



**6^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária
Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009**

**MODELAÇÃO DAS CONDIÇÕES MARÍTIMAS NA ZONA COSTEIRA DA FIGUEIRA DA FOZ,
COM O MODELO ESPECTRAL SWAN**

Dina Silva, Eugen Rusu e C. Guedes Soares

Centro de Engenharia e Tecnologia Naval (CENTEC),

Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal

dina.silva@mar.ist.utl.pt; eugen.rusu@mar.ist.utl.pt; guedess@mar.ist.utl.pt

Resumo:

Neste artigo será apresentada uma análise dos resultados obtidos com o modelo espectral de média fase SWAN (Booj et al., 1999) (Simulating Waves Nearshore) com dois esquemas paralelos, reconstituição e previsão em tempo real.

O modelo SWAN apresenta uma grande flexibilidade relativamente à dimensão do domínio computacional, podendo ser aplicado tanto em zonas costeiras como em escalas oceânicas, sendo habitualmente a primeira área geográfica toda a zona oeste da Península Ibérica encaixada no modelo WAM (WAMDI Group, 1988), que abrange o Atlântico Norte, e utilizada como uma zona condutora para outras simulações com resolução mais alta em direcção à costa.

Para o esquema de reconstituição as condições de fronteira foram fornecidas pelo modelo WAM, enquanto que para o esquema previsão em tempo real os dados de uma bóia fora a costa foram usados. Duas bóias perto da costa foram consideradas como pontos de estudo para ambos os esquemas.

A área alvo foi a zona costeira da Figueira da Foz, localizada no centro de Portugal, onde existiam as 3 bóias durante um projecto europeu. O período de tempo considerado centrou-se entre Dezembro de 1993 a Fevereiro de 1994, por serem os dados disponíveis.

Uma primeira conclusão será que o sistema de previsão de ondas, no geral, apresenta resultados fiáveis no que diz respeito aos parâmetros de onda.

Como esperado em termos estatísticos o esquema de previsão em tempo real dá resultados mais exactos.

Palavras chave: SWAN, WAM, Figueira da Foz, modelos numéricos, reconstituição, previsão



1. Introdução

Com o aumento da actividade económica nas zonas costeiras, o conhecimento antecipado do clima de agitação marítima ao longo da costa torna-se importante. Esta previsão é desenvolvida por modelos numéricos que são validados e calibrados por instrumentos oceanográficos (bóias ondógrafos), localizados em pontos estratégicos, que registam em tempo real os parâmetros de agitação marítima.

O SWAN (Simulating Waves Nearshore), (Booij et al. 1999), é um modelo de terceira geração para previsão de agitação marítima em águas de profundidade limitada (como estuários, lagos e zonas costeiras) até à zona de rebentação, utilizando como condições de fronteira, campos de vento, batimetria e correntes fornecidas por outros modelos, como é o caso do modelo WAM. Este modelo, baseia-se na equação de conservação da acção da onda (com fontes e sumidouros de energia) representando, na forma espectral, a geração, propagação e dissipação de energia, dando uma estimativa realista da evolução do espectro de onda para várias condições.

O presente trabalho, consiste na validação e comparação dos resultados do SWAN derivados de sistemas reconstituição e previsão.

O sistema de previsão é composto basicamente por dois módulos diferentes: o módulo de geração, baseado no WAM, como descrito em Pilar et al. (2008), que cobre o Atlântico Norte, e o módulo costeiro apresentado em Rusu et al. (2008).

No módulo costeiro considera-se primeiro um domínio alargado para o SWAN que cobre a costa oeste Ibérica e que faz a ligação entre a escala oceânica e as simulações costeiras. Este domínio, com uma resolução média, foi chamado área de acoplamento com o modelo oceânico, e subsequentemente há um domínio correspondente à área local da Figueira da Foz (Figura 1).

Na Tabela I apresentam-se os parâmetros numéricos para todos os domínios computacionais utilizados pelo SWAN, nomeadamente a resolução espacial da grelha ($\Delta x \times \Delta y$) e o passo de tempo de integração Δt .

Tabela I. Parâmetros numéricos dos cálculos do modelo SWAN

Domínio computacional SWAN	Coordenadas	$\Delta x \times \Delta y$	Δt (s)	nf	n θ	ngx \times ngy = np
Nível I Área de acoplamento com o modelo oceânico	Esféricas	0.05° \times 0.1°	1200	30	36	101 \times 101 = 1021
Nível II Domínio de resolução média para transformação costeira	Esféricas	0.02° \times 0.02°	1200	30	36	63 \times 76 = 4788
Nível III Área para previsão	Cartesianas	300m \times 300m	1200	30	36	181 \times 161 = 29141

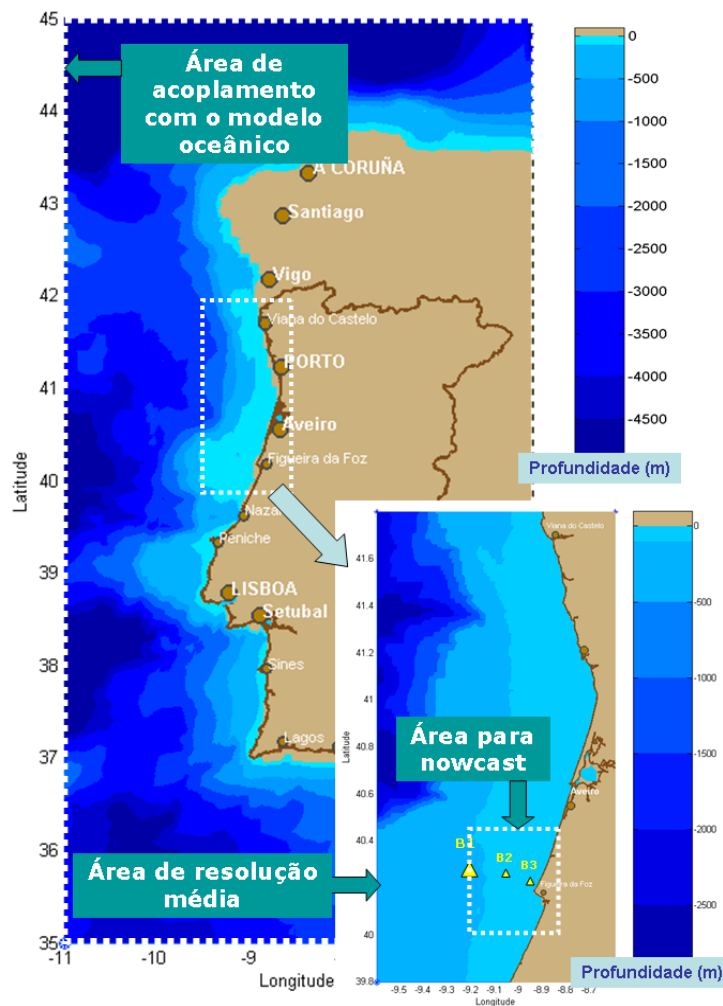


Figura 1. Área de estudo utilizado no SWAN

2. Formulações teóricas

2.1. Equação de propagação

Toda a informação sobre a superfície do mar está contida no espectro de densidade de energia $E(\sigma, \theta)$, onde a energia das ondas está distribuída pelas frequências σ (referente a um referencial em movimento com a velocidade de corrente) e direcções de propagação θ (normal à crista da onda de cada componente espectral), (The SWAN team, 2006). Os modelos de onda determinam a evolução da densidade de acção das ondas $N = (\bar{x}, t, \sigma, \theta)$ no espaço \bar{x} e no tempo t , que se conserva na presença de correntes, ao contrário da densidade de energia $E(\sigma, \theta)$, (The SWAN team, 2006). A densidade de acção é definida por $N = \frac{E}{\sigma}$.



O SWAN considera efeitos de propagação espacial, refração, empolamento, geração, dissipação e interações não lineares onda-onda, representados na equação de Hasselmann, (WAMDI Group 1988):

$$\frac{DN}{Dt} = \frac{S_{tot}}{\sigma} \quad (1)$$

que em coordenadas cartesianas toma a forma

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} c_x N + \frac{\partial}{\partial y} c_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta N = \frac{S_{tot}}{\sigma} \quad (2)$$

e em coordenadas esféricas

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial \lambda} c_\lambda N + \cos^{-1} \varphi \frac{\partial}{\partial \varphi} c_\varphi \cos \varphi N + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta N = \frac{S_{tot}}{\sigma} \quad (3)$$

com longitude λ e latitude φ .

O primeiro termo das equações corresponde à variação local em ordem ao tempo da densidade da acção das ondas, o segundo e o terceiro à sua propagação no espaço geográfico (velocidades de propagação c_x e c_y , no caso das coordenadas cartesianas, e c_λ , c_φ , no caso das coordenadas geográficas). O termo do lado direito da equação, S_{tot} , corresponde ao somatório de todas as fontes e sumidouros de energia, e que corresponde à geração de energia pelo vento, à sua dissipação e às interações não-lineares (onda-onda):

$$S_{tot} = S_{in} + S_{dis} + S_{nl} + \underbrace{S_{bf} + S_{br} + S_{tri} + \dots}_{\text{processos em profundidade de finita}} \quad (4)$$

onde os termos correspondem respectivamente ao forçamento atmosférico (vento), às interações não lineares (tríades e quadrupletos) e à dissipação (por rebentação, fricção com o fundo e indução do fundo).

2.2. Geração e dissipação

Geração

A transferência de energia do vento para as ondas, na maioria dos modelos de terceira geração (incluindo o SWAN), é descrito pelo mecanismo de Phillips (1957) e Miles (1957). Neste mecanismo Phillips descreve o crescimento inicial da onda como sendo linear e Miles assume um crescimento exponencial que opera em ondas já existentes, envolvendo um acoplamento entre o vento e as ondas. A equação que descreve em simultâneo estes dois mecanismos é descrita como

$$S_{in}(\sigma, \theta) = A + BE(\sigma, \theta) \quad (5)$$

em que A representa o crescimento linear (Phillips) e BE o crescimento exponencial (Miles), que dependem da frequência e direcção da onda e velocidade e direcção do vento.

A expressão para o termo A deve-se a Cavaleri e Malanotte-Rizzoli (1981) com um filtro para evitar o crescimento das ondas nas frequências mais pequenas do que a frequência de Pierson-Moskowitz, (Tolman, 1992a). Duas expressões opcionais para o coeficiente B são usadas no



6^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

modelo. A primeira é derivada de uma versão mais antiga do modelo WAM, conhecido como WAM Ciclo 3, (WAMDI group, 1988) e é chamada a formulação de Komen et al. (1984). A segunda expressão é devida a Janssen (1989, 1991) e é baseada na teoria quasi-linear das vagas de vento.

Dissipação

A dissipação da energia da onda ocorre devido a: rebentação, fricção com o fundo e rebentação devido ao declive do fundo.

A rebentação das ondas é controlada pelo declive da onda e no Swan a sua formulação é baseada no modelo de Hasselmann (1974), e adaptado pelo grupo WAMDI(1988):

$$S_{ds,w}(\sigma, \theta) = -\Gamma \tilde{\sigma} \frac{k}{k} E(\sigma, \theta) \quad (6)$$

onde Γ é a constante que depende do declive da onda, k é o número de onda, e $\tilde{\sigma}$ e \tilde{k} são respectivamente a frequência média e o número de onda médio. Komen et al. (1984) estimaram um valor para Γ fechando a equação de balanço de energia de ondas em condições completamente desenvolvidas, o que implica que o seu valor depende da formulação para o input de vento que está a ser usada. Como o Swan utiliza duas formulações para o input do vento, são utilizados também dois valores para Γ . O primeiro valor adoptado é devido ao Komen et al. (1984) (utilizado no modelo WAM ciclo 3), e o segundo utilizado devido a Janssen (1991a) (utilizado no modelo WAM ciclo 4), a utilização de um ou de outro depende de qual deles foi utilizado no coeficiente B para input do vento.

Duas formulações alternativas para este processo são o CSM (Cumulative Steepness Method) (Van Vledder e Hurdle, 2002) para a rebentação, e o modelo baseado na saturação de Alves e Banner (2003).

A dissipação de energia por fricção com o fundo (e.g. Bertotti e Cavaleri, 1994) pode ser representado por:

$$S_{ds,b}(\sigma, \theta) = -C_{bottom} \frac{\sigma^2}{g^2 \sinh^2(kd)} E(\sigma, \theta) \quad (7)$$

onde C_{bottom} é o coeficiente da fricção com o fundo, obtido empiricamente em laboratório por Hasselmann et al.(1973) (JONSWAP). Para condições de ondulação $C_{bottom} = 0.038$ e para condições de vaga de vento $C_{bottom} = 0.067 \text{ m}^2\text{s}^{-3}$.

Para o caso da dissipação de energia devido ao declive do fundo a expressão utilizada no SWAN é:

$$S_{ds,br}(\sigma, \theta) = -\frac{S_{ds,br,tot}}{E_{tot}} E(\sigma, \theta) \quad (8)$$

em que E_{tot} corresponde à energia total da onda e $S_{ds,br,tot}$ corresponde à sua dissipação devido à rebentação induzida pelo fundo, de acordo com Battjes e Janssen (1978).

O valor de $S_{ds,br,tot}$ depende do parâmetro de rebentação de onda $\gamma = H_{max}/d$ (onde H_{max} é a altura máxima individual possível à profundidade d). No SWAN um valor constante $\gamma=0.73$ (valor médio dos dados de Battjes e Stive (1975)) e um valor variável dependente da inclinação do fundo (Nelson,1987, 1994) são usados.



2.3. Interações não lineares

Interações quadrupletos onda-onda

Em águas profundas a evolução do espectro é dominado pelas interações quadrupletos onda-onda, que transferem energia do pico espectral para frequências mais baixas (reduzindo a frequência de pico) e para frequências mais altas (onde a energia se dissipa por white-capping).

Estas interações são calculadas pela Discret Interaction Approximation (DIA) (Hasselmann et al., 1985), para 'reduzir tempo computacional', onde apenas dois quadrupletos são considerados, com frequências:

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$$

$$\sigma_3 = 1.25 \sigma$$

$$\sigma_4 = 0.75 \sigma$$

Para satisfazer as condições de ressonância do primeiro quadrupletos, os vectores número de onda com frequências σ_3 e σ_4 estão dispostos em ângulos de $\theta_1 = -11.5^\circ$ e $\theta_2 = 33.6^\circ$ em relação aos dois vectores números de onda idênticos com frequências σ_1 e σ_2 . O segundo quadrupletos é um espelho do primeiro (os vectores número de onda com frequências σ_3 e σ_4 estão dispostos em ângulos $\theta_3 = 11.5^\circ$ e $\theta_4 = -33.6^\circ$) (The SWAN team, 2006).

Com esta aproximação de interação discreta o termo fonte $S_{nl4}(\sigma, \theta)$ (correspondente a um dos termos de $S(\sigma, \theta)$ da equação de balanço espectral) é obtido da seguinte forma:

$$S_{nl4}(\sigma, \theta) = S_{nl4}^*(\sigma, \theta) + S_{nl4}^{**}(\sigma, \theta) \quad (9)$$

onde $S_{nl4}^*(\sigma, \theta)$ e $S_{nl4}^{**}(\sigma, \theta)$ correspondem respectivamente ao primeiro e segundo quadrupletos.

Interações tríades onda-onda

Para águas pouco profundas as interações do tipo tríades tomam-se importantes, principalmente em ondas de declive acentuado. A energia é transferida de frequências mais baixas para frequências mais altas, podendo alterar significativamente a configuração do espectro, transformando um único pico espectral em múltiplos picos, (Arcilla et al. 1994).

O SWAN utiliza o LTA (The Lumped Triad Approximation) para este tipo de interação, que é uma versão adaptada do modelo DTA (Discret Triad Approximation), Eldeberky (1996). Com o LTA o termo fonte $S_{nl3}(\sigma, \theta)$, em cada direcção espectral, é representado pela seguinte expressão:

$$S_{nl3}(\sigma, \theta) = S_{nl3}^-(\sigma, \theta) + S_{nl3}^+(\sigma, \theta) \quad (10)$$

onde

$$S_{nl3}^+(\sigma, \theta) = \max\left[0, \alpha_{EB} 2\pi c_g J^2 |\sin \beta| \left\{ E^2(\sigma/2, \theta) - 2E(\sigma/2, \theta) \right\} \right] \quad (11)$$

$$S_{nl3}^-(\sigma, \theta) = -2S_{nl3}^+(2\sigma, \theta) \quad (12)$$

sendo α_{EB} um quociente de proporcionalidade.

A bi-fase é aproximada por :



$$\beta = -\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2} \tanh\left(\frac{0.2}{U_r}\right) \quad (13)$$

com o número de Ursell, U_r :

$$U_r = \frac{g}{8\sqrt{2\pi^2}} \frac{H_s T_{m01}^2}{d^2} \quad (14)$$

As interações do tipo tríade são calculadas apenas para $0 \leq U_r \leq 1$. O quociente da interação J é dado por Madsen e Sorensen (1993):

$$J = \frac{k_{\sigma/2}^2 (gd + 2c_{\sigma/2}^2)}{k_{\sigma} d \left(gd + \frac{2}{15} gd^3 k_{\sigma}^2 - \frac{2}{5} \sigma^2 d^2 \right)} \quad (15)$$

3. Análise no domínio temporal

O processo de validação do sistema de previsão para a área local, incluiu duas fases. Uma primeira fase para testar o sistema em larga escala usando ambos os módulos para geração e transformação de ondas num esquema de reconstituição. A segunda fase para testar a capacidade de alta e média resolução para a transformação de ondas usando um esquema nowcast.

A área alvo para o estudo foi a zona costeira da Figueira da Foz (40° - $40,5^{\circ}$ N / $9,4^{\circ}$ - $8,8^{\circ}$ W) onde dados provenientes de três bóias se encontravam simultaneamente disponíveis. As posições das bóias estão ilustradas na Figura. 1.

Para o esquema de reconstituição as condições de fronteira foram fornecidas pelo WAM, cujo regime de ventos foi obtido através do projecto Hipocas "Hindcast of Dynamic Processes of the Ocean and Coastal Areas of Europe", (Guedes Soares 2008), que consiste na re-análise de condições de vento durante 44 anos, entre 1958 e 2001.

Nas simulações de grande escala os processos físicos mais importantes são os das águas profundas, nomeadamente dissipação por rebentação e geração por vento. Considerando os resultados anteriores de Rusu et al. (2006) os modelos mais eficazes para estes processos são a formulação de Janssen (1991) para geração por vento e o modelo de Hasselmann (1974) para a rebentação. Estes processos foram activados nas simulações de grande escala deste trabalho.

Como um exemplo da distribuição espacial das ondas, na Figura 2 estão apresentadas duas situações típicas de agitação marítima, a primeira (imagem a)) corresponde a uma situação com uma energia média das ondas (1994/01/24/18h), a segunda (imagem b)) corresponde a uma situação de tempestade.

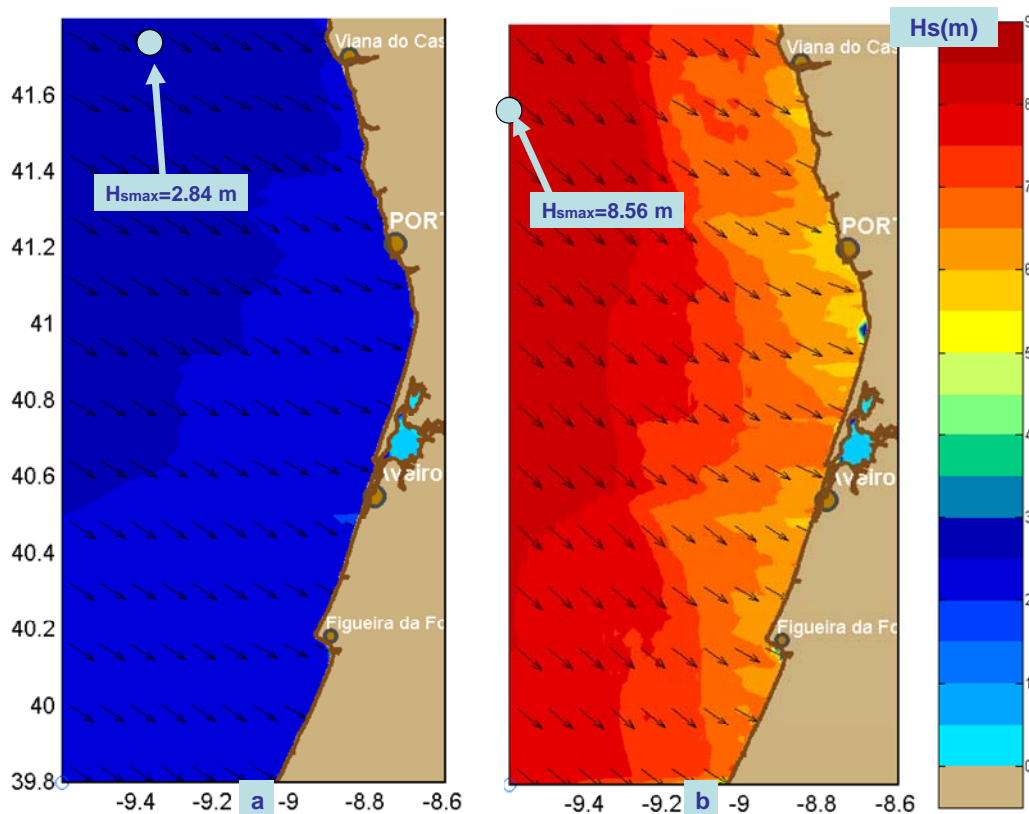


Figura 2 – Campos de Hs e vectores de onda no domínio computacional de média resolução. a) Energia de ondas média (1994/01/24/18h); b) Pico energético (1994/02/04/15h).

Para o sistema de previsão em tempo real as condições de fronteira utilizadas foram os dados da bóia 1 (9,24°W, 40,26°N) que opera a uma profundidade de 93 metros e como pontos de estudo, a Bóia 2 (9,07°W, 40,26°N) a uma profundidade de 72 metros e a Bóia 3 (8,92°W, 40,22°N) a 19,6 metros, Rusu et al. (2008).

A bóia 2, com dados de Dezembro de 1993 a Fevereiro de 1994, e a bóia 3 com dados apenas de Dezembro de 1993, fazem parte do projecto WAVEMOD, (Guedes Soares 2000).

Ambas as bóias (2 e 3) apresentam somente dados de Hs, podendo apenas ser esse o parâmetro a ser comparado com as simulações.

Para o estudo de previsão a Figura 3 apresenta comparações dos parâmetros de onda, altura significativa, período de pico e direcção de onda, com os dados da bóia 1, entre os períodos de Dezembro de 1993 a Fevereiro de 1994. Também apresenta a dispersão da altura significativa.

Na Figura 4, para a altura significativa, são apresentadas as comparações com as bóias 2 e 3 para as simulações tanto em reconstituição e previsão e também as suas dispersões. Para esta área, em ambos os esquemas, foi activado Triad.

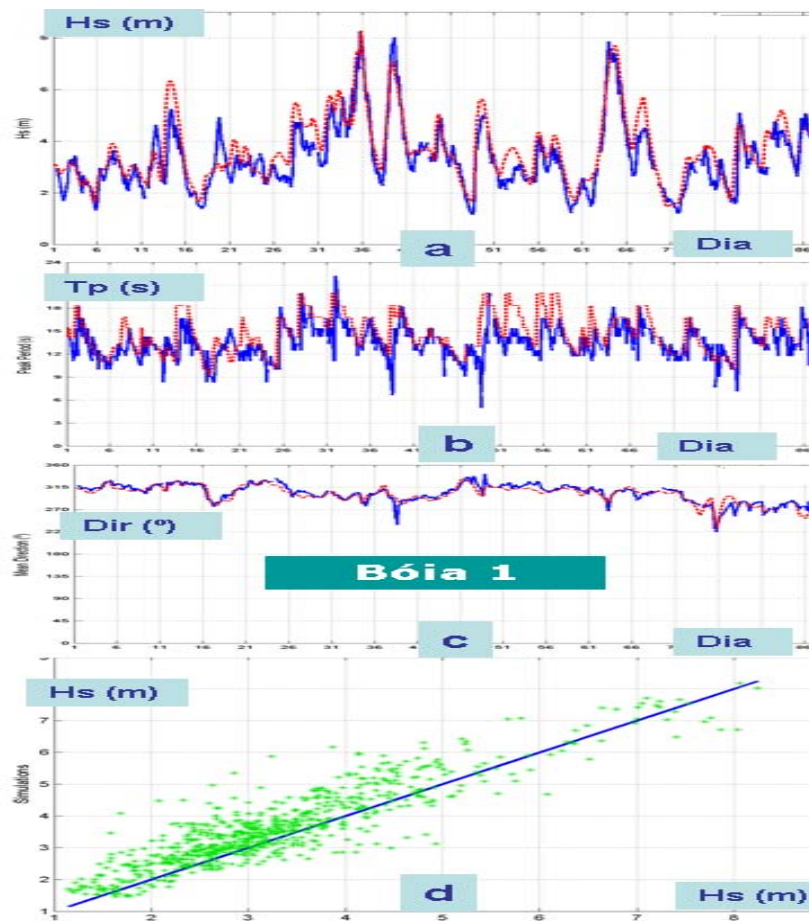


Figura 3 - Comparação dos parâmetros de onda simulados com a bóia 1 para o estudo reconstituição (SWAN está apresentado com a cor vermelha (linha a tracejado) e a bóia com a cor azul (linha a cheio)). a) Altura significativa; b) Período; c) Direcção de onda; d) dispersão da altura significativa. O intervalo temporal está expresso em dias.

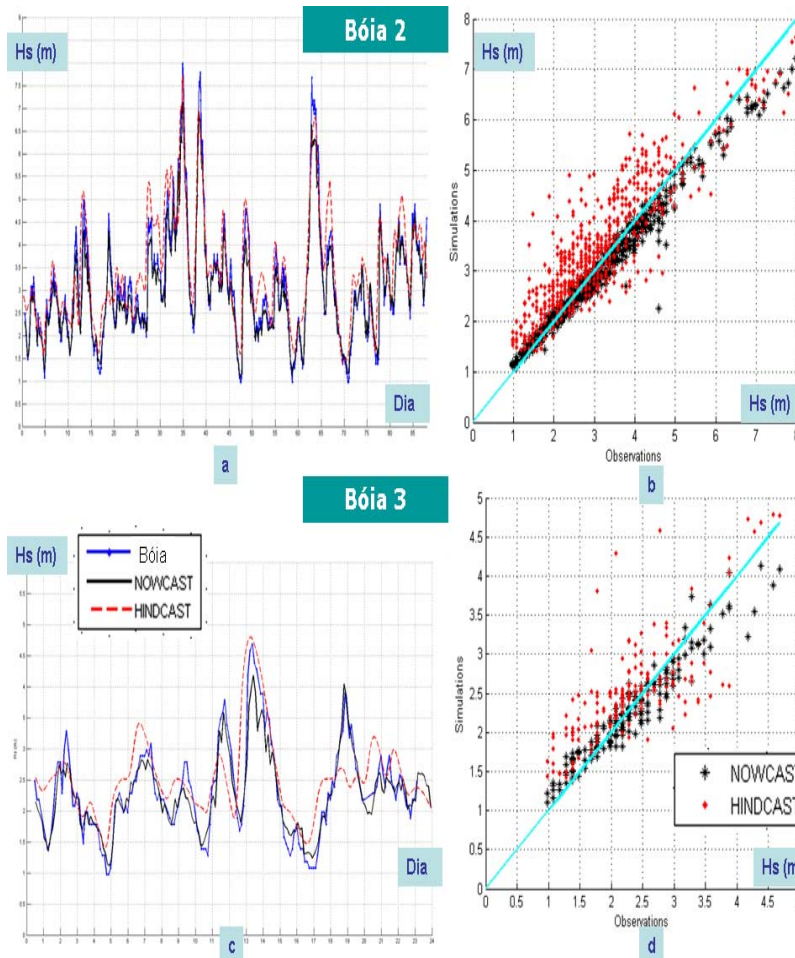


Figura 4 - Comparação da altura significativa das simulações de reconstituição e previsão com as bóias 2 e 3 (a azul a bóia, a preto a simulação em previsão e a vermelho a simulação reconstituição). a) Altura significativa bóia 2; b) Dispersão de altura significativa bóia 2; c) Altura significativa bóia 3; d) Dispersão de altura significativa bóia 3

4. Resultados Estatísticos

A comparação entre as simulações e os dados das bóias teve por base a análise do RMSE (erro quadrático médio), o Bias (enviesamento), o r (coeficiente de correlação) e o SI (Scatter Index ou índice de dispersão), sendo estes calculados da seguinte forma:

$$X_{med} = \tilde{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (16)$$

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)}{n} \quad (17)$$



6^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária
Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (18)$$

$$SI = \frac{RMSE}{\tilde{X}} \quad (19)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \tilde{X}_i)(Y_i - \tilde{Y}_i)}{(\sum_{i=1}^n (X_i - \tilde{X}_i)^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \tilde{Y}_i)^2)^{1/2}} \quad (20)$$

onde X_i corresponde às medições das bóias e Y_i corresponde às simulações com o SWAN.

Os resultados estatísticos correspondentes aos parâmetros de onda estão apresentados na Tabela II. O B_{med} corresponde à média dos dados da bóia e S_{med} à média das simulações.

Tabela II. Resultados estatísticos para altura significativa

	B_{med}	S_{med}	Bias	RMSE	SI	r	Bóia
Hs (m)	3.312	3.659	-0.347	0.667	0.201	0.898	B1 n=678 Reconstituição
Tm(s)	8.347	10.17	-1.823	2.283	0.273	0.763	
Tp (s)	13.386	14.662	-1.276	2.551	0.191	0.532	
Dir (°)	302.434	300.842	1.592	8.191	0.027	0.9	
Hs (m)	3.103	3.432	-0.329	0.66	0.213	0.893	B2 Reconstituição Previsão n=676
	3.103	2.966	0.137	0.281	0.09	0.987	
Hs (m)	2.315	2.535	-0.22	0.548	0.237	0.747	B3 Reconstituição Previsão n=194
	2.315	2.269	0.046	0.235	0.101	0.961	



5. Discussão dos Resultados

Observando os resultados estatísticos apresentados na Tabela II, verifica-se que as simulações de reconstituição, comparadas com a bóia 1, apresentam bons valores, nomeadamente na altura significativa e na direcção de onda, cujos coeficientes de correlação são aproximadamente 0.9. O modelo tende a sobrestimar as observações, em quase todos os parâmetros excepto na direcção de onda. As séries temporais da Figura 3 demonstram uma boa concordância entre a bóia e o resultado do modelo.

Estes resultados da reconstituição significam que o sistema baseado pelos modelos numéricos em média fase WAM e SWAN dão resultados creíveis, no entanto com algumas limitações. Uma solução para melhorar a performance do sistema, seria desenhar um esquema dinâmico de modelação de ondas. Portanto os processos físicos activados nos modelos e também as parametrizações e os coeficientes característicos devem ser mudados não só de uma área para a outra mas também no mesmo nível computacional em função da dinâmica dos factores ambientais. Deste modo, por exemplo, pode se trocar para o processo de whitecapping, a parametrização de Hasselmann (1974) com a parametrização do Alves e Banner (2003) quando temos uma combinação entre ondulação e vaga.

No que diz respeito aos resultados para as simulações em reconstituição e previsão em tempo real, em que ambas foram comparadas com as bóias 2 e 3, verifica-se que para ambas as bóias o sistema previsão em tempo real revela melhores resultados com coeficientes de correlação superiores a 0.95 e índices de dispersão (SI) inferior ou igual a 0.1. Ao contrário dos resultados para a reconstituição, para a previsão em tempo real o modelo subestima as observações.

As figuras 4 a) e 4 c) apresentam uma comparação directa entre as alturas significativas, resultados das medições das bóias 2 e 3, e os dois esquemas de previsão considerados. No entanto, como se encontra ilustrado nas figuras 4 b) e 4 d) que nos dão a dispersão da altura significativa nos dois esquemas de previsão, para a previsão em tempo real os resultados são muito mais agrupados resultando num índice de dispersão mais pequeno.

6. Conclusões

O SWAN é um modelo de terceira geração que apresenta uma variedade de opções, que permite ao utilizador trabalhar tanto em coordenadas cartesianas como esféricas, podendo ainda correr quer em modo estacionário, quer em modo não estacionário. Apresenta também, maior flexibilidade relativamente à dimensão do domínio computacional, podendo ser aplicado tanto em zonas costeiras como em escalas oceânicas.

O presente trabalho descreve a modelação em vários domínios computacionais, sendo utilizados sistemas reconstituição e previsão em tempo real.

Os dados de 3 bóias foram utilizados para validar as simulações para águas profundas (bóia 1) e para águas intermédias (bóia 2 e bóia 3).

O sistema de previsão de onda baseado em modelos espectrais apresenta, no geral, resultados razoáveis em ambos os esquemas reconstituição e previsão em tempo real.

Evidentemente as previsões em tempo real utilizando uma bóia ondógrafo para fornecer condições de fronteira, dão resultados muito mais exactos porque está envolvido apenas o processo de transformação das ondas. No entanto este esquema de cálculo pode também introduzir erros



6^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

devido às condições de fronteira não adequadas, porque são conhecidos dados de agitação marítima num único ponto.

A previsão de agitação marítima baseada pelo modelo WAM, para geração, e pelo modelo SWAM, para propagação costeira e transformação depende directamente da resolução e exactidão dos campos do vento. Estes aspectos foram cuidadosamente estudados no âmbito do projecto HIPOCAS, Guedes Soares (2008).

Reconhecimento

O presente trabalho foi feito no âmbito do projecto NEARPORT (Desenvolvimento de um sistema operacional de previsão em tempo real da agitação marítima para os portos portugueses) que é financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (PTDC/ECM/64373/2006).

Referências

- Alves J. H. G. M. e Banner, M. L., (2003), Performance of a saturation-based dissipation-rate source term in modelling the fetch-limited evolution of wind waves, *J. Phys. Oceanogr.*, 33, pp. 1274-1298.
- Arcilla, A. S., J. A. Roelvink, B. A. O'Connor, A. J. H. M. Reniers, e J. A. Jimenez (1994), The Delta flume '93 experiment, paper presented at Coastal Dynamics Conference '94, Am. Soc. of Civ. Eng., Barcelona, Spain;
- Battjes, J. A., e J. P. F. M. Janssen (1978), Energy loss and set-up due to breaking of random waves, in *Proceedings of 16th International Conference on Coastal Engineering*, pp. 569–587, Am. Soc. of Civ. Eng., New York;
- Bertotti, L., e L. Cavaleri (1994), Accuracy of wind and wave evaluation in coastal regions, in *Proceedings of 24th International Conference on Coastal Engineering*, pp. 57–67, Am. Soc. of Civ. Eng., New York;
- Booij, N., Ris, R.C. e Holthuijsen, L. H., (1999), A third generation wave model for coastal regions. Part 1: Model description and validation, *J. Geophys. Res.* 104, C4, pp. 7649-7666;
- Cavaleri, L., e P. Malanotte-Rizzoli (1981), Wind wave prediction in shallow water: Theory and applications, *J. Geophys. Res.*, 86 (C11), 10, 961-10, 973;
- Eldeberky, Y., e J. A. Battjes (1996), Spectral modelling of wave breaking: Application to Boussinesq equations, *J. Geophys. Res.*, 101(C1), 1253–1264;
- Guedes Soares, C., (2000), Probabilistic based models for coastal studies. *Coastal Eng.* 40, 279-283
- Guedes Soares, C., (2008), Hindcast of Dynamic Processes of the Ocean and Coastal Areas of Europe. *Coastal Engineering*. 55(11):825-826;
- Guedes Soares, C., Weisse, R., Carretero, J. C. e Alvarez, E., (2002), A 40 years Hindcast of Wind, Sea Level and Waves in European Waters, *Proceedings of the 21st International conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE'02)*, ASME Paper OMAE2002-SR28604;
- Hasselmann, K. (1973), et al., Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP), *Dtsch. Hydrogr. Z. Suppl.*, 12(A8), 1–95
- Hasselmann, K. (1974), On the spectral dissipation of ocean waves due to whitecapping, *Bound.-layer Meteor.*, 6, 1–2, 107–127;



6^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária
Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

- Hasselmann, S., K. Hasselmann, J. H. Allender, e T. P. Barnett (1985), Computations and parameterizations of the linear energy transfer in a gravity wave spectrum, II, Parameterizations of the nonlinear transfer for application in wave models, *J. Phys. Oceanogr.*, 15, 1378–1391;
- Komen, G. J., S. Hasselmann, e K. Hasselmann (1984), On the existence of a fully developed wind-sea spectrum, *J. Phys. Oceanogr.*, 14, 1271–1285;
- Madsen, P. A., e O. R. Sørensen (1993), Bound waves and triad interactions in shallow water, *Ocean Eng.*, 20, 359–388;
- Nelson, R. C. (1987), Design wave heights on very mild slopes: An experimental study, *Civil. Eng. Trans.* 29, pp. 157–161, Inst. of Eng. Aust., Barton;
- Nelson, R. C. (1994), Depth limited wave heights in very flat regions, *Coastal Eng.*, 23, 43–59;
- Pilar, P., Guedes Soares, C., e Carratero, J.C. (2008), 44-Year Wave Hindcast for the North East Atlantic European Coast, *Coastal Engineering*, 55(11):861-871;
- Rusu, E., Pilar, P. e Guedes Soares, C., (2006), Avaliação do modelo SWAN em águas profundas junto á costa de Portugal Continental , *As Actividades Marítimas e a Engenharia*, C. Guedes Soares e V. Gonçalves de Brito (Eds), Ed. Salamandra, Lisboa, 10p.
- Rusu, L., Pilar, P., Guedes Soares, C., (2008), Hindcast of the wave conditions along the west Iberian coast, *Coast. ENG.*, 55(11):906-919;
- The Swan team (2006), SWAN Technical documentation cycle III version 40.51;
- Tolman, H.L.(1992), Effects of numerics on the physics in a third-generation wind-wave model, *J. Phys. Oceanogr.*, 22, 1095-1111;
- Van Vledder, G. Ph. e Hurdle, D.P. (2002), Performance of formulations for whitecapping in wave prediction models, *Proc. OMAE 2002*
- WAMDI Group, (1988),. The WAM model-a third generation ocean wave prediction model, *J. Phys. Oceanogr.*, 18, pp. 1.