



## **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE PREVISÃO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA IMPLEMENTADOS PARA OS PORTOS PORTUGUESES**

Mariana Bernardino, Liliana Rusu, Dina Silva, Rute Bento, Paula Pilar, C. Guedes Soares  
Centro de Engenharia e Tecnologia Naval (CENTEC), Instituto Superior Técnico, Universidade  
Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal

[mariana.bernardino@mar.ist.utl.pt](mailto:mariana.bernardino@mar.ist.utl.pt), [lrusu@mar.ist.utl.pt](mailto:lrusu@mar.ist.utl.pt), [dina.silva@mar.ist.utl.pt](mailto:dina.silva@mar.ist.utl.pt),  
[rute.bento@mar.ist.utl.pt](mailto:rute.bento@mar.ist.utl.pt), [pilar@mar.ist.utl.pt](mailto:pilar@mar.ist.utl.pt), [guedess@mar.ist.utl.pt](mailto:guedess@mar.ist.utl.pt)

### **Resumo**

Apresenta-se o sistema de previsão da agitação marítima que, desde 2008 que se encontra operacional no CENTEC e que é disponibilizado aos portos de Sines e de Leixões, bem como uma avaliação do seu desempenho

O sistema, que se baseia em modelos atmosféricos de alta resolução (Mesoscale Meteorological Model - MM5) e de previsão de agitação marítima (Simulating Waves Nearshore - SWAN), forçados pelos modelos globais atmosféricos (Global Forecast System – GFS) e de agitação marítima (Wave Analyses Model – WAM), produz informação detalhada sobre vento e ondas nas áreas de interesse junto à costa Portuguesa, produzindo informação, de actualização diária, até 4 dias de previsão, com uma resolução temporal de 3 horas.

A avaliação dos resultados do sistema de previsão foi realizada através da comparação das previsões de vento e ondas à escala local com dados observacionais disponibilizados na Internet pelo Instituto Hidrográfico e pelo Porto de Sines.

### **1 Introdução**

A actividade dos portos está dependente do estado do mar que condiciona a entrada e saída dos navios em condições de segurança. De modo a gerir estas actividades em segurança, os grandes portos possuem, usualmente, sistemas de monitorização, baseados em bóias ondógrafo ou em radares, que fornecem informação em tempo real sobre o estado do mar à entrada do porto.

Um conhecimento antecipado do estado do mar permite aos portos um melhor planeamento das suas actividades. Actualmente essa função é assegurada pelos boletins meteorológicos dos vários serviços meteorológicos, os quais, que são normalmente obtidos a partir de modelos numéricos globais.

O ambiente litoral é uma zona de transição entre dois ambientes distintos, o oceano e a terra, sujeita a situações de frequente baroclinicidade, e a fenómenos atmosféricos e oceanográficos locais de elevada variabilidade. As zonas costeiras apresentam assim particularidades que fazem com que a modelação numérica se torne substancialmente mais complexa e difícil do que em oceano aberto. Os modelos meteorológicos globais, fruto da sua própria estrutura, filosofia de utilização e resolução horizontal, não são o instrumento mais adequado para uma previsão local de escala limitada, junto a costa. O mesmo se aplica aos modelos de previsão de agitação marítima globais, que junto a costa, e perante condições batimétricas complexas no fundo da plataforma continental, geram previsões muitas vezes desviadas da realidade. As previsões meteorológicas e de agitação marítima disponibilizadas pelos centros nacionais e internacional são normalmente feitas a uma escala global e não têm em conta as especificidades locais à escala das áreas de jurisdição das autoridades portuárias. Esta situação justifica o desenvolvimento e a implementação de um sistema operacional de previsão da agitação marítima, baseado em modelos regionais executados em domínios de alta resolução de modo a ser possível fornecer informação fidedigna sobre o estado do mar mesmo à entrada dos portos.



## 6<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

O sistema de previsão que foi implementado no âmbito do projecto MARPORT (*Sistema de Previsão da Agitação Marítima em Portos Portugueses*) e que se descreve no presente trabalho, baseou-se em modelos meteorológicos globais e locais e em modelos de agitação marítima à escala oceânica e à escala local. Foram usados modelos de última geração apropriados às aplicações em causa e cujos aninhamentos foram já amplamente testados e validados na reconstituição de estados de mar na costa Portuguesa.

### 2 O sistema de previsão

#### 2.1 Os modelos

O sistema de previsão que foi implementado, parte de previsões meteorológicas produzidas pelo modelo GFS - Global Forecasting System. Este modelo, desenvolvido e utilizado pelo NOAA/NCEP (*National Centre for Environmental Prediction*) produz previsões meteorológicas à escala global, actualizadas 4 vezes por dia e com um alcance de 16 dias.

Para a previsão meteorológica à escala local foi utilizado o modelo MM5 (Mesoscale Meteorological Model) o qual é um modelo de terceira geração, de área limitada, não hidrostático, com um sistema de coordenadas sigma, adequado para simular ou prever a circulação atmosférica de mesoescala e microescala, desenvolvido pela Pennsylvania State University em conjunto com o National Center for Atmospheric Research (Dudhia *et al.*, 2000; Grell *et al.*, 1994). Tem capacidade de múltiplos aninhamentos a correr simultaneamente. Para uma interacção de dois sentidos a relação de aninhamento deverá ser sempre de 3:1. No sistema implementado começou por se utilizar quatro grelhas, com diferentes resoluções. A grelha mais larga possui uma resolução de 38 km e faz a interface entre o modelo global e o regional. Os restantes domínios, de resoluções cada vez maiores, foram definidos de modo a manter a relação de aninhamento e a ser possível obter informação detalhada nos domínios de alta resolução sobre os locais de interesse para o projecto MARPORT, i.e., as áreas adjacentes aos portos de Sines e Leixões.

Tabela 1- Parametrização física implementada no modelo MM5

<b>Dinâmica do modelo</b>	Não hidrostático, equações primitivas			
<b>Resolução vertical</b>	30 níveis sigma			
<b>Resolução horizontal (km)</b>	38	12.33	4.1	1.37
<b>Dimensão das grelhas</b>	23 x 33	28 x 58	37 x 46	37 x 46
<b>Resolução do terreno e utilização do solo</b>	10 min	5 min	2 min	30 s
<b>Radiação</b>	Esquema Dudhia para radiação de grande e pequeno comprimento de onda. São considerados os efeitos de radiação causados pelas nuvens.			
<b>Processos de superfície</b>	Esquema de difusão de solo multi-camadas.			
<b>Camada limite planetária</b>	Esquema MRF			
<b>Temperatura da superfície do mar</b>	SST não é actualizada durante a execução do modelo			
<b>Convecção</b>	Esquema de Grell em todas as grelhas			
<b>Humidade</b>	Esquema de gelo simples			

O modelo MM5 suporta diferentes parametrizações físicas possíveis, estando descritas na tabela 1 as utilizadas no presente estudo, bem como os diferentes níveis de resolução utilizados.

O forçamento utilizado consiste em campos meteorológicos a diferentes níveis que são fornecidos pelo modelo GFS e que após conversão de formato GRIB2 para GRIB1, podem ser pré-processados por um dos módulos do MM5. O modelo permite obter um vasto conjunto de campos meteorológicos nas diferentes grelhas definidas e com a resolução temporal que se desejar, no entanto, uma vez que apenas os campos do vento aos 10 metros tem interesse para a aplicação em causa, apenas esta variável foi extraída.

Quanto à agitação marítima, foram utilizados dois modelos: o modelo WAM à escala Atlântica e o modelo SWAN às escalas regional e local.

O modelo WAM é um modelo de ondas de terceira geração que resolve a evolução do espectro bidimensional de ondas superficiais através da integração da equação do transporte de energia. Pode ser usado à escala regional ou global, tanto para águas profundas como pouco profundas. O modelo utilizado baseia-se no WAM ciclo 4 (WAMDI Group, 1988), modificado por Gómez e Carretero (1997), de modo a ser possível utilizar grelhas encaixadas nas duas direcções (ou seja, *two-way nesting*), integrando a equação básica de transporte no mesmo passo de tempo para todos os pontos, e definindo o espaçamento de modo a depender da localização do ponto na malha. A área de aplicação abrange o Atlântico Norte, onde se definiram diversas malhas com uma resolução crescente até às zonas costeiras, sendo a resolução mais alta, com 0.25 graus, usada na costa da Península Ibérica, como pode ser observado na tabela 2 e figura 1 (Pilar *et al.*, 2008). As condições de entrada necessárias para o modelo WAM consistem nos campos do vento aos 10 m e no campo da cobertura de gelo. Estes campos são obtidos do modelo GFS do NCEP com um espaçamento de um grau em longitude e em latitude e um intervalo de tempo de seis horas.

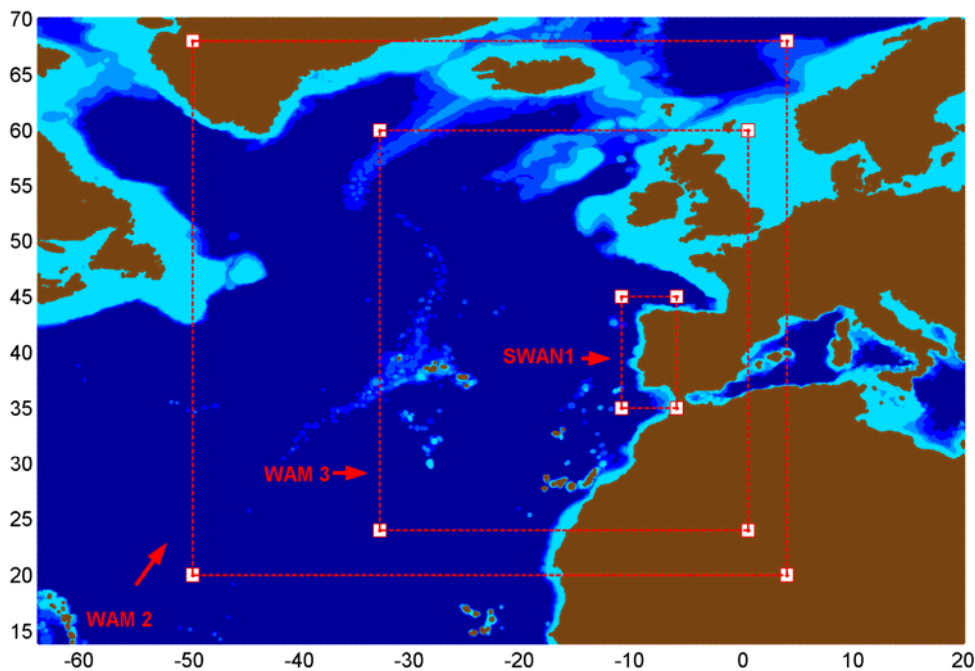


Figura 1- Representação das 4 grelhas encaixadas utilizadas pelo modelo WAM.

As previsões da agitação marítima junto à costa Portuguesa são produzidas utilizando o modelo SWAN (Booij *et al.*, 1999). Este modelo é de terceira geração concebido para simulação de ondas em zonas costeiras. É baseado na equação de equilíbrio espectral e considera efeitos de propagação espacial, refração, empolamento, geração, dissipação e interações não lineares onda-onda.



**6<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária**  
**Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009**

*Tabela 2- Definições do modelo WAM.*

Grelhas	Larga 1	Larga 2	Média	Fina
$\Delta x$ (°)	2°	1°	0.5°	0.25°
$\Delta y$ (°)	2°	1°	0.5°	0.25°
n° pts x	43	55	67	31
n° pts y	29	49	73	17
Vento	Campos de vento GFS/NCEP com resolução 1°x1° e a cada 6h			
Gelo	Campos de gelo GFS/NCEP com resolução 1°x1° e a cada 6h			
$\Delta t$ (s)	300			
n° freq	25			
n° dir	24			

O SWAN foi implementado em quatro grelhas e em três níveis de resolução espacial. A grelha mais larga compreende uma área entre os 35°N e os 45°N e os 6° O e os 11°O, a qual se encontra representada na figura 1. Com uma resolução média, foram definidas duas áreas, a primeira compreende a costa oeste de Portugal continental entre Leiria e Viana do Castelo e a segunda a costa oeste de Lisboa para sul. Está ainda definida uma grelha de alta resolução em torno do porto de Sines. É na grelha mais larga do modelo SWAN que faz a interface entre os dois modelos pois é ao longo desta que são geradas as condições fronteira paramétricas fornecidas ao modelo SWAN pelo modelo WAM.

*Tabela 3 - Parametrização implementada no modelo SWAN*

Grelha	Larga	Média	Fina
Resolução em $\Delta x$ (°)	0.05°	0.02°	0.005°
Resolução em $\Delta y$ (°)	0.1°	0.02°	0.005°
N.º de células em x	101	62	101
N.º de células em y	101	75	101
Batimetria	Resolução igual à grelha computacional		
Condições fronteira	WAM	SWAN malha larga	SWAN malha intermédia
Forçamento	Vento aos 10m produzidos pelo modelo MM5		
Modo computacional	Não estacionário		
Discretização temporal	20 min		
Esquemas numéricos	S&L	BSBT	BSBT
Geração das ondas	Formulação Janssen com coeficiente de crescimento activado		
Fricção de fundo	Formulação JONSWAP		

Os vários domínios de cálculo do modelo SWAN foram definidos e dimensionados e estão representados na figura 2. Na tabela 3, apresentam-se as parametrizações utilizadas nos três níveis de aninhamento. O modelo SWAN é executado em modo não estacionário, produzindo previsões da agitação marítima com uma resolução temporal de 3 horas e um alcance de 4 dias.

## 2.2 Integração dos modelos

Os modelos instalados num cluster de computadores utilizando o sistema operativo Linux. No caso do modelo MM5, utilizou-se a opção de processamento paralelo através do software MPICH.

Foram elaborados programas para automatizar a aquisição de campos meteorológicos a partir do site do NCEP e sua posterior conversão para formato GRIB1. Também foi automatizada a transformação do formato dos dados de saída dos modelos WAM e MM5 para serem lidos pelo modelo SWAN. Foram elaboradas aplicações em MatLab para realizar o pós processamento dos resultados produzidos e sua visualização.

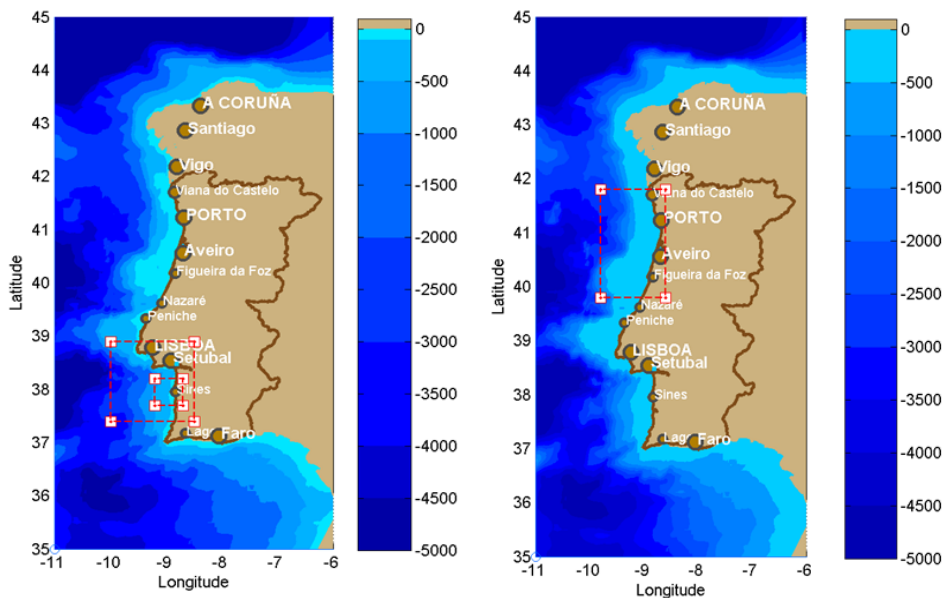


Figura 2 – Domínios de cálculo definidos para o modelo SWAN

A figura 3 representa esquematicamente o sistema de previsão implementado, os diferentes modelos e os mecanismos de transferência de informação entre eles.

## 2.3 Produtos finais

O sistema de previsão implementado, descrito neste artigo, pretende fornecer informação sobre o campo da agitação marítima (altura significativa e direcção média) na costa Portuguesa, com uma resolução temporal de 6 horas. Além disso, fornece também séries temporais das previsões a 4 dias da altura significativa, período médio e período de pico, obtidas para localizações próximas dos portos de Sines e Leixões. As figuras 4 a 6 são exemplos da informação que é disponibilizada aos portos através de acesso restrito de uma página de Internet.

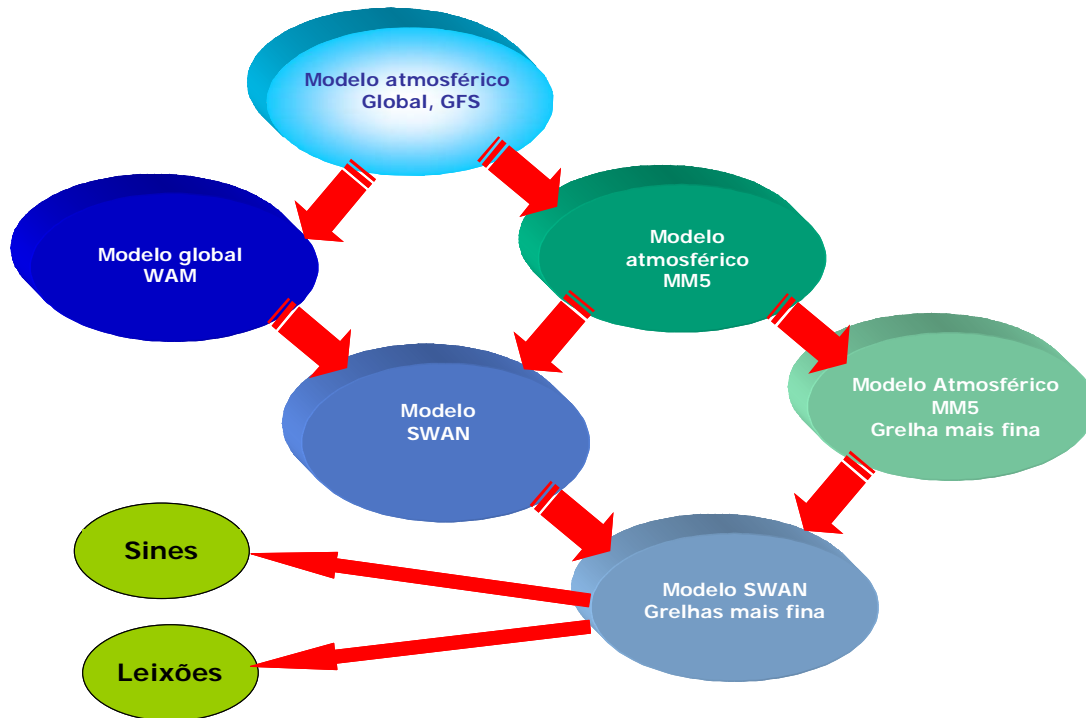


Figura 3- Descrição esquemática do sistema de previsão da agitação marítima

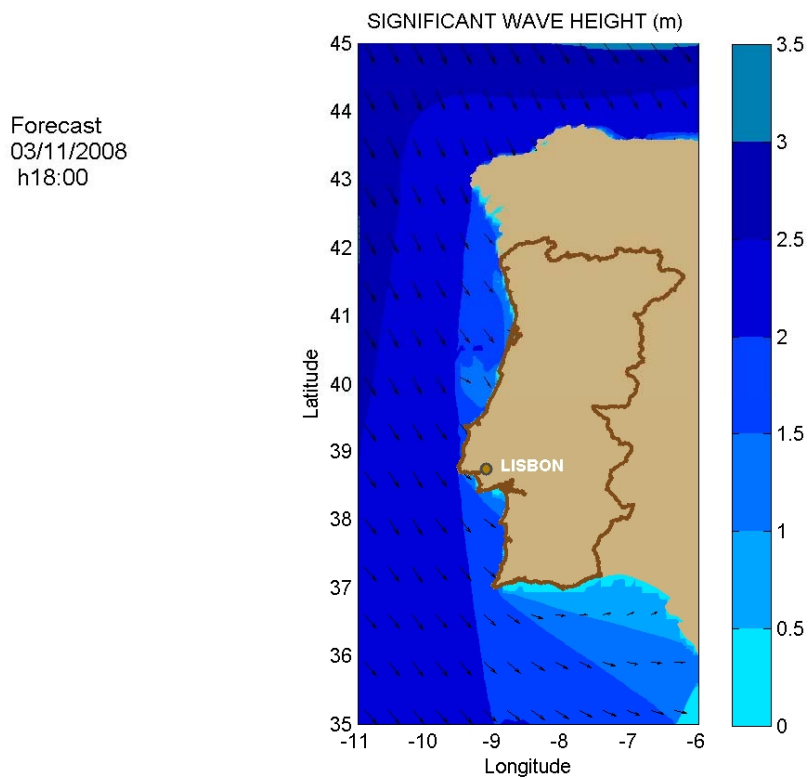
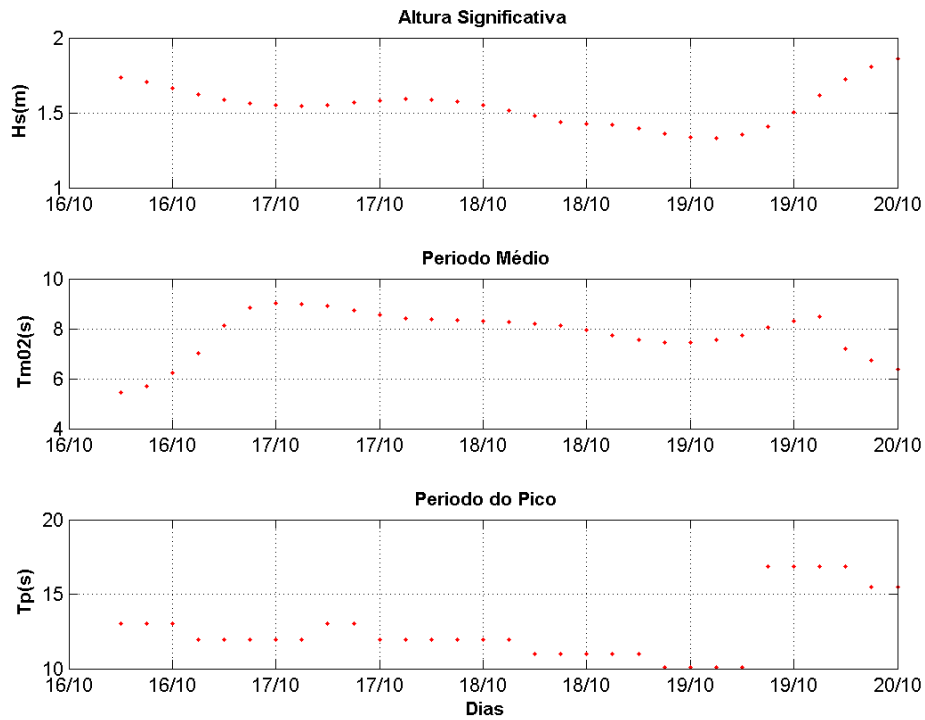


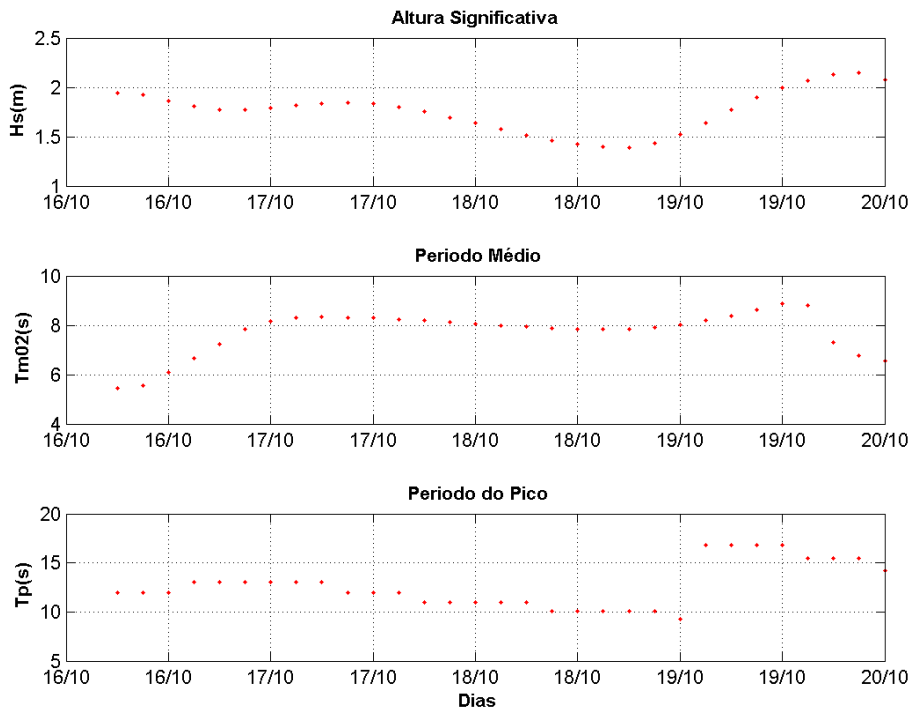
Figura 4 - Campos da altura significativa e direcção média previstos para dia 3 de Novembro de 2008, às 18.00h.



**6<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária**  
**Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009**



*Figura 5- Séries temporais da altura significativa, período médio e período de pico, previstos para o Porto de Sines entre 16 e 20 de Outubro de 2008.*



*Figura 6 - Séries temporais da altura significativa, período médio e período de pico, previstos para o Porto de Leixões entre 16 e 20 de Outubro de 2008.*



### 3 Validações dos modelos

Os modelos utilizados no sistema de previsão implementado, foram validados em situações diversas, em várias partes do mundo e na costa portuguesa em particular. Apresentam-se aqui a título ilustrativo, alguns resultados dessas validações.

O modelo MM5 foi já testado e calibrado em domínios de alta resolução na costa Portuguesa que são objecto do presente trabalho (Bernardino *et al.*, 2008 e Rusu *et al.*, 2008). Em particular foram simulados os campos do vento durante 3 meses (Dezembro de 2000 a Fevereiro de 2001). Os campos simulados em cada um dos domínios (g1 corresponde à grelha mais larga e g4 à grelha mais fina) foram interpolados de modo a obter a série temporal da magnitude do vento num ponto onde existem medições efectuadas pelo Porto de Sines. As séries temporais obtidas em cada uma das simulações foram comparadas com a série temporal das observações.

Os resultados estatísticos desta comparação são apresentados na tabela 4 onde se pode ver que todas as simulações representam bem as observações com erros inferiores a 2.30 m/s. A simulação obtida na grelha mais larga subestima as observações enquanto que as restantes produzem valores que são em média superiores às observações.

Observa-se também que as simulações em grelhas mais finas não produzem resultados necessariamente de melhor qualidade que grelhas mais largas, pelo menos no que diz respeito aos três meses aqui simulados. Das quatro simulações, parece ser a correspondente à grelha g2 (com uma resolução espacial de cerca de 12 km) a que melhor representa o vento neste local e durante o período em questão.

Tabela 4 - Estatísticas entre as observações e as simulações de vento produzidas pelo modelo MM5 obtidas de quatro grelhas de diferente resolução na área do Porto de Sines, durante três meses, entre Dezembro de 2000 e Fevereiro de 2001.

	MM5_g1	MM4_g2	MM5_g3	MM5_g4
RMSE	2.11	2.20	2.27	2.29
Viés	-0.64	0.38	0.59	0.61
Erro médio	1.57	1.64	1.73	1.74
Correlação	0.79	0.77	0.77	0.77

A validação do modelo WAM na Costa Portuguesa foi realizada através de uma reconstituição da agitação marítima, tendo a selecção do período de tempo dependido dos dados de bóias ondógrafo disponíveis (Guedes Soares *et al.*, 2004 e Pilar *et al.*, 2008). Foi efectuado um estudo mais aprofundado para a região de Sines, para o qual existem 14 anos (de 1988 a 2001) de dados de altura significativa ( $H_s$ ).

Compararam-se as simulações do modelo com os dados de bóia, de modo a estimar de um modo expedito o erro existente na simulação do modelo. Também para a Figueira da Foz e para os meses de Janeiro e Fevereiro de 1994, pode observar-se uma grande semelhança entre os resultados do modelo e os dados de bóia, na Figura 7.

O modelo SWAN foi também já amplamente validado para a costa Portuguesa (Rusu *et al.*, 2005a e 2005b, Rusu *et al.* 2008), sendo inclusivamente utilizado na previsão operacional da agitação marítima produzida pelo Instituto Hidrográfico (Bernardino *et al.*, 2005).

Na figura 8 apresenta-se um exemplo de uma aplicação de modelo SWAN na costa portuguesa. Pode observar-se a série temporal da altura significativa medida por uma bóia do Instituto Hidrográfico, localizada ao largo da Figueira da Foz e uma simulação realizada utilizando o modelo SWAN, para um período de cerca de três meses. Comparando os resultados apresentados na figura 8 com os da figura 7 que representam simulações realizadas utilizando o modelo WAM, pode observar-se que a aplicação de um modelo regional, resulta

numa nítida melhoria na qualidade das simulações. O modelo WAM necessita, no entanto, de ser utilizado de modo a fornecer as condições fronteira necessárias ao modelo SWAN.

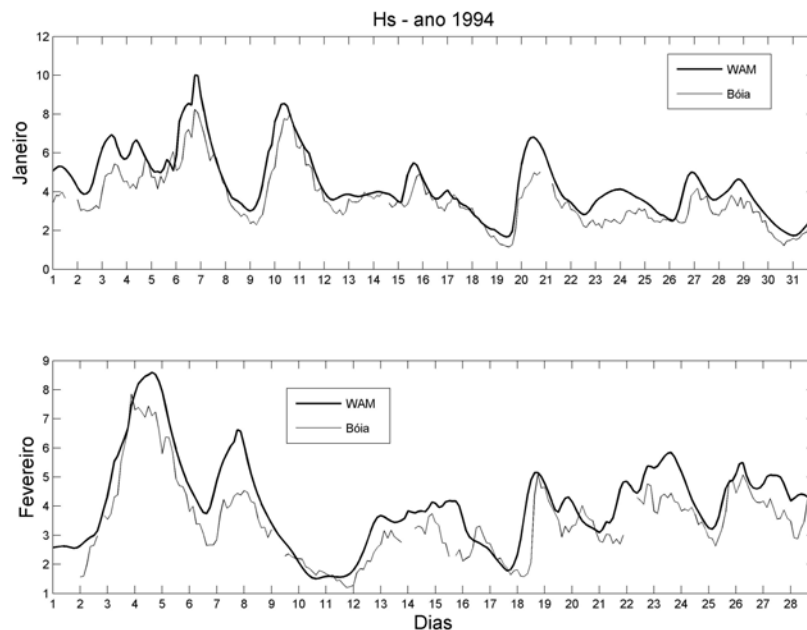


Figura 7 - Comparações da altura significativa, observada e simulada usando o modelo WAM, na bóia da Figueira da Foz em Janeiro e Fevereiro de 1994.

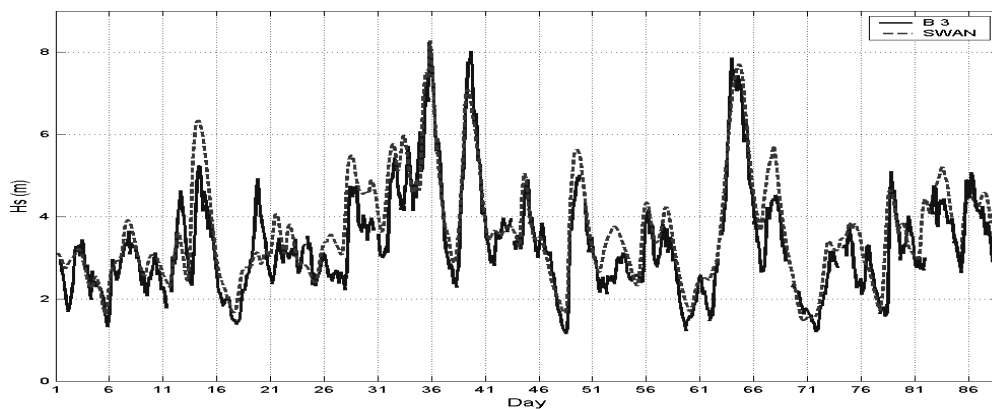


Figura 8 - Comparações da altura significativa, observada e simulada usando o modelo SWAN, na bóia da Figueira da Foz entre 03.12.1993 e 28.02.1994.

#### 4 Validação do sistema de previsão

O sistema de previsão da agitação marítima encontra-se a funcionar diariamente desde meio de Outubro de 2008. Apesar do período de operação ser curto e de durante as primeiras semanas de 2009 não ter sido possível executar o modelo SWAN, foram já realizados alguns testes de modo a avaliar o desempenho do sistema de previsão. Foram realizadas comparações entre a magnitude do vento modelada e observada na estação meteorológica localizada no porto de Sines (8.940°W, 37.975°N) e da altura significativa das ondas, modelada e observada nas bóias de Sines (8.9289°W, 37.9211°N) e Leixões (8.980°W, 41.316°N). Os dados observacionais de agitação marítima utilizados foram os disponibilizados pelo Instituto Hidrográfico através do seu site. A localização da bóia de Sines encontra-se representada na



## 6<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

figura 9 e a da bóia de Leixões na figura 10. Na figura 9 pode também observar-se a localização da estação meteorológica do porto de Sines onde são efectuadas as medições do vento.

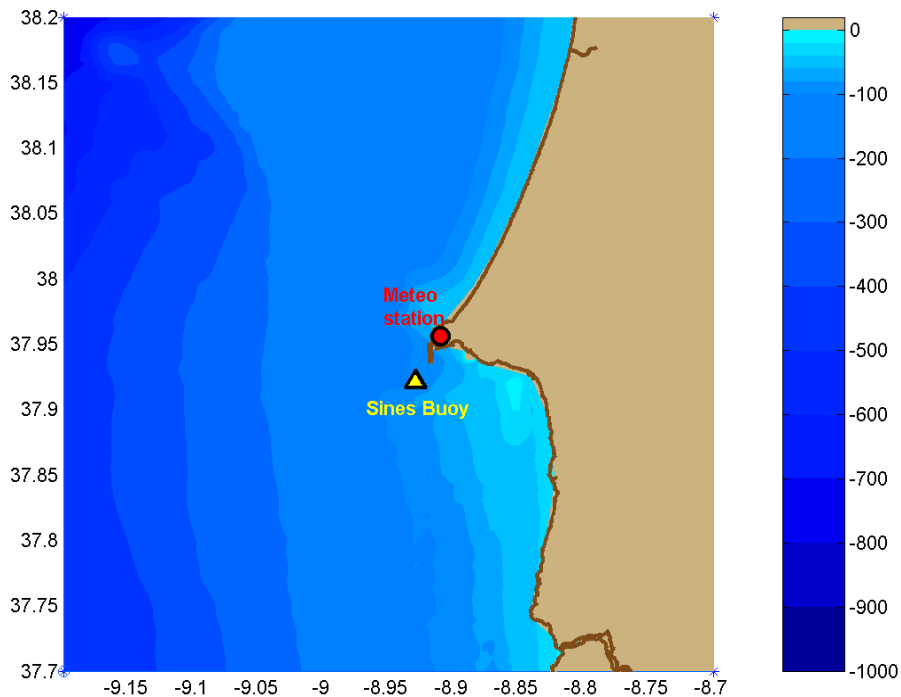


Figura 9 - Localização da estação meteorológica e da bóia ondógrafo utilizadas na validação das previsões para o porto de Sines.

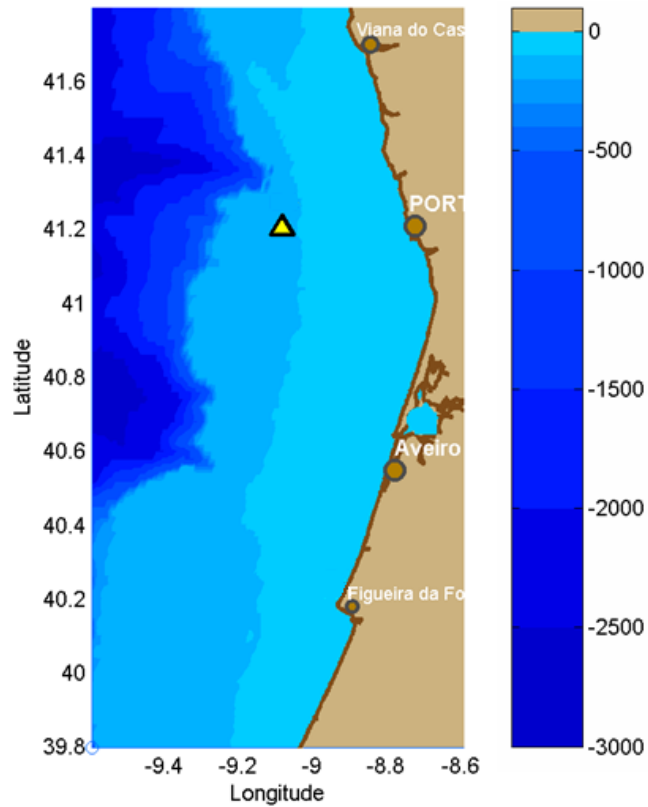


Figura 10 - Localização da bóia ondógrafo utilizadas na validação das previsões para o porto de Leixões



## 6<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

Uma vez que são produzidas diariamente previsões com um alcance de 4 dias, quando se pretende realizar uma avaliação das previsões, verifica-se que na realidade para cada dia do calendário existem 4 simulações realizadas em dias diferentes, que podem ser comparadas com as observações. Ao executar o sistema de previsão no dia 1, produz-se previsões para os dias 1 a 4, no dia seguinte produz-se previsões para os dias 2 a 5 e assim sucessivamente.

Pode-se deste modo organizar os resultados das previsões de vento e parâmetros de agitação marítima de modo a construir quatro séries. A primeira série contém previsões que foram simuladas com um alcance de menos de 24 horas ( X, na tabela 5) e será designada como previsões a 1 dia. A segunda série contém previsões que foram simuladas com um alcance entre as 24 e as 48 horas ( o, na tabela 5) será designada como previsões a 2 dias. A terceira série contém previsões que foram simuladas com um alcance entre as 48 e as 72 horas ( #, na tabela 5) será designada como previsões a 3 dias. Finalmente, a quarta série contém previsões que foram simuladas com um alcance entre as 72 e as 96 horas ( Δ, na tabela 5) será designada como previsões a 4 dias.

Tabela 5 - Esquema ilustrativo dos resultados das previsões ((x) - previsão a 1 dia, (o) - previsão a 2 dias, (#) - previsão a 3 dias, (Δ)- previsão a 4 dias) e sua relação com as observações (O-observação Hs, V-observações de vento)

Obs- Hs	oooooooo oooooooooo oooooooooo oooooooooo oooooooooo oooooooooo					
Obs- vento	v		v		v	
Dia da previsão	1	2	3	4	5	6
1	xxxxxxx	oooooooo	#####	ΔΔΔΔΔΔΔΔ		
2		xxxxxxx	oooooooo	#####	ΔΔΔΔΔΔΔΔ	
3			xxxxxxx	oooooooo	#####	ΔΔΔΔΔΔΔΔ

A organização dos resultados das previsões desta maneira, permite avaliar a sua qualidade em função da distância temporal à data em que foi feita a previsão

### 4.1 Avaliação das previsões de vento

Para avaliar os resultados das simulações do vento, apenas se dispôs de observações no porto de Sines uma vez por dia, às 12h locais. A inexistência pontual de observações deveu-se a problemas de acesso ao site do Porto de Sines, à sua falta de actualização ou à esporádica falta de aquisição dos mesmos.

É de salientar que o modelo MM5 é executado diariamente para um período que começa 24 horas anteriores à data em questão de modo a permitir executar diariamente a iniciação do modelo

Nas figuras 11 e 12 encontram-se apresentadas as séries temporais da magnitude do vento, medida e simulada, para as 12 horas de cada dia, no porto de Sines desde Novembro de 2008 até meio de Março de 2009. Na figura 11, representam-se as simulações a 12 h e a 32 h enquanto que na figura 12, as previsões a 60 h e a 84 horas.

Foram calculados parâmetros estatísticos semanais, RMSE (raiz do erro médio quadrático) e BIAS (viés) entre a magnitude do vento observado e as simulações a diferentes alcances. Nas figuras, 13 e 14 podem ser observadas as evoluções temporais destes parâmetros.

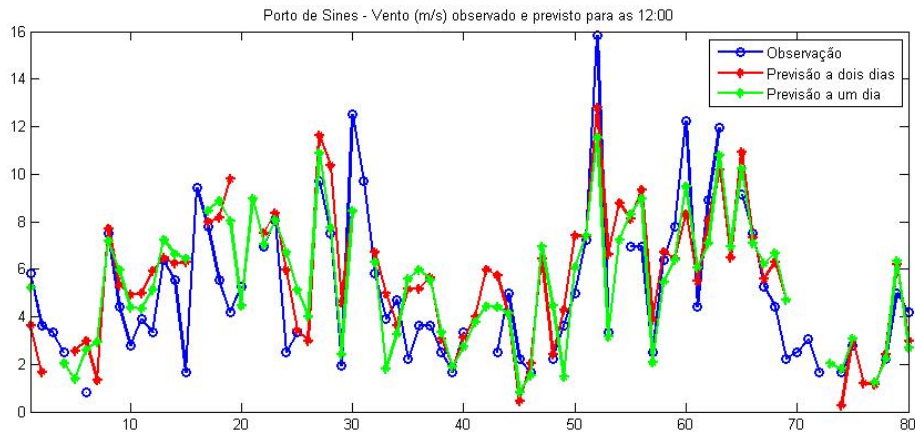


Figura 11—Séries temporais da magnitude do vento observadas e simuladas a 12 e a 36 horas, para o porto de Sines.

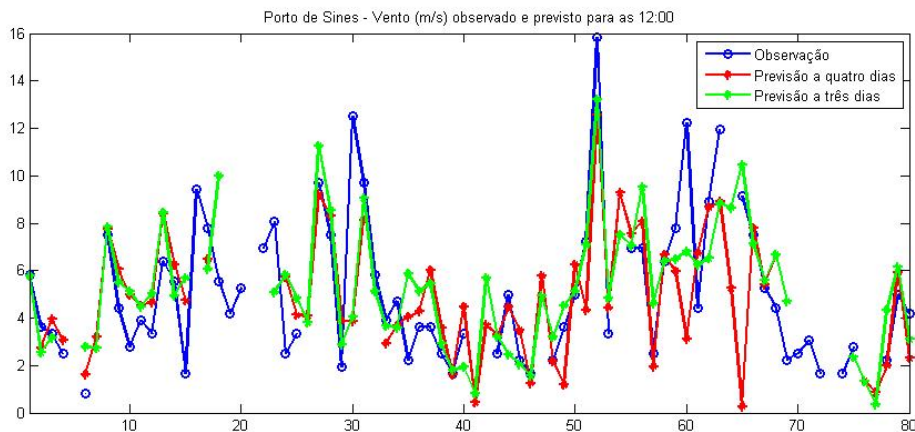


Figura 12 –Séries temporais da magnitude do vento observadas e simuladas a 60 e 84 horas, para o porto de Sines

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i^N (X_{obs} - X_{prev})^2} \quad BIAS = \frac{1}{N} \sum_i^N (X_{obs} - X_{prev})$$

Pode-se verificar que excepto para a previsão a 84 horas, os valores simulados possuem um enviesamento negativo, indicando que o modelo produz em geral resultados mais elevados que as observações.

Observando os valores do RMSE, verifica-se que existe alguma variabilidade deste parâmetro ao longo do tempo, sendo as simulações até três dias as que apresentam melhores resultados. No entanto as diferenças de RMSE nos 3 primeiros dias é desprezável podendo-se considerar que só no quarto dia há um aumento significativo apesar de pequeno. Em termos gerais pode verificar-se que é a previsão a 60 h (3 dias) que apresenta erros menos elevados com viés de -0.18 m/s (tabela 6).



**6<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária**  
**Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009**

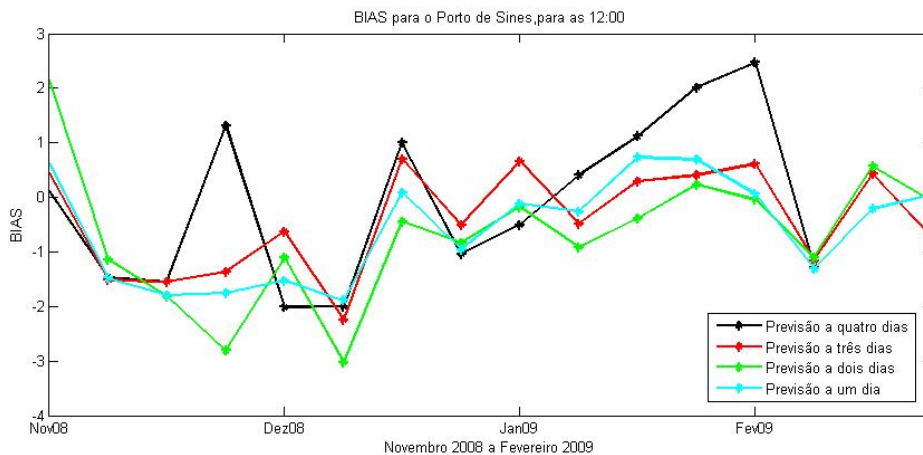


Figura 13–Evolução do BIAS semanal entre os valores observados e simulados de magnitude do vento para o porto de Sines

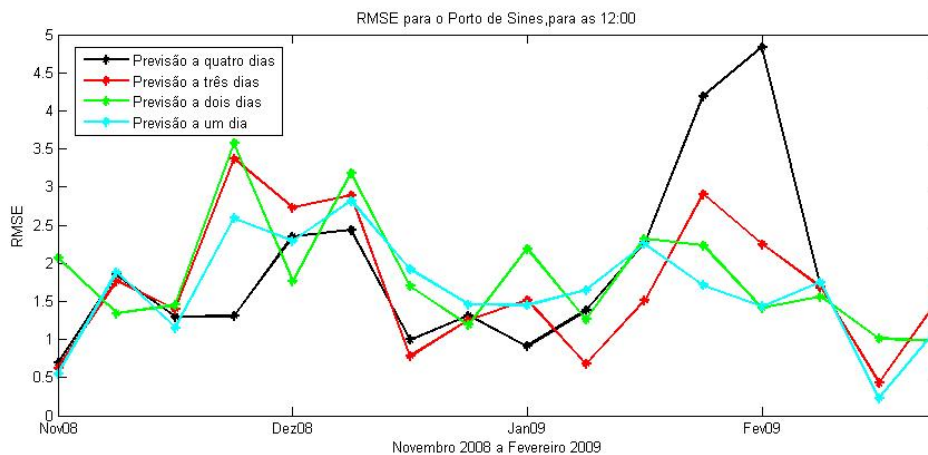


Figura 14 – Evolução do RMSE semanal entre os valores observados e simulados de magnitude do vento para o porto de Sines

Tabela 6 – Raiz do erro médio quadrático (RMSE) e viés (BIAS) entre as observações de vento em Sines e as previsões a diferentes alcances.

Previsões	4 dias	3 dias	2 dias	1 dia
RMSE	3.40	2.95	3.00	3.02
BIAS	0.46	-0.18	-0.58	-0.56

#### 4.2 Avaliação das previsões da altura significativa

Em relação à agitação marítima foi possível obter em geral observações de 3 em 3 horas quer em Sines como em Leixões. Devido a problemas de realocação de sistema de previsão não foram produzidas previsões de agitação marítima em nenhum dos portos durante o mês de Janeiro e até meio de Fevereiro. O problema foi resolvido, estando o sistema de momento totalmente operacional.

Nas figuras 15 a 18 encontram-se representados os valores observados e simulados da altura significativa das ondas em Leixões e Sines. Foram considerados dois períodos, o primeiro inclui Outubro, Novembro e Dezembro de 2008 e o segundo, o fim de Fevereiro e Março de

2009. Apesar do modelo ser executado também durante os fins de semana, nesses dias não são adquiridos os dados observacionais, donde as comparações realizadas incluem apenas os dias úteis. Em relação à bóia de Sines, pode constatar-se que durante um longo período que se estende do fim de Fevereiro até ao início de Março, esta não esteve operacional, não sendo deste modo possível obter observações da parâmetros de agitação marítima neste local.

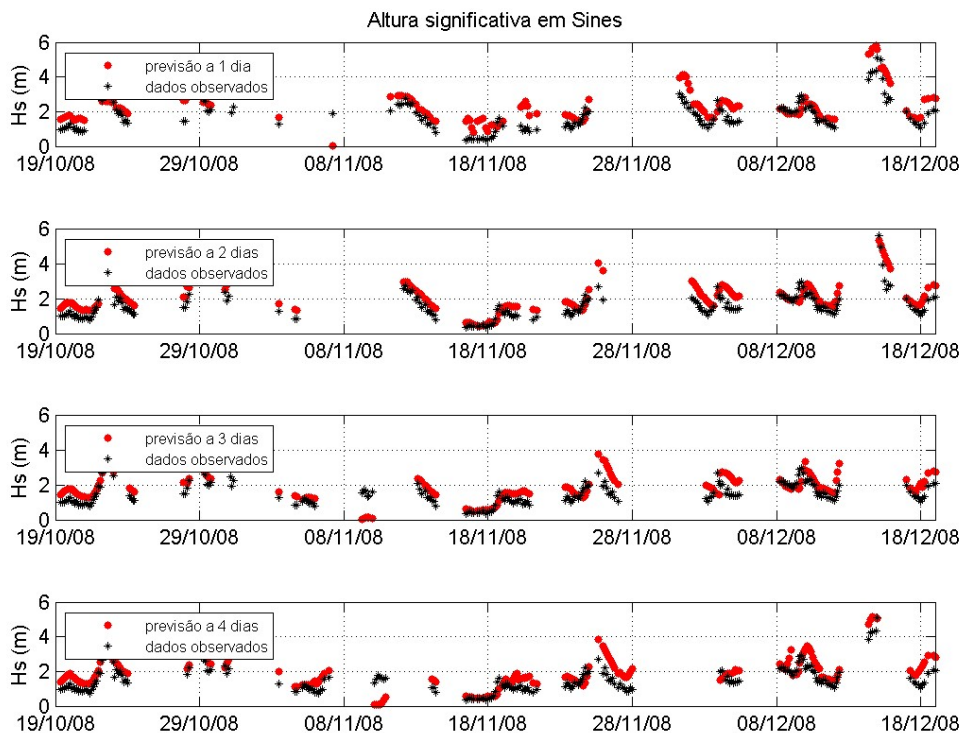


Figura 15 – Séries temporais da altura significativa observada e simuladas entre Outubro e Dezembro de 2008 para o porto de Sines.

Através da observação das series temporais de valores medidos e simulados representados nas figuras 15 a 18, pode constatar-se que em geral as simulações da altura significativa acompanham o andamento dos dados observacionais, mas tomando valores ligeiramente superiores. Esta observação é corroborada pelos valores negativos que foram obtidos para o viés e que estão representados na tabela 6.

Os erros associados às simulações da altura significativa foram avaliados semanalmente através dos calculo do RMSE e do BIAS. Pode-se verificar, nas figuras 19 e 20 que estes parâmetros apresentam alguma variabilidade ao longo do tempo sendo os erros sistemáticos em Sines em geral superiores aos obtidos para as simulações para Leixões. As previsões a dois dias são as que na generalidade das situações apresentam valores de RMSE mais baixos, existindo no entanto situações particulares, em Sines, em que a simulação a 3 dias é a apresenta erros mais baixos. No período correspondente à sétima semana de simulação (primeira semana de Dezembro), as previsões a 1 e 2 dias apresentam erros muito elevados sendo a melhor previsão aquela efectuada a 4 dias em ambos os portos. Considerando o período total em que se realizaram previsões da agitação marítima pode verificar-se, observando a tabela 7 que são as previsões a 2 e a 3 dias que apresentam erros mais baixos, quer para Sines quer para Leixões. A previsão a um dia é a que apresenta um maior erro. Em qualquer dos casos os erros associados à previsões são inferiores a 0.8 m ( Leixões, previsão a 1 dia) tomado valores aceitáveis.



## 6<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

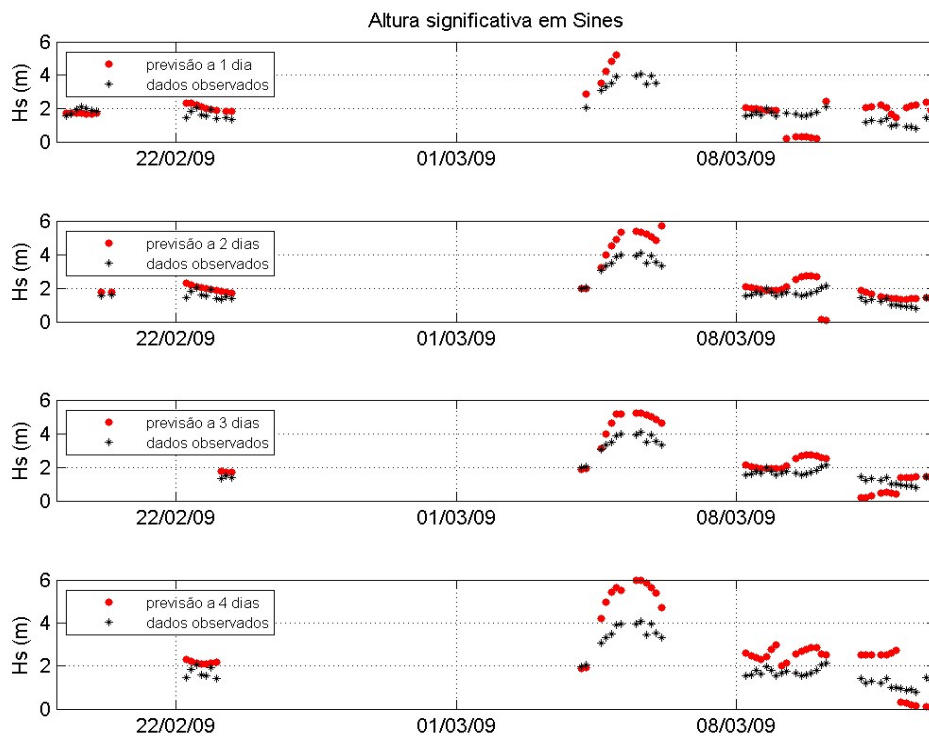


Figura 16—Séries temporais da altura significativa observada e simuladas entre Fevereiro e Março de 2009 para o porto de Sines.

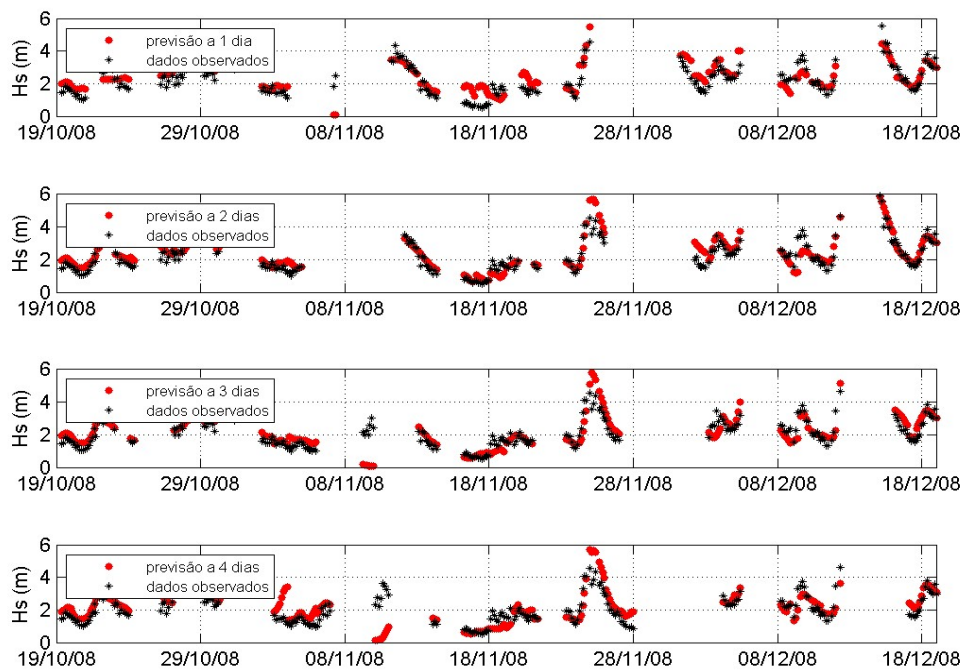


Figura 17—Séries temporais da altura significativa observada e simuladas entre Outubro e Dezembro de 2008, para o porto de Leixões.



**6<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária**  
**Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009**

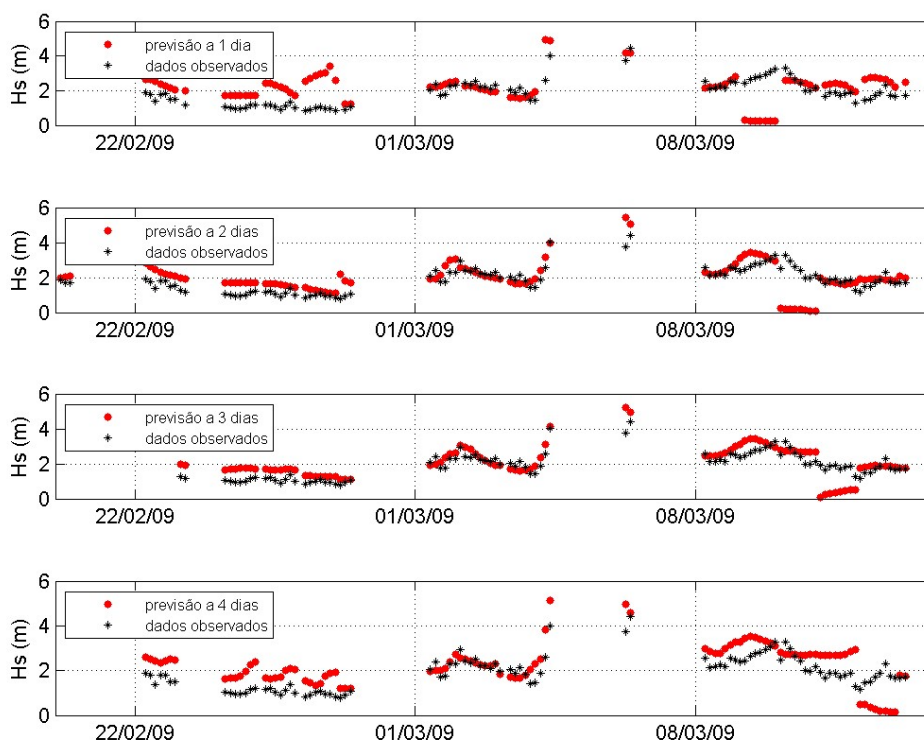


Figura 18 – Séries temporais da altura significativa observada e simuladas entre Fevereiro e Março de 2009, para o porto de Leixões.

Tabela 7 – Raiz do erro médio quadrático (RMSE) e viés (BIAS) entre as observações da altura significativa Sines e Leixões e as previsões a diferentes alcances.

	1 dia		2 dias		3 dias		4 dias	
	RMSE	BIAS	RMSE	BIAS	RMSE	BIAS	RMSE	BIAS
Leixões	0.79	-0.23	0.61	-0.14	0.62	-0.08	0.74	-0.17
Sines	0.77	-0.51	0.57	-0.41	0.62	-0.33	0.62	-0.36

## 5 Conclusões

O sistema de previsão da agitação marítima nos dois principais portos portugueses foi implementado com sucesso, estando neste momento operacional

O sistema foi instalado num cluster de máquinas com processadores quadcore, usando o sistema operativo Linux. Os modelos WAM, MM5 e SWAN são executados de modo automático, utilizando o modelo MM5 processamento paralelo.

Foram já realizadas algumas validações com dados observacionais medidos nos locais de interesse. Compararam-se as previsões a diferentes alcances com os dados observacionais disponíveis podendo-se concluir que apesar de existir alguma variabilidade na qualidade das previsões, os parâmetros estatísticos utilizados para a quantificar apresentam valores dentro do que seria expectável para este tipo de previsão. Existe alguma degradação da qualidade das previsões com maior alcance que é no entanto compensada com o tempo de “spin-up” do modelo meteorológico.



**6<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária**  
**Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009**

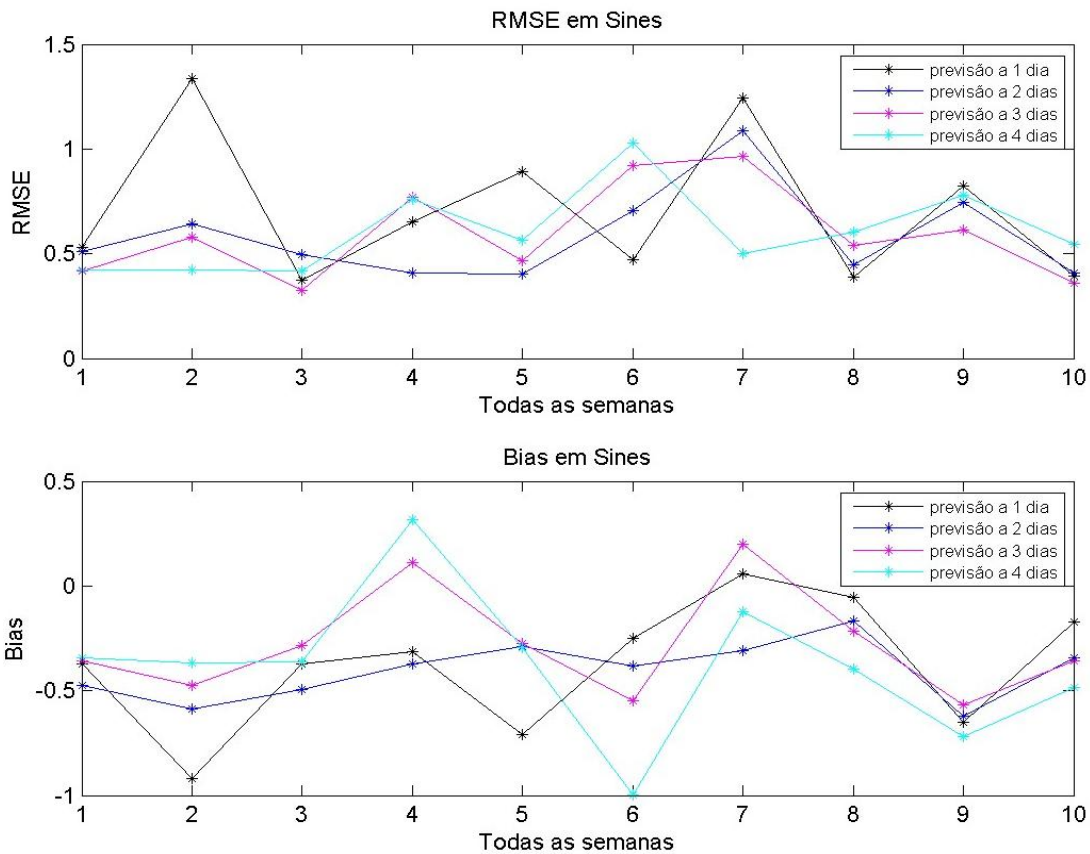


Figura 19– RMSE e viés semanal entre a altura significativa observada e simulada para o porto de Sines.

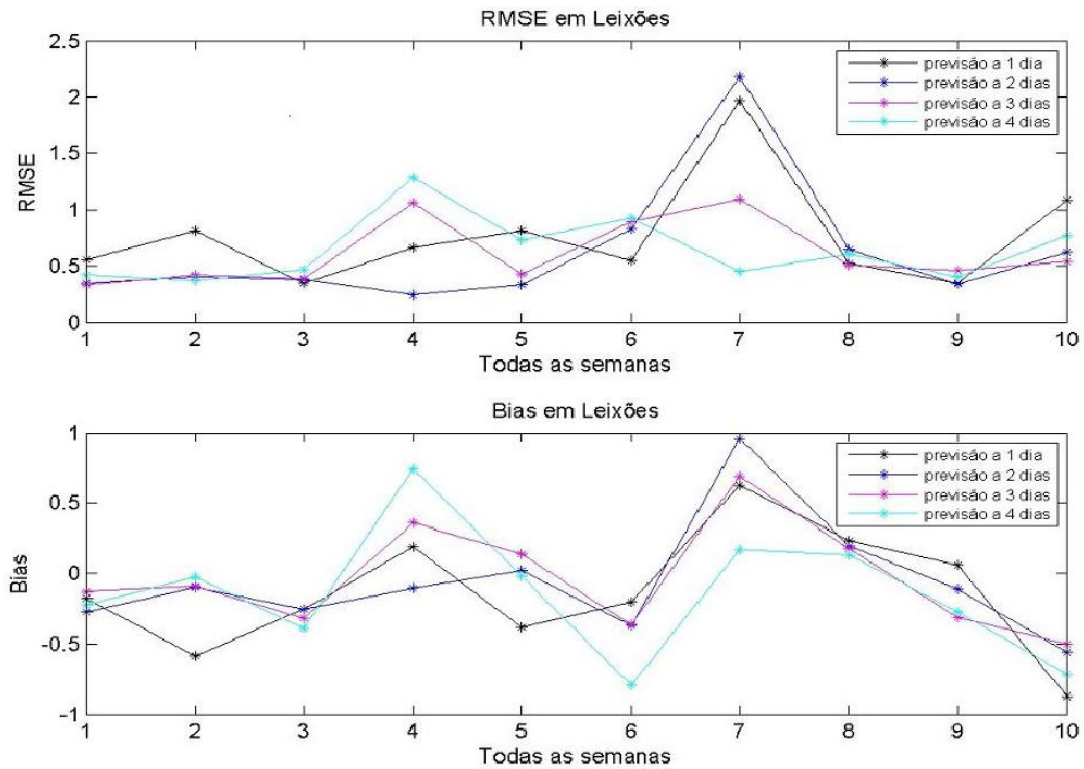


Figura 20 – RMSE e viés semanal entre a altura significativa observada e simulada para o porto de Leixões.



## 6<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

Os resultados obtidos até ao momento permitem, realizar uma avaliação desempenho do sistema como um todo podendo-se concluir que o sistema fornece informação fidedigna e representativa das observações.

Além da vantagem que estes produtos têm para a gestão portuária, possuem ainda a vantagem de gerar uma base de dados, de alta resolução, de agitação marítima e de meteorologia costeira em locais tanto na costa como ao largo onde não existem observações sistemáticas.

### 6 Agradecimentos

Este trabalho foi realizado no âmbito do projecto MARPORT- Sistema de Previsão da Agitação Marítima em Portos Portugueses financiando pela Agência de Inovação programa PRIME – IDEA projecto número 70/00345.

### 7 Referências

Bernardino M.C., J.P. Pinto, S. Almeida e F. Vieira: A metodologia de previsão operacional de agitação marítima na costa Portuguesa implementada no Instituto Hidrográfico Proceedings das IV Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, Angra do Heroísmo, Outubro 2005.

Bernardino, M., Rusu, L. e Guedes Soares, C., 2008. Validation of a wave forecast system for the Portuguese ports, Proceedings of the 5th EuroGOOS Conference, Exeter, UK.

Booij, N., Ris, R.C. e Holthuijsen, L.H., 1999. A third-generation wave model for coastal regions, 1, Model description and validation. J. Geophys. Res., 104, 7649–7666.

Dudhia, J., Gill, D., Kuo, Y.R., Bourgeois, A., Wang, W., Bruyere, C., Wilson, J. e Kelly, S., 2000. PSU/NCAR Mesoscale Modeling System. MM5 Modeling System Version 3. NCAR Tech. Notes.

Gómez Lahoz, M. e , J. C, Carretero Albiach, 1997. A Two-Way Nesting Procedure for the WAM Model: Application to the Spanish Coast, J. Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Vol. 119, pp. 20-24.

Grell, G.A., Dudhia, J. e Stauffer, D.R., 1994. A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale modelling system (MM5). Tech. Note NCAR/TN-398+STR, NCAR.

Guedes Soares, C., Rusu, L., e Pilar, P. Reconstituição da Agitação Marítima Junto à Costa de Portugal Continental. As Actividades Marítimas e a Engenharia. C. Guedes Soares e E. Brito (eds), Lisboa: Edições Salamandra; 2004.

Pilar, P., Guedes Soares, C., Carretero, J.C., “44-year wave hindcast for the North East Atlantic European coast”, Coastal Engineering 2008, 55: 861-71.

Rusu, L., Bernardino, M., e C. Guedes Soares, 2008a. Influence of the wind fields on the accuracy of numerical wave modelling in offshore locations. Proceedings of the 27th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE'08), ASME Paper OMAE2008-57861.

Rusu, L., Pilar, P. e Guedes Soares, C., 2008b. Hindcast of the wave conditions along the west Iberian coast. Coastal Engineering, 55, No. 11, 906-919

Rusu, L.; Pilar, P. e Guedes Soares, C., 2005a, Hindcasts of the Wave Conditions in Approaches to Ports of the North of Portugal, Proceedings Ocean Waves Measurement and Analysis, Fifth International Symposium WAVES 2005; Jul 3-7; Madrid, Spain.

Rusu, L.; Pilar, P., e Guedes Soares, C., 2005b; Reanalysis of the Wave Conditions in the Approaches to the Portuguese Port of Sines. Maritime Transportation and Exploitation of Ocean and Coastal Resources, C. Guedes Soares, Y. Garbatov, N. Fonseca (Eds). Lisbon, Portugal: Francis and Taylor; pp. 1137-1.



**6<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária**  
**Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009**

WAMDI Group: Hasselmann, S., Hasselmann, K., Bauer, E., Janssen, P. A. E. M., Komen, G. J., Bertotti, L., Lionello, P., Guillaume, A., Cardone, V. C., Greenwood, J. A., Reistad, M., Zambresky, L. e Ewing, J. A., (1988), "The WAM Model - A Third Generation Ocean Wave Prediction Model", J. Phys. Oceanogr., Vol. 18, pp. 1775-1810.