

VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA UTILIZADA PARA A PREVISÃO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA IMPLEMENTADA NO PROJECTO MOIA

Luís Guilherme¹, João A. Santos^{1*}, Conceição J. Fortes¹, Anabela Simões²

1: Departamento de Hidráulica e Ambiente
Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Av. Do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal
E-mail: {lguilherme, jasantos, jfortes}@lnec.pt, web: <http://www.lnec.pt>

2: Departamento de Ciências Agrárias
Universidade dos Açores
Terra Chã, 9701-851 Angra do Heroísmo, Portugal
E-mail: anabela@uac.pt, web: <http://www.uac.pt>

Palavras-chave: Agitação Marítima, Modelação numérica, Previsão, SWAN, Validação

Resumo. *A agitação marítima é um factor determinante na segurança das operações e infra-estruturas portuárias. A agitação dentro de um porto pode ser estimada por modelos numéricos apropriados que utilizam como condições de fronteira previsões da agitação ao largo produzidas por modelos numéricos de escala regional.*

O projecto MOIA, em curso, tem por objectivo o desenvolvimento de uma ferramenta integrada para apoio às actividades de gestão portuária levando em conta os efeitos da agitação marítima em infra-estruturas portuárias, na navegação portuária e nas operações de carga e descarga de navios.

Esta comunicação descreve o trabalho realizado até agora no âmbito deste projecto, com o objectivo último de avaliar os efeitos da agitação marítima nos navios amarrados no interior do porto de Praia da Vitória, na ilha Terceira, Açores. Componente fundamental deste trabalho, apresentada nesta comunicação, é a validação do procedimento para previsão das características da agitação marítima na zona de entrada do porto que se baseia na utilização do modelo numérico SWAN. Para tal comparam-se os valores das características dos estados de agitação previstos por aquele modelo com valores medidos por uma bóia-ondógrafo instalada nas imediações do referido porto. Dos resultados obtidos conclui-se ser necessário incluir o efeito do vento na propagação das ondas.

1. INTRODUÇÃO

As actividades portuárias são fortemente condicionadas pelo estado do mar, pelo que é fundamental monitorizar e prever, se possível com vários dias de antecedência, a sua evolução. A descrição do estado do mar na vizinhança de um porto pode ser determinada por medição local, mas, mais interessante é a sua previsão antecipada.

Presentemente, os modelos de previsão de escala regional conseguem produzir estimativas muito boas da agitação marítima e das correntes de maré ao largo de um porto, que podem ser depois transferidas para o interior da bacia portuária através de modelos de propagação de ondas e correntes. Comparando as características da agitação e correntes no interior do porto com um conjunto de valores limite que estabelecem as boas condições de segurança e operacionalidade do porto, avalia-se da necessidade de accionar procedimentos de emergência.

Assim, conhecidas as previsões do estado do mar ao largo com um, dois ou mais dias de antecedência, é possível prever situações de risco e emitir atempadamente avisos ou alertas, reduzindo a ocorrência de situações de emergência nas actividades portuárias.

Estes argumentos justificam a existência do projecto MOIA, actualmente em curso, que visa o desenvolvimento de uma ferramenta integrada para apoio à gestão portuária capaz de prever os efeitos da agitação marítima e das correntes de maré nas infra-estruturas, na navegação e nas operações portuárias e de emitir avisos ou alertas às entidades portuárias competentes sempre que a segurança esteja em causa. Um esquema simplificado do sistema MOIA pode ser visualizado na Figura 1.

A caracterização da agitação marítima é feita recorrendo a modelos de previsão de escala regional e a um conjunto de modelos numéricos de propagação de ondas acoplados. A validação das previsões é feita recorrendo a medições efectuadas por bóias ondógrafo ou outros equipamentos instalados nas imediações do porto em estudo.

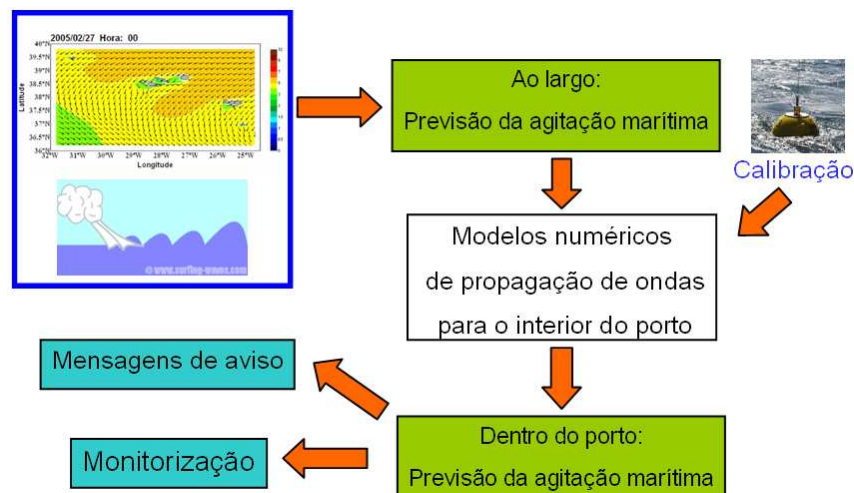


Figura 1 – O sistema MOIA. Esquema simplificado.

Esta comunicação aborda a validação da metodologia de transferência já descrita em trabalhos anteriores [1], [2]. Recordam-se sumariamente o trabalho já desenvolvido no âmbito do projecto MOIA, nomeadamente descreve-se a metodologia escolhida e o porto piloto em que irá a ser implementada. Confrontam-se os resultados das medições efectuadas por uma bóia ondógrafo instalada nas imediações desse porto com as previsões resultantes da utilização da metodologia seleccionada. Comparam-se também essas previsões com outros dados relevantes assim como com outras previsões obtidas por outros modelos.

2. AGITAÇÃO MARÍTIMA NO PORTO DE PRAIA DA VITÓRIA

2.1. O porto de Praia da Vitória

O caso em estudo – o porto de Praia da Vitória, Figura 2, situa-se na ilha Terceira no arquipélago dos Açores. Os dois molhes do porto protegem uma bacia portuária com cerca de 1 km x 2 km de dimensão.

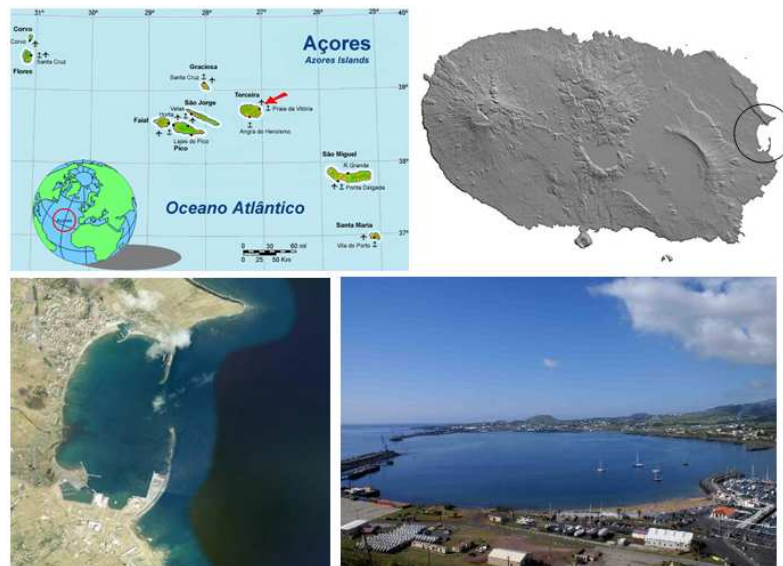


Figura 2 – Arquipélago dos Açores, Ilha Terceira, porto de Praia da Vitória.

O porto dispõe de vários equipamentos de medição da agitação marítima instalados na zona e que fazem deste porto um local muito interessante para verificar o desempenho do sistema MOIA. No âmbito do projecto CLIMAAT, [3], foi instalada uma bóia-ondógrafo direccional a pouco mais de 4 km Nordeste do porto, numa zona com profundidade 90 m. Esta bóia fornece dados de agitação marítima on-line, actualizados em média a cada 10 minutos, com os valores de altura de onda significativa, altura de onda máxima, período de onda médio, período de onda máximo observado, período da onda de altura máxima e direcção da ondulação. No site do projecto CLIMAAT (<http://www.clima.angra.uac.pt/>)

é possível aceder aos dados medidos em tempo real da referida bóia, Figura 3.

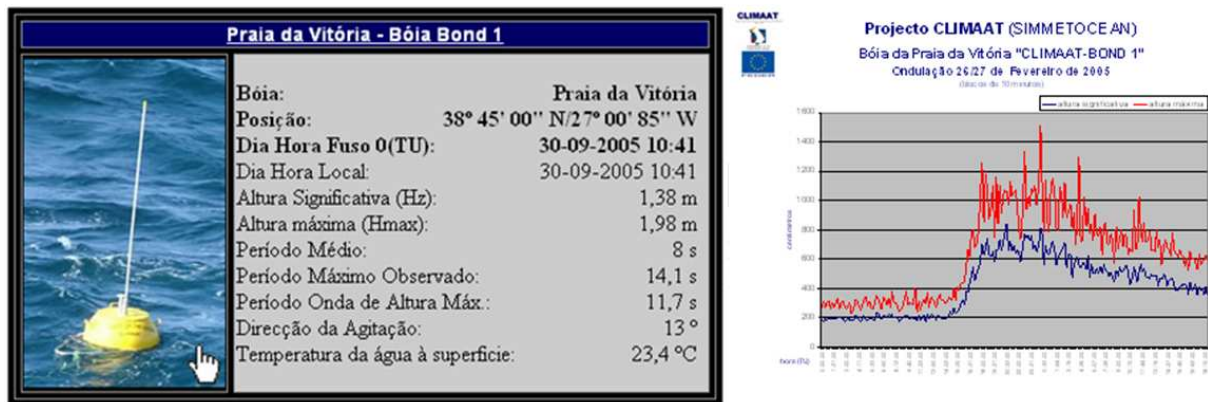


Figura 3 – Projecto CLIMAAT. Medições da agitação marítima.

No âmbito do mesmo projecto, estão já instalados dois marégrafos dentro do porto e prevê-se ainda a instalação de um terceiro. Já se encontra em funcionamento um radar que, através de um algoritmo apropriado, permite medir as características da agitação na região em frente aos molhes. A instalação, em breve, de um ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) na entrada do porto contribuirá também para a caracterização da agitação marítima no local.

2.2. Metodologia de previsão da agitação marítima

Uma parte importante do projecto MOIA é a automatização das previsões do estado do mar ao largo e a sua transferência até ao interior do porto.

Como referido anteriormente, na caracterização da agitação marítima ao largo do porto em estudo recorre-se a modelos de previsão de escala regional. Assim, partindo de um campo de ventos (também fornecido por modelos numéricos), o modelo WAVEWATCH III [4] (aqui designado por WWIII), prevê as características da agitação marítima na região. Depois, utilizando um conjunto de modelos numéricos de propagação de ondas, SWAN [5] e DREAMS [6], transferem-se aquelas características para o interior do porto. A razão para a utilização de vários modelos é a inexistência de um único numérico modelo capaz de simular, de forma computacionalmente eficaz, a propagação da agitação marítima nesta vasta região levando em conta todos os fenómenos relevantes para aquela propagação, tais como a refração, difracção e reflexão e dispersão não-linear (em frequência e em amplitude). É, por isso, necessário recorrer ao acoplamento de modelos numéricos. Uma comunicação recente [7] descreve o *software* utilizado para facilitar este acoplamento.

Mais concretamente, para um dado valor de agitação marítima ao largo (H_o , T_o e Dir_o), previsto por WWIII, o modelo SWAN transfere este valor para a zona em frente ao porto e daí o modelo DREAMS determina os valores de H_{int} , T_{int} , Dir_{int} no interior do porto.

Esta comunicação apenas abordará a transferência efectuada utilizando o modelo SWAN (*Simulating WAVes Nearshore*) [5] desenvolvido pelo Delft University of Technology, e a validação dessa mesma transferência. A transferência efectuada pelo modelo DREAMS já foi descrita em comunicações anteriores [1][2] e será validada em trabalho futuro, também com dados do porto da Praia da Vitória.

2.3. Previsão ao largo do porto da Praia da Vitória

Em geral, qualquer estado do mar no meio do oceano resulta da sobreposição de grupos de ondas de geração distante (ondulação) e de vagas geradas localmente pelo vento na superfície do mar (mar de vento).

No caso em estudo, as previsões do estado de mar ao largo, que são disponibilizadas pela Universidade dos Açores, são obtidas com o modelo WWIII [3]. Este modelo, por sua vez, é iniciado com as previsões do vento aos 10 m obtidas com o modelo mesoescala MM5 [8], numa malha interpolada de $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ (lat. x long.).

Na Figura 4 apresenta-se um exemplo de resultados na região dos Açores em termos de altura significativa e de direcção de pico no dia 27 de Fevereiro de 2007 às 0.00 horas. Na mesma figura, apresenta-se a grelha de pontos em torno da ilha Terceira onde se podem recolher resultados do modelo WWIII.

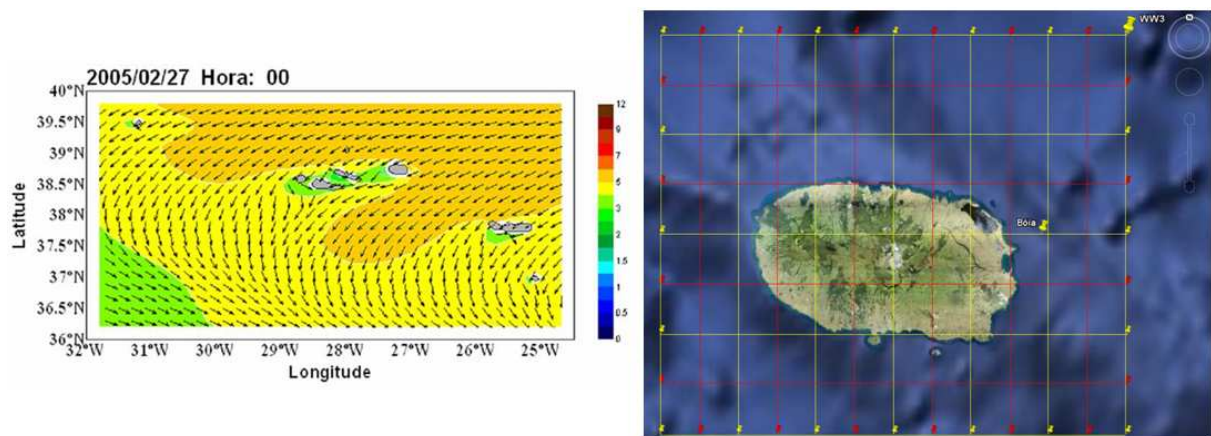


Figura 4 – Modelo WAVEWATCH III. Resultados (altura significativa e direcção de pico) na zona do Arquipélago dos Açores. Grelha de pontos de saída de resultados do modelo em torno da ilha Terceira. Ponto WW3.

2.4. Transferência da previsão ao largo para um ponto em frente ao porto com o modelo SWAN

O ponto WW3 da Figura 4 foi o escolhido para obter os resultados da previsão do estado do mar ao largo pelo modelo WWIII. Uma vez conhecidas as previsões do estado de mar ao largo, i.e. no ponto WW3, estas são transferidas, através do modelo numérico de propagação SWAN até à entrada do porto.

Para aplicação deste modelo, como se pode ver na Figura 5, utilizaram-se 3 malhas de cálculo quadrangulares no processo de transferência da agitação marítima desde o largo até junto do porto. A malha maior tem 55 km por 44 km e um afastamento entre os nós de 200 m. A malha seguinte é quadrada com 20 km de lado e com um afastamento entre nós de 100 m. A terceira malha tem 8 km por 5 km e 50 m de afastamento entre nós. Utilizam-se também ficheiros de batimetria progressivamente mais refinados para cada malha de cálculo.

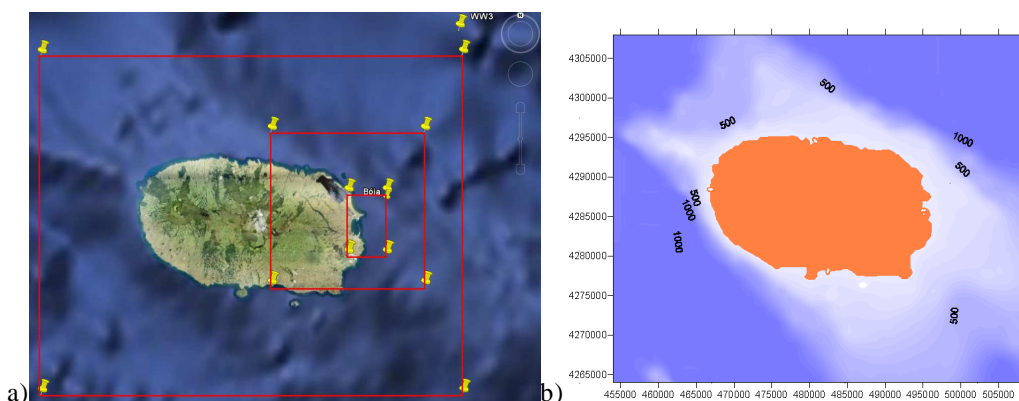


Figura 5 – a) Malhas de cálculo e batimetria da região utilizada nas simulações feitas com o SWAN; b) Batimetria

A necessidade de utilização de várias malhas de cálculo de resolução progressivamente crescente está relacionada com o facto da utilização de um única malha com a maior resolução que permita descrever correctamente a variação espacial da batimetria na proximidade do porto, envolve um número de pontos incompatível com as capacidades computacionais existentes.

Da compatibilização destes requisitos antagónicos resultou a utilização de várias malhas na execução do modelo SWAN. Nestes cálculos, o espectro direccionado foi definido a partir da discretização de um espectro em frequência contendo 24 intervalos, de 0.04 a 1.0 Hz, com distribuição logarítmica, e de uma discretização em direcção cobrindo os 360°, dividida em 180 intervalos ($\Delta\theta=2^\circ$). Todas as execuções, com a versão 40.72 do SWAN, foram realizadas em modo estacionário sem a presença de correntes, sendo posteriormente simulada a presença de vento constante. Os fenómenos físicos incluídos foram refração, o empolamento e a rebentação por influência do fundo e do excesso de declividade (*whitecapping*).

2.5. Previsão em tempo real

Para efectuar previsões da agitação marítima em tempo real é necessário ter em conta dois aspectos importantes, o primeiro relativo ao tempo de cálculo necessário para efectuar as simulações dos modelos SWAN + DREAMS, o segundo relativo à necessidade de automatizar o processo de transferência das previsões do largo até dentro

do porto.

Já foi demonstrado no projecto pyMOIA [9] que a transferência das características da agitação marítima pode ser automatizada de uma forma muito expedita, recorrendo a matrizes de transferência calculadas à priori.

Tal implica a simulação à priori de um vasto leque de condições de agitação que represente apropriadamente todas as possibilidades. Com os resultados constrói-se uma matriz que permite interpolar eficazmente quaisquer outros casos não simulados. Este método para além de reduzir drasticamente o tempo de cálculo, permitindo simulações quase instantâneas, tem ainda a vantagem de tornar o processo de automatização muito mais simples, consistindo este de apenas duas interpolações, uma relativa à propagação feita pelo SWAN e outra relativa à propagação feita pelo DREAMS, Figura 6.

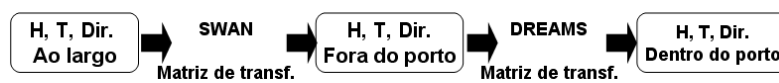


Figura 6 – Metodologia de transferência.

A metodologia descrita tem, no entanto, algumas limitações. Suponhamos que a matriz SWAN é construída de modo a interpolar ondas de 1 a 12 m de Hs (12 alturas), 6 a 24 s de Tp (19 períodos) e 36 direcções (10° de intervalo). Isso requer $12 \times 19 \times 36 = 8208$ simulações as quais demoram 3 meses a calcular num PC *dual-core* 2.40 GHz com 3GB de RAM.

Na definição desta matriz assume-se que o vento não afecta significativamente as características do estado do mar na sua propagação desde o ponto de previsão WW3 até às imediações do porto. Se o vento tiver que ser tido em consideração então a utilização desta metodologia fica mais complicada pois as 8208 previsões do parágrafo anterior multiplicar-se-iam por n valores médios de intensidade de vento e m direcções. Isto considerando apenas uma distribuição uniforme do vento sobre a região onde se processa a propagação da agitação marítima, ou seja desprezando a variabilidade espacial do vento.

Em face deste problema pretendeu-se nesta fase, antes de partir para o cálculo exaustivo das matrizes de transferência, averiguar a precisão dos resultados obtidos com o modelo SWAN e avaliar a influência da consideração do efeito do vento na propagação das ondas na zona marítima junto ao porto.

3. VALIDAÇÃO DA PROPAGAÇÃO DE ONDAS EFECTUADA COM O SWAN

3.1. Medições e previsões

De modo a avaliar a precisão dos resultados da propagação das características da agitação marítima efectuada pelo SWAN desde o ponto WW3 até às imediações do porto, compararam-se os valores produzidos pelo SWAN com os medidos na bóia-ondógrafo instalada a nordeste do porto, Figura 7. É também efectuada uma comparação com os resultados do WWIII obtidos na posição da bóia.

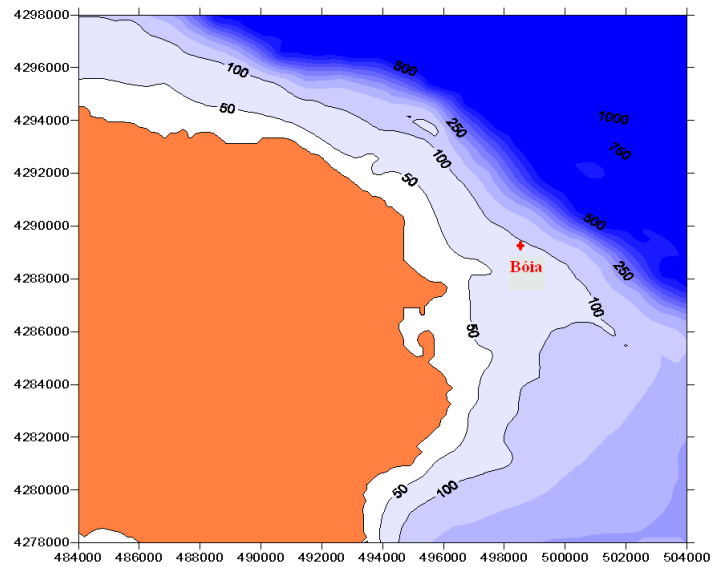


Figura 7 – Localização da bóia-ondógrafo.

Nas figuras 8, 9 e 10 apresentam-se os valores das previsões de WWIII, os resultados de SWAN e os valores medidos na posição da bóia, ponto BOIA, em termos de altura significativa (H_s [m]), período médio (T_z [s]), e direcção de onda média ($Teta$ [°]) para os meses de Janeiro e Fevereiro de 2009.

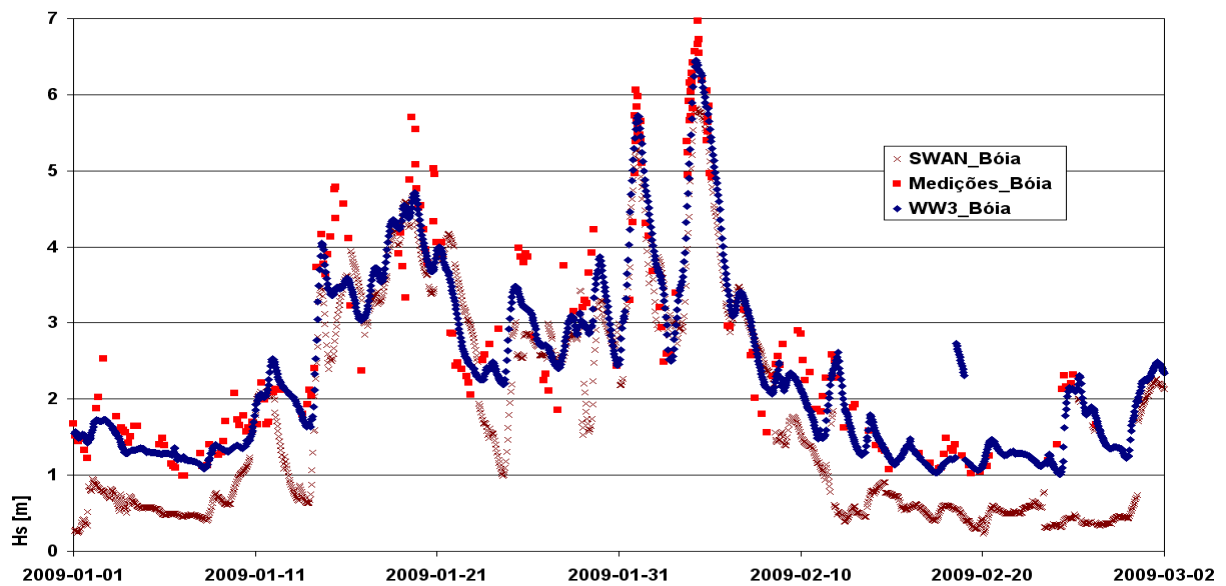


Figura 8 – Comparação dos valores das alturas de onda significativas medidas na bóia e previstas pelos modelos WAVEWATCH III e SWAN.

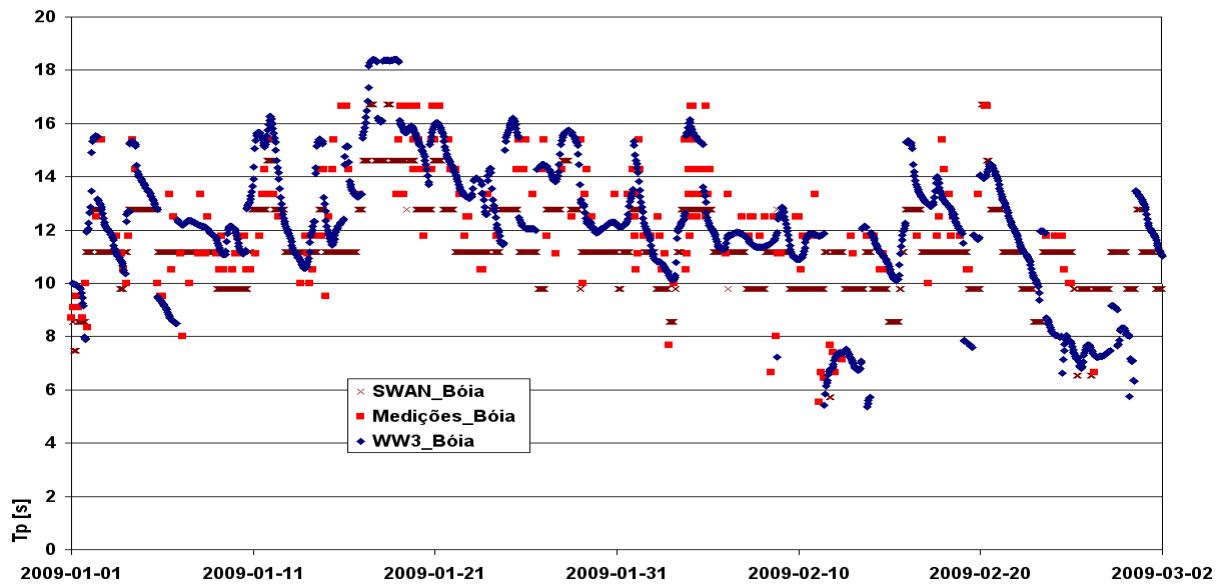


Figura 9 – Comparação dos valores dos períodos de pico medidos na bóia e previstos pelos modelos WAVEWATCH III e SWAN.

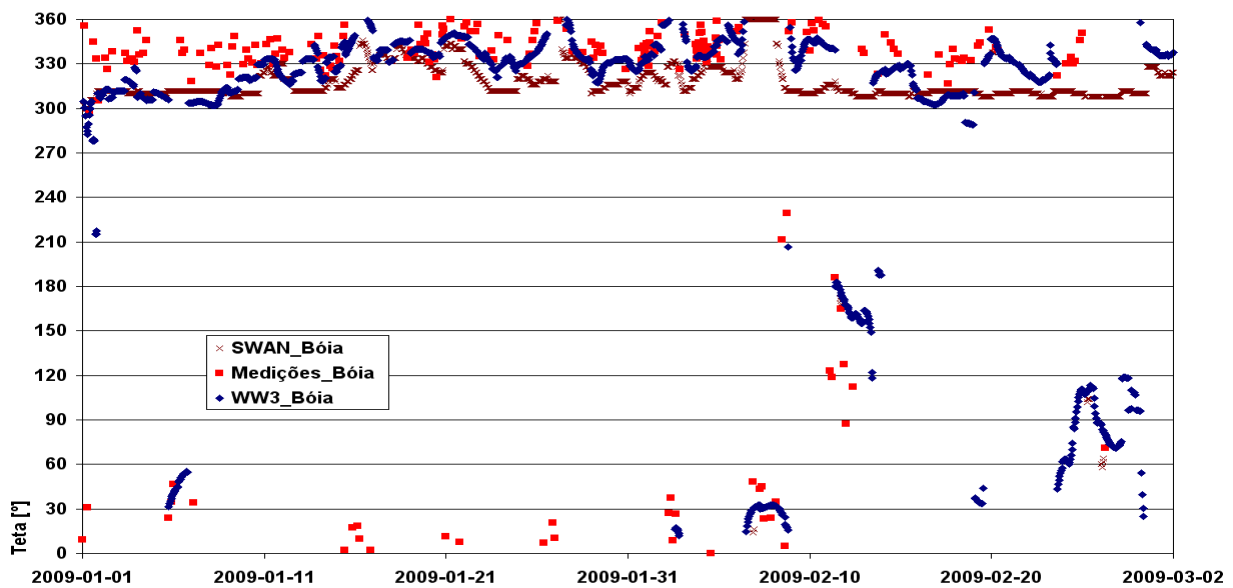


Figura 10 – Comparação dos valores da direcção de pico medidas na bóia e previstas pelos modelos WAVEWATCH III e SWAN.

Na Figura 8, observa-se que, em geral, o andamento dos valores das alturas significativas dos estados de agitação obtidos com o modelo SWAN é semelhante ao dos valores medidos, i.e., os resultados de SWAN acompanham o crescimento e o decréscimo das alturas significativas observado nas medições. Contudo, os valores

previstos pelo SWAN para esta grandeza são, na maioria dos casos, inferiores aos medidos na bóia.

Em detalhe, verifica-se que nas situações mais energéticas, isto é, aquelas com os maiores valores medidos na bóia para a altura significativa do estado de agitação – um exemplo é a situação ocorrida na primeira semana de Fevereiro – os resultados do SWAN acompanham a variação brusca da altura significativa medida na bóia, embora o valor previsto seja inferior ao medido. Esta diferença torna-se mais notável nas situações menos energéticas – como acontece no início e no fim do período analisado – quando a diferença entre o valor previsto e o medido pode ser uma fracção importante deste último. Em particular, no dia 8 de Janeiro pelas 8h a altura significativa medida foi 1.12 m enquanto que o valor previsto a partir das previsões de SWAN foi 0.40 m.

Relativamente ao período médio e direcção média das ondas, figuras 9 e 10, verifica-se também que, durante o período em análise, os valores de SWAN acompanham em geral o andamento dos valores medidos, embora existam diferenças significativas, em valor absoluto, entre valores numéricos e medidos. Enquanto que no caso dos períodos, os valores numéricos sobre estimam os valores medidos, com as direcções de onda passa-se o contrário, i.e. os valores numéricos subestimam os medidos.

Uma das causas para a ocorrência destas diferenças pode ser a ausência de vento nas simulações do SWAN. De facto, tal efeito não foi aqui considerado porque:

- representava um acréscimo substancial no número de situações de teste a considerar para a definição da matriz de transferência e no tempo necessário para a realização dos cálculos respectivos;
- se pretendia validar a abordagem proposta para a propagação das características da agitação marítima do largo para o interior do porto.

Os cálculos anteriores confirmam que tais pressupostos não podem ser seguidos. Com efeito, os resultados de SWAN apresentam diferenças significativas em relação aos valores medidos, o que significa que a aplicação do modelo incluindo apenas os fenómenos do empolamento, refacção, dispersão direccional e em frequência, e rebentação, não consegue por si só reconstituir os estados de agitação marítima verificados neste período de tempo na zona em estudo. Além disso, das próprias figuras 8 e 9 pode concluir-se que a maior diferença entre as previsões do SWAN e as medições da bóia-ondógrafo – no período entre 2 e 10 de Janeiro – ocorre num conjunto de dias em que terá sido a agitação gerada localmente pelo vento a medida na bóia-ondógrafo. De facto, não só a altura significativa é pequena como o período de pico do respectivo estado de agitação o é também.

Além da fraca qualidade dos resultados obtidos com o SWAN, importa referir que as previsões (H, T e Dir) do modelo WWIII na zona da BOIA, que incluem o efeito do vento nas simulações, seguem melhor os valores medidos, sendo as diferenças entre resultados numéricos e os medidos inferiores às do modelo SWAN. Deste modo, julgou-se importante avaliar a influência da consideração do efeito do vento nos resultados observados.

3.2. Simulações do SWAN considerando o vento

Nessa secção, avalia-se as diferenças entre os valores medidos e os resultados numéricos do SWAN para as características de estados de agitação em algumas situações escolhidas, quando se considera o efeito do vento na propagação do estado de agitação e quando tal efeito não está incluído. Para tal, repetiram-se algumas das simulações com o SWAN no período de 4 a 10 de Janeiro de 2009 considerando os valores da velocidade do vento apresentados na tabela 1. Embora o SWAN permita simular a variabilidade temporal e espacial do campo de ventos, considerou-se ser suficiente, para a avaliação pretendida do efeito do vento nos resultados numéricos, utilizar apenas os valores médios da intensidade e direcção do vento na região fornecidos pelo modelo MM5.

Data	Intensidade [m/s]	Direcção [°]
4 Jan. 9h	4.92	201
5 Jan. 21h	0.39	240
6 Jan. 12h	7.29	218
7 Jan. 3h	4.15	311
8 Jan. 8h	10.59	248
9 Jan. 3h	6.86	323
9 Jan. 21h	6.46	275

Tabela 1 – Valores médios da intensidade e direcção do vento previstos pelo modelo MM5 para a região de propagação com o SWAN.

Na Figura 11 apresentam-se os valores da altura significativa dos estados de agitação medidos na bóia ondógrafo para o período de 4 a 10 de Janeiro de 2009, bem como as previsões realizadas com o WWII e o SWAN (não incluindo o efeito do vento), para o mesmo período. Nessa figura estão também representados os valores previstos por SWAN nos dias e horas indicados na tabela 1 com os valores da velocidade do vento aí indicados. Nas tabelas 2 a 4 indicam-se os valores das características (H, T e Dir) dos estados de agitação correspondentes aos grupos data - hora da tabela 1 medidos pela bóia ondógrafo e estimados pelos modelos WWII e SWAN, neste caso distinguindo-se os valores obtidos não incluindo e incluindo o efeito do vento na propagação do estado de agitação.

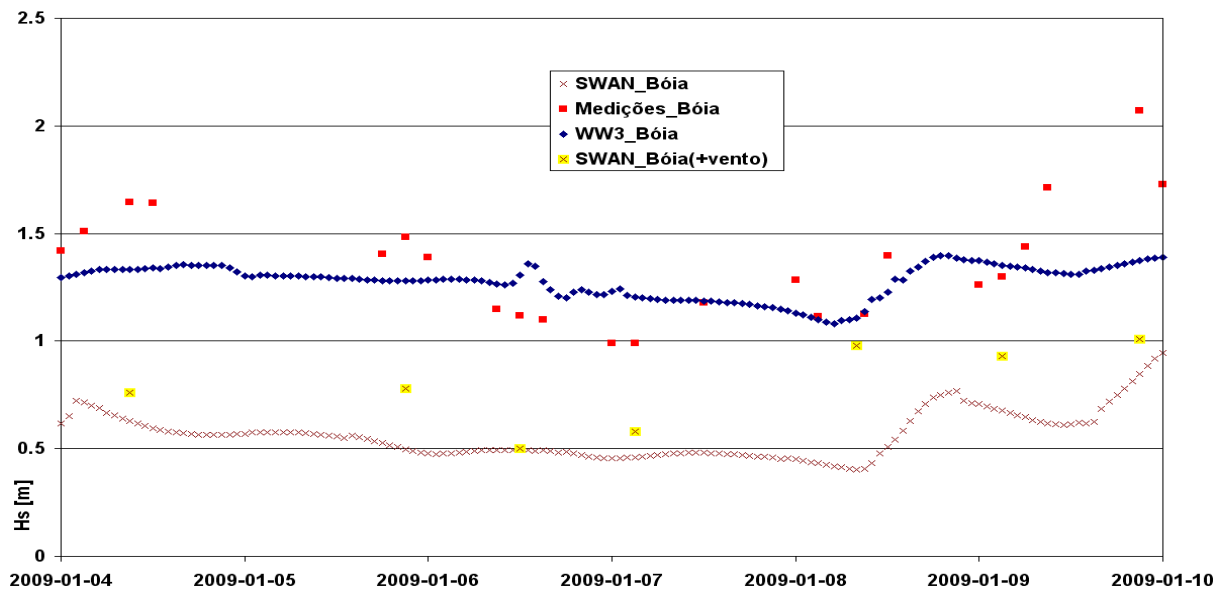


Figura 11 – Comparação dos valores medidos pela bóia-ondógrafo com os previstos pelo modelo WAVEWATCH III para a posição da bóia versus os valores propagados pelo modelo SWAN.

Data	WWIII	SWAN		Medições
		sem vento	com vento	
4 Jan. 9h	1.33	0.63	0.76	1.65
5 Jan. 21h	1.28	0.50	0.50	1.49
6 Jan. 12h	1.31	0.50	0.78	1.12
7 Jan. 3h	1.21	0.46	0.58	0.99
8 Jan. 8h	1.11	0.40	0.98	1.12
9 Jan. 3h	1.35	0.68	0.93	1.30
9 Jan. 21h	1.38	0.85	1.01	2.07

Tabela 2 – Alturas significativas [m] da agitação marítima no local da bóia-ondógrafo.

Data	WWIII	SWAN		Medições
		sem vento	com vento	
4 Jan. 9h	15.31	12.79	12.79	15.38
5 Jan. 21h	9.36	11.18	11.18	9.52
6 Jan. 12h	8.64	11.18	11.18	10.53
7 Jan. 3h	12.20	11.18	11.18	8.00
8 Jan. 8h	12.11	11.18	11.18	11.11
9 Jan. 3h	11.33	9.78	9.78	10.53
9 Jan. 21h	12.11	9.78	9.78	10.53

Tabela 3 – Período de pico [s] da agitação marítima na vizinhança do porto de Praia da Vitória.

Data	WWIII	SWAN		Medições
		sem vento	com vento	
4 Jan. 9h	307	310	310	337
5 Jan. 21h	37	312	312	35
6 Jan. 12h	52	312	312	337
7 Jan. 3h	304	312	312	34
8 Jan. 8h	302	312	310	328
9 Jan. 3h	311	308	310	323
9 Jan. 21h	321	310	310	330

Tabela 4 – Direcção de pico [°] da agitação marítima na vizinhança do porto de Praia da Vitória.

A figura e as tabelas referidas mostram que a inclusão do efeito do vento modifica as características dos estados de agitação previstos pelo SWAN, especialmente no que diz respeito à altura significativa. Em termos de período de pico e direcção de pico, as alterações são muito pequenas. Tal permite concluir que ainda são necessárias melhorias na modelação com o SWAN para que as previsões sejam mais próximas das medições. Note-se que a inclusão do vento no modelo SWAN foi sem realizada ter em conta a sua variabilidade temporal nem espacial, i.e., considerou-se um valor constante da sua intensidade e direcção em todo um domínio de cálculo. Trata-se sem dúvida um aspecto a explorar nos próximos trabalhos.

5. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Apresentaram-se, neste trabalho, os primeiros resultados da validação da implementação do modelo numérico SWAN para simulação da propagação da agitação marítima desde o largo até à proximidade do porto de Praia da Vitória.

Numa fase inicial, realizaram-se previsões das características da agitação marítima na posição onde está colocada a bóia ondógrafo do projecto CLIMAAT utilizando o SWAN sem a inclusão do efeito do vento e considerando como condições de fronteira as características da agitação ao largo previstas pelo modelo numérico WWIII nos meses de Janeiro e Fevereiro de 2009. Comparando as previsões do SWAN com as medições daquela bóia verificou-se que os resultados da implementação do modelo SWAN reproduzem razoavelmente a evolução dos estados de agitação medida na bóia ondógrafo, embora as alturas significativas previstas pelo SWAN sejam geralmente inferiores às medidas na bóia, os períodos de pico superiores aos medidos e as direcções de propagação inferiores às medidas.

Uma vez que as previsões das características da agitação marítima obtidas com o WAVEWATCH III na posição da bóia eram melhores do que as do modelo SWAN e porque aquele modelo inclui o efeito do vento foi decido avaliar, para um conjunto de sete instantes no período entre 4 e 10 de Janeiro de 2009, o efeito da inclusão de um vento estacionário e uniforme no domínio de cálculo sobre os valores previstos pelo SWAN. Deste exercício verificou-se que a inclusão do vento altera ligeiramente os valores previstos da altura significativa dos estados de agitação mas não consegue aproximar substancialmente os valores previstos pelo SWAN dos medidos na bóia.

Face a estes resultados considera-se agora a possibilidade de investigar a influência da variação espacial e temporal do vento nos resultados, bem como a redução da extensão do domínio de cálculo do modelo SWAN, passando a utilizar-se as previsões do WAVEWATCH III num ponto mais próximo da costa.

7. AGRADECIMENTOS

O projecto MOIA é financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia através do projecto PTDC/ECM/73145/2006.

REFERÊNCIAS

- [1] J.A. Santos; L. Guilherme; C.J. Fortes; A. Palha; A. Simões, “*MOIA – An operational tool for port management*”, Mediterranean Days of Coastal and Port Engineering, Palermo, (2008).
- [2] J.A. Santos; L. Guilherme; C.J. Fortes; A. Palha; A. Simões, “*Metodologia para a previsão da agitação marítima implementada no pacote MOIA*”, XI Jornadas Técnicas de Engenharia Naval – O Sector Marítimo Português, Lisboa, (2008).
- [3] A. Simões, “*O Clima de Agitação Marítima nas Ilhas da Macaronésia. Um Estudo nos Açores.*”, Relatório de projecto CLIMAAT, (2006).
- [4] H.L. Tolman, “*User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.18.*”, NOAA / NWS / NCEP / OMB technical note 166, 110 pp, (1999).
- [5] N.R. Booij; L.H. Holthuijsen; R.C. Ris, “*The SWAN wave model for shallow water*”, ICCE’96, Orlando, USA, pp. 668 – 676, (1996).
- [6] C.J.E.M. Fortes, “*Modelação matemática da refacção e da difracção combinadas de ondas marítimas (análise pelo método dos elementos finitos).*”, Dissertação de Mestrado em Eng. Mecânica, IST, (1993).
- [7] L. Guilherme et al., “*Coupling numerical models for wave propagation in the MOIA package*”, Journal of Coastal Research, SI 56 (Proceedings of the 10th International Coastal Symposium), pg – pg. Lisbon, Portugal, ISBN, (2009).
- [8] G.A. Grell; J. Dudhia; D.R. Stauffer, “*A description of the fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale model (MM5)*”, NCAR TECHNICAL NOTE, (1995).
- [9] A.C. Palha, “*pyMOIA – Previsão, em Tempo Real, da Agitação Marítima em Zonas Portuárias*”, 5as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, Lisboa, (2007).