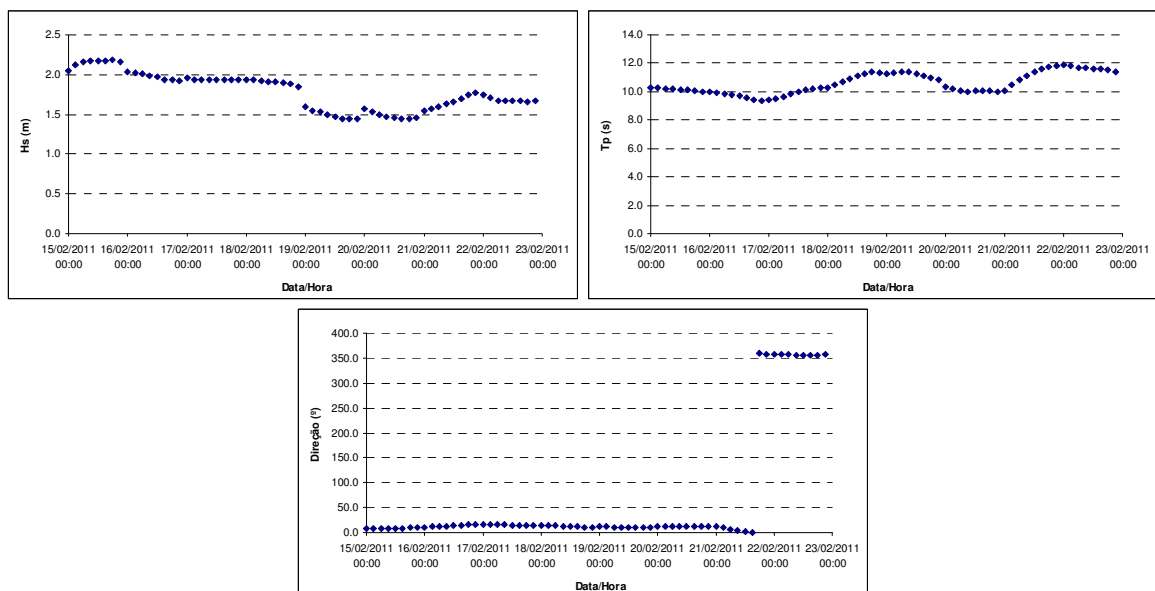


Figura 10 – Valores de Hs, Tp e DIR fornecidos pelo WWIII, de 15 a 22 de Fevereiro/2011

A partir destes valores integrais HS e Tp parametrizou-se um espectro JONSWAP com $\gamma = 3.3$ para representar a dependência em frequência. A distribuição em direção é dada por uma potência da função cosseno com expoente 10. Considerou-se o campo de ventos fornecido pela estação meteorológica de Macau, Brasil. Nas simulações do modelo SWAN, este campo de ventos é introduzido uniformemente em todo o domínio, ou seja, impõem-se valores do módulo da velocidade e direção constantes no espaço mas variáveis no tempo – neste caso, de hora a hora. Devido ao facto desta estação meteorológica ser sedeada em terra, a velocidade dos ventos foi corrigida para ter em conta o contraste terra-mar. Para esse efeito, utilizou-se a correção sugerida por Resio e Vincent (1977). Foi feita ainda uma segunda correção aos ventos medidos, visto que o anemómetro da estação meteorológica de Macau se encontra a 4 m de altura e não ao nível de referência de 10 m, através da lei da potência (CEM, 2002). À profundidade a que se encontravam os aparelhos de medição (5 e 9 m) o nível de maré não deve ser desprezado, já que naquela zona tem uma amplitude que atinge os 1.5 m. Os dados provenientes da estação maregráfica de Macau, que inicialmente apenas continham os máximos e mínimos do nível de maré (preia e baixa-mar), foram interpolados de modo a conhecer-se o valor do nível de maré de hora a hora e introduzidos no modelo.

3.2 Domínio Computacional e Condições das Simulações no Modelo SWAN

Para os cálculos com o modelo SWAN, utilizaram-se três malhas encaixadas, representadas na Figura 11 e descritas na Tabela 2. As características da agitação ao largo, provenientes do modelo WWIII, constituem a condição de fronteira na malha global. Os resultados da malha global fornecem as condições de fronteira para a 2ª malha, e os resultados desta malha providenciam as condições de fronteira para a 3ª malha (interior).

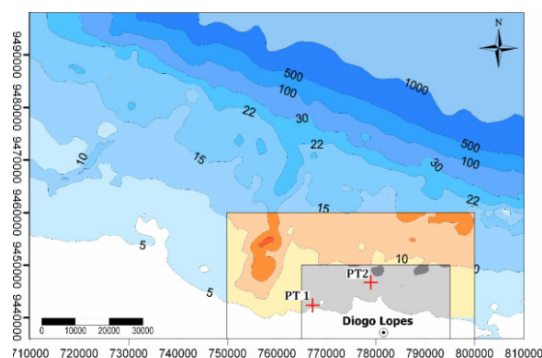


Figura 11 - Domínio computacional e as três condições de fronteiras das malhas utilizadas.

Tabela 2 – Características dos três domínios de malhas utilizadas.

Domínio	Exterior	Intermédia	Interior
Origem x,y	(710000, 9436000)	(750000, 9440000)	(765000, 9440000)
Dimensão (km)	100 x 62	50 x 20	30 x 10
Resolução x,y (m)	(1000, 1000)	(500, 250)	(100,50)

Utilizou-se a versão SWAN 40.72 em modo estacionário, não levando em consideração a interação com correntes. O espectro direccional foi discretizado em 23 intervalos de frequências de 0.04 a 1.0 Hz, com distribuição logarítmica. A discretização em direcção abrange 360°, dividida em 90 intervalos. Como termos fonte e sumidouro foram considerados a aquisição de energia devido à acção do vento, a rebentação induzida pelo fundo e a rebentação parcial (*whitecapping*), interacções não lineares de quatro e três ondas e a dissipação induzida por atrito no fundo. Usaram-se as formulações padrão constante de SWAN Team (2008), com excepção da rebentação parcial. De acordo com o trabalho de Ângelo et al. (2012), considerou-se a aproximação de van der Westhuysen et al. (2007) e para o coeficiente de atrito o valor de $c=0.067 \text{ m}^2\text{s}^{-3}$. Para as restantes condições as corridas foram realizadas com as formulações padrão do SWAN. Para uma utilização mais rápida e eficiente do modelo SWAN foi usado o programa de interface SOPRO (Pinheiro et al., 2007), que foi modificado de forma a permitir a introdução das diferentes formulações e valores de coeficientes de atrito nos ficheiros *input*.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Para cada campanha de medição e para os pontos PT1 e PT2, apresentam-se da Figura 12 à Figura 15 os valores de HS e de T01.

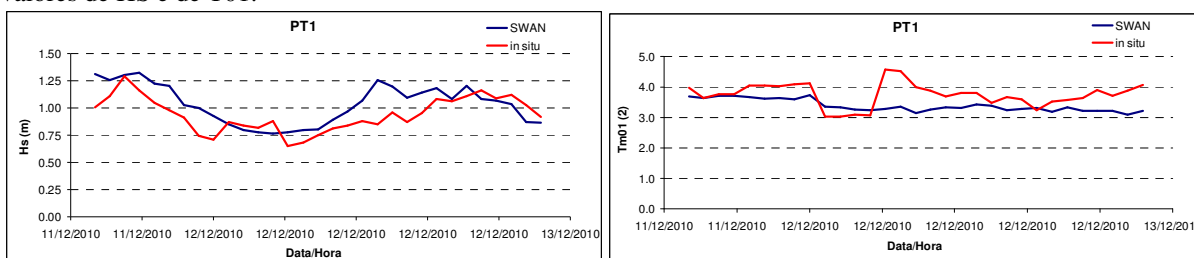


Figura 12 - Alturas significativas da onda e períodos médios no ponto PT1, 11 a 12 de Dezembro/2010.

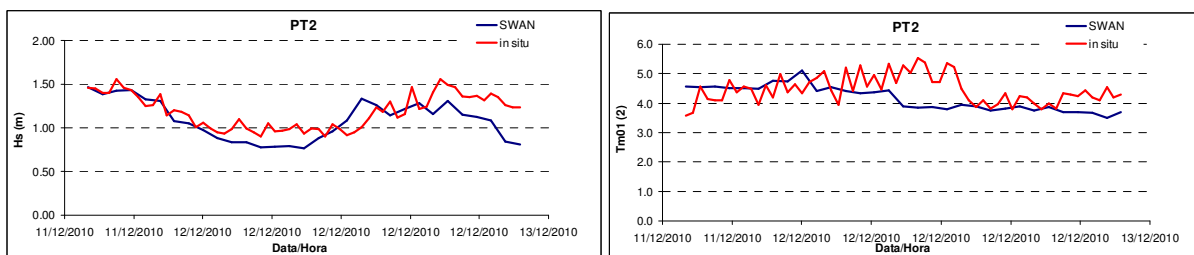


Figura 13 - Alturas significativas da onda e períodos médios no ponto PT2, 11 a 12 de Dezembro/2010.

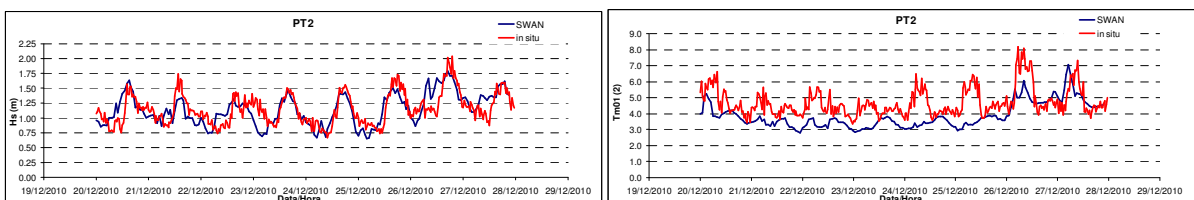


Figura 14 - Alturas significativas da onda e períodos médios no ponto PT2, 20 a 27 de Dezembro/2010.

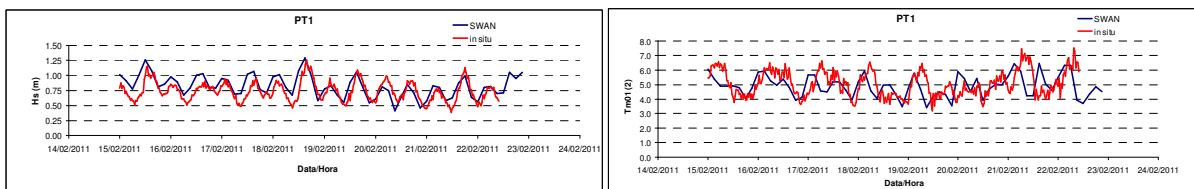


Figura 15 - Alturas significativas da onda e períodos médios no ponto PT1, 15 a 22 de Fevereiro/2011.

Na avaliação quantitativa dos resultados do modelo numérico procedeu-se ao cálculo do viés (ME), do valor médio quadrático do erro (RMSE) e do SI (*Scatter Index*) de acordo com a Equação (1). Este último representa o quociente entre o RMSE e o valor médio das observações. Esta análise estatística foi apresentada na Tabela 3.

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta X_i \quad RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{N}\right) \sum_{i=1}^N (\Delta X_i)^2 \left(\frac{1}{N}\right)} \quad SI = \frac{RMSE}{\bar{X}_0} \quad \text{Equação (1)}$$

onde N é a dimensão da amostra, ΔX_i representa a diferença entre os valores estimados pelo SWAN e os fornecidos pelas observações no ADCP, ou seja, $\Delta X = X_r - X_o$, \bar{X}_0 é o valor médio das observações.

Tabela 3 – Parâmetros da análise estatística dos resultados do modelo numérico.

Data	Pontos	Pârametros	HS	TM01	DIR
11 a 12 Dez.	P1	RMSE	0.16	0.77	21.04
		SI	0.17	0.21	0.48
		ME	0.10	0.63	-19.69
	P2	RMSE	0.18	0.73	18.34
		SI	0.15	0.16	0.78
		ME	-0.10	-0.35	10.16
20 a 27 Dez.	P2	RMSE	0.18	1.15	73.98
		SI	0.16	0.24	1.78
		ME	-0.01	-0.78	-3.48
15 a 22 Fev.	P1	RMSE	0.38	1.14	67.47
		SI	0.35	0.25	1.39
		ME	-0.26	-0.97	-4.96

A evolução do estado de mar na área de estudo é determinada pela modelação diurna da brisa do mar/brisa de terra. Este aspecto está patente nas Figura 13 a Figura 15. O modelo SWAN reproduz bem esta alternância introduzida pelo campo de ventos, quer ao nível do comportamento de HS quer de TM01, e em ambos os locais de medição (PT1 e PT2).

Para todos os períodos testados tanto o andamento como a ordem de grandezas dos resultados numéricos são muito semelhantes aos medidos, especialmente para os resultados do ponto PT2, que se encontra em águas mais profundas. De um modo geral, o modelo simula melhor os valores de altura de onda e apresenta pior desempenho para os valores de direção, como se confirma pelos os baixos valores de SI associados às alturas e progressivamente mais elevados para os casos dos períodos e direcções das ondas.

5. CONCLUSÕES

Nesta comunicação descreve-se a aplicação do modelo SWAN na zona adjacente ao estuário de Diogo Lopes, para as datas de 11 e 12 e 20 a 28 de Dezembro/2010 e 15 a 22 de Fevereiro/2011 para as quais existem dados medidos in situ.

A comparação entre as observações e as simulações numéricas com o modelo SWAN mostra uma boa concordância para os três períodos. Com efeito, o modelo SWAN conseguiu reproduzir o andamento geral e a ordem de grandeza das alturas significativas e períodos de onda ao longo dos períodos em estudo, para qualquer dos pontos em estudo, mas especialmente para o ponto PT2 que se situa mais ao largo. Para estas grandezas, os valores numéricos são em geral mais alisados. Em relação à direcção de onda, o modelo não consegue simular a gama vasta de direcções presente nos dados medidos.

As diferenças encontradas entre resultados numéricos e medidos podem ser devidas às simplificações admitidas nos cálculos efectuados, por falta de informação, nomeadamente no que diz respeito aos ventos (ventos constantes em todo o domínio computacional e baseados nos valores obtidos na Estação Meteorológica de Macau) e às correntes (não se incluíram nos cálculos as correntes). Assim, a caracterização dos campos de ventos e de correntes na zona e sua inclusão nas simulações numéricas ao longo dos períodos de simulação, constitui trabalho futuro.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem: a fonte financiadora brasileira CAPES, pela concessão da bolsa de doutoramento de Maria de Fátima Matos através da Rede Amigos Boussinesq; à Fundação para Ciência e Tecnologia (FCT) pelo financiamento concedido através dos Projetos EROS – PTDC/CTE-GIX/111230/2009 e HIDRALERTA - PTDC/AAC-AMB /120702/2010; e ao Projeto Cooperativo MOLECO (REDE5-PETROMAR/CTPETRO-FINEP/PETROBRAS/CNPq).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ângelo, J., Pires Silva, A., Fortes, C.J.E.M., Matos, M.F., Scudelari, A.C., Amaro, V.E. 2012. Aplicação do modelo SWAN na caracterização a agitação marítima na zona adjacente a Diogo Lopes. 2as Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Brasil.
- Booij, N., R.C. Ris and L.H. Holthuijsen. 1999. A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation, J. Geoph. Research, 104, C4, 7649-7666.
- CEM 2002, Coastal Engineering Manual, U.S. Army Corps of Engineers.

- Hasselmann, K. et al. 1973. Measurements of wind wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP). *Dtsch. Hydrogr. Z.*, A(8), 12.
- Komen, G.J., Hasselman, S., Hasselman, K. 1984. On the existence of a fully developed wind-sea spectrum, *J. Phys. Oceanogr.*, 14, 1271-1285.
- Matos, M.F.A.; Fortes, C.J.E.M.; Amaro, V.E.; Scudelari, A.C.; Neves, C.F. 2011. Análise de dados a partir de métodos in situ no Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte. in *Anais do VI Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa*”, Boa Vista, Cabo Verde, APRH, p.73.
- Matos, M.F.A.; Fortes, C.J.E.M.; Amaro, V. E.; Scudelari, A. C. 2012. Avaliação do modelo SWAN na modelação da agitação marítima no litoral setentrional do rio grande do norte-br. In: 11º Congresso da Água, 2012, Porto. 11º Congresso da Água. Lisboa: APRH, v. 1. p. 1-20.
- Nascimento, M.C. 2009. A erosão costeira e sua influência sobre a atividade petrolífera: alternativas sustentáveis na mitigação de impactos ambientais. Dissertação de Mestrado. Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 229p.
- Pinheiro, L., Santos, J.A., Fortes, C.J.E.M.; Capitão, R. 2007. SOPRO – Pacote integrado de modelos para avaliação dos efeitos das ondas em portos. *Revista da Tecnologia da Água*, Edição I, Março.
- Resio, D. T.; Vincent, C. L. 1977. Estimation of winds over the great lakes. *Journal of Waterways, Harbors and Coastal*, ASCE. v. 102, p. 263 – 282.
- Souto, M.V.S.; Grigio, A.M.; Castro, A.F. Amaro, V.E. 2006. Multitemporal analysis of geoenvironmental elements of the coastal dynamics of the region of the Ponta do Tubarão, city of Macau/RN, on the basis is remote sensing products and integration in GIS. *Journal of Coastal Research*, EUA. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 39 (Proceedings of the 8th International Coastal Symposium, Itajaí, SC – Brazil).
- SWAN Team. 2008. SWAN: Technical Documentation. SWAN Cycle III version 40.72. Delft University of Technology.
- Tolman, H.L. 1999. User manual and system documentation of WAVEWATCH - III Version 1.18, N.O.A.A., National Centers for environmental prediction. OMB technical note 166. Camp Springer (EUA), 110p
- van der Westhuysen, A., Zijlema, M., Battjes, J. 2007. Nonlinear saturation-based whitecapping dissipation in SWAN for deep and shallow water. *Coastal Eng.*, 54, 151–170.