

PAMMELA: PREVISÃO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA EM ÁGUAS POUCO PROFUNDAS

Carlos Ventura Soares

Divisão de Oceanografia, Instituto Hidrográfico, Marinha
Rua das Trinas 49, 1249-093 Lisboa

Emanuel Ferreira Coelho

Divisão de Oceanografia, Instituto Hidrográfico, Marinha
Rua das Trinas 49, 1249-093 Lisboa

António Alberto Pires Silva

Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico
Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa

Oleg Makarynskyy

Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico
Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa
Odessa Hydrometeorological Institute, Ucrânia

SUMÁRIO

A praia de Pinheiro da Cruz é uma praia de grande dinâmica sedimentar. As operações anfíbias de desembarque e o estudo da evolução dos perfis das praias requerem uma correcta previsão da agitação marítima em águas pouco profundas que é condicionada pela agitação marítima em águas profundas, morfologia do fundo (batimetria), condições oceanográficas (correntes e marés) e condições meteorológicas (ventos).

São apresentados os objectivos do projecto PAMMELA, a decorrer no âmbito do MDN/FUP. Pretende-se aplicar os modelos espectrais de média em fase SWAN (Simulating Waves Nearshore) e WAM (Wave Model) na sua extensão para águas pouco profundas, na zona de Pinheiro da Cruz, encaixando os resultados no modelo WAM global do ECMWF e/ou do FNMOC da US NAVY. Ir-se-á utilizar a informação da bóia ondógrafo de Sines (águas profundas) e um modelo digital de terreno do fundo como condições de fronteira. Os ventos, as correntes e as marés serão progressivamente introduzidas como funções forçadoras. O objectivo final será o desenvolvimento do protótipo de um sistema de previsão em tempo útil das condições de agitação marítima na zona de Pinheiro da Cruz a partir da informação da bóia direcciona de Sines.

1. INTRODUÇÃO

A agitação marítima, movimento da superfície livre do mar que tem como agente forçador a transferência de quantidade de movimento entre o escoamento turbulento do ar e a referida superfície, e como principal força restauradora a gravidade, constitui uma das solicitações dominantes a ter em conta na acção do mar sobre as suas fronteiras, sejam elas naturais ou artificiais. As ondas e as correntes longitudinais que lhe estão associadas são a principal causa modeladora da morfodinâmica costeira e condicionam decisivamente as operações anfíbias de natureza militar junto à costa bem como o seu aproveitamento económico e gestão ambiental.

O movimento da superfície do mar, associado a estas ondas geradas pelo vento, possui um carácter aleatório. Em escalas temporais de curto prazo e localizadas no espaço, o movimento assim caracterizado pode ser modelado, sob certas hipóteses simplificativas, tais como a linearidade e a estacionaridade, por um processo estocástico gaussiano. Estes processos ficam completamente especificados com o conhecimento dos seus momentos estatísticos em função da frequência e número de onda. Neste contexto, a observação das propriedades da referida superfície representa uma realização dum processo estocástico.

Em Portugal as estações ondógrafo do Instituto Hidrográfico (IH) têm recolhido dados de agitação marítima em vários locais da costa e numa base regular. A partir de 1986, em parte com financiamento da NATO no âmbito do projecto PO-WAVES [1], foram instaladas estações ondógrafo direccionais, equipadas com bóias "Datawell Wavec", em Leixões, Sines e Faro, com carácter permanente, e na Figueira da Foz, Aveiro e Sines com carácter temporário. Esta circunstância permitiu obter séries temporais longas com elevado valor climatológico.

A informação proporcionada pelas bóias, colocadas em águas profundas, diz respeito a uma descrição local e numa escala de curto prazo, de acordo aliás com os pressupostos do processo estocástico subjacente. A mais longo prazo e a maior escala espacial o espectro evolui, sujeito a interacção com o meio envolvente. Esta evolução é modelada pela equação de balanço da acção de onda. A partir do campo de ventos à superfície, a integração da referida equação permite obter, numa malha apropriada, o espectro direccionais e, subsquentemente, os seus momentos.

A propagação da agitação marítima em águas costeiras é caracterizada essencialmente pela forte interacção com o fundo. Como consequência, os processos físicos relevantes na referida propagação passam a ser a refacção, o empolamento, a dissipação por atrito no fundo e a rebentação. Por outro lado, a forma da dependência da velocidade de fase com o número de onda, expressa pela relação de dispersão em águas de profundidade intermédia, possibilita interacções ressonantes a três ondas. A interacção com as correntes desempenha também um papel importante e, como resultado, a refacção e a variação da frequência devida a correntes não estacionárias devem ser representadas. Finalmente o efeito do vento na superfície oceânica é de fundamental importância dado o efeito que a velocidade, duração da acção do vento e "fetch" têm na altura, período e perfil de crescimento das ondas.

Os modelos numéricos espectrais de média em fase, como a extensão do WAM (WAVE Model) para águas pouco profundas e o modelo SWAN (Simulating WAVes Nearshore), incorporam alguns dos processos acima referidos (no caso do modelo SWAN todos), próprios da propagação das ondas em águas pouco profundas e são apropriados para campos de variação lenta. O SWAN baseia-se numa formulação euleriana da equação do balanço espectral, discretizada da acção de onda [2]. Apenas o campo próximo associado a interacções ondas-estruturas, devido primordialmente ao fenómeno da difracção, ausente nas formulações citadas, não é passível de modelação conveniente.

Os modelos espectrais de média em fase têm, em comparação com os modelos amplitude-fase de resolução de fase, a vantagem de ser menos exigentes computacionalmente (por unidade de área de domínio). Podem assim ser inseridos num esquema de previsão, em tempo útil, da agitação junto à costa.

2. OBJECTIVOS

Os objectivos definidos para este projecto podem ser sintetizados em:

Aplicar os modelos WAM e SWAN à zona da costa oeste de Portugal, a norte de Sines, compreendendo a bóia direccional de Sines, de modo a utilizar a respectiva informação como condição de fronteira, e a Praia de Pinheiro da Cruz, principal teatro de treinos de operações anfíbias de desembarque.

Acoplar os referidos modelos espectrais com modelos de correntes de maré e/ou com a informação dos marégrafos. Explorar a utilização de modelos encaixados, em particular com resultados do modelo WAM global do ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) ou do FNMOC (Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center) da USNavy.

Desenvolver um protótipo de um sistema de análise e previsão em tempo útil das condições de agitação, a partir da informação da bóia direccional de Sines e das previsões meteorológicas, junto à praia de Pinheiro da Cruz.

Avaliar a extensão e exploração dessas metodologias para outros locais de interesse na costa portuguesa.

3. METODOLOGIA

Os trabalhos a desenvolver no âmbito do projecto estruturam-se de acordo com a seguinte metodologia:

Implementação dos modelos WAM e SWAN em plataformas PC, correndo os casos testes.

Definir as condições de fronteira e a batimetria. No que diz respeito às primeiras, pode-se utilizar o espectro direccional estimado dos dados da bóia de Sines ou encaixar os modelos junto à costa com modelos de âmbito global (ECMWF e FNMOC). Quanto à batimetria, é possível usar os dados dos levantamentos batimétricos (a serem passados para a malha de cálculo) ou modelos digitais de terreno.

Investigar a evolução da agitação marítima em águas pouco profundas, realizando estudos de sensibilidade dos vários mecanismos presentes e a sua parametrização. Identificar os processos físicos condicionantes no caso em estudo. Calibrar e validar os modelos espectrais das zonas em causa.

Desenvolver uma aplicação de previsão operacional da agitação junto à costa, tendo em vista o utilizador final (gestão do litoral, operações anfíbias e combate à poluição).

4. CLIMATOLOGIA

A climatologia de agitação marítima referente à área em estudo resulta fundamentalmente das campanhas de observações efectuadas no âmbito do projecto NATO PO-WAVES, em que estiveram envolvidos o IH e o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). No caso concreto de Sines, a bóia ondógrafo que deu origem à informação existente (SINES1) encontrava-se fundeada em águas profundas (97 metros) na posição 37° 55' 16" N, 008° 55' 44" W. Actualmente a recolha de dados continua a ser feita no mesmo local, ao abrigo de um protocolo entre o IH e a Administração do Porto de Sines (APS). Os dados direccionais de agitação marítima assim obtidos podem ser introduzidos em modelos simples de previsão de características de agitação marítima junto à costa, com especial ênfase nas características de rebentação.

A Tabela I apresenta a distribuição das direcções médias de ondulação associadas à frequência de pico (para o período 1988-93), para as situações sazonais de Verão e de Inverno e também para os casos mais energéticos de Alturas Significativas (H_{m0}) superiores a 3 metros e a 5 metros.

A Tabela II apresenta, para os casos típicos de agitação marítima assinalados em Sines, valores para as características da rebentação baseados em modelos simples actualmente usados no IH.

TABELA I - DISTRIBUIÇÃO DA DIRECÇÃO MÉDIA DA ONDULAÇÃO ASSOCIADA À FREQUÊNCIA DE PICO, REGISTADA NA BÓIA DE SINES NO PERÍODO 1988-1993

SITUAÇÃO	DIRECÇÃO MÉDIA		
	NW	W	SW
Anual	80.3	16.4	2.9
Verão	85.9	12.3	1.7
Inverno	74.9	20.3	3.9
$H_{m0} > 3$ m	72.4	23.2	4.2
$H_{m0} > 5$ m	57.4	41.9	0.8

5. APLICAÇÃO DO MODELO SWAN

A aplicação do modelo SWAN a Pinheiro da Cruz implicou que fossem efectuados testes com domínios esquemáticos e condições de fundo simplificadas, por forma a determinar a influência das condições de fronteira lateral no interior do domínio de cálculo. Avalia-se deste modo a relação que deve existir entre as extensões da malha de cálculo e da malha de "output". Numa primeira aproximação os domínios a considerar são os seguintes:

Limites do domínio alargado (malha de cálculo): Norte- 38° 25' N; Sul- 38° 00' N;

Este- terra; Oeste- 009° 05' W

Limites do domínio de estudo (malha de "output"): Norte- 38° 20' N; Sul- 38° 10' N;

Este- terra; Oeste- 008° 55' W

Os domínios referidos encontram-se esquematizados na Figura 1.

Foram consideradas três situações típicas de espectros de energia (entre os anos 1989 e 1994) baseadas na informação prestada pela climatologia da bóia de Sines, a saber:

Temporal NW – Inverno (situação de tempestade)

Temporal W/SW – Inverno (situação de tempestade)

Nortada (NW) – Verão (situação média nas tardes de Verão)

As condições de fronteira consideradas foram as seguintes:

Condição de fundo – a definição da batimetria da zona adjacente a Pinheiro da Cruz foi feita recorrendo a um modelo digital de terreno com discriminação de 200 m e 400 m (malha regular em coordenadas cartesianas). Esta última malha foi definida para utilização em casos teste, ocupando assim menos tempo computacional.

Condição de fronteira de mar – é definida a partir dos dados da bóia direccional de Sines (“Datawell Wavec”) e/ou de previsões meteorológicas. A informação compreende as estimativas do espectro de frequência, a direcção média associada a cada frequência e a dispersão em torno deste valor. O modelo SWAN aceita que os dados de entrada assumam esta forma, embora também aceite as estimativas do espectro direccional. O cálculo do espectro direccional pode também ser feito usando o método EMLM (Extended Maximum Likelihood Method).

Nos testes foi utilizado o modo estacionário, não sendo considerados, numa fase inicial, a acção do vento, das correntes e das marés.

Uma comunicação detalhada sobre a aplicação do modelo SWAN será apresentada nesta conferência, pelos mesmo autores, com o título: PROPAGAÇÃO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA AO LARGO DE PINHEIRO DA CRUZ: APLICAÇÃO DO MODELO SWAN.

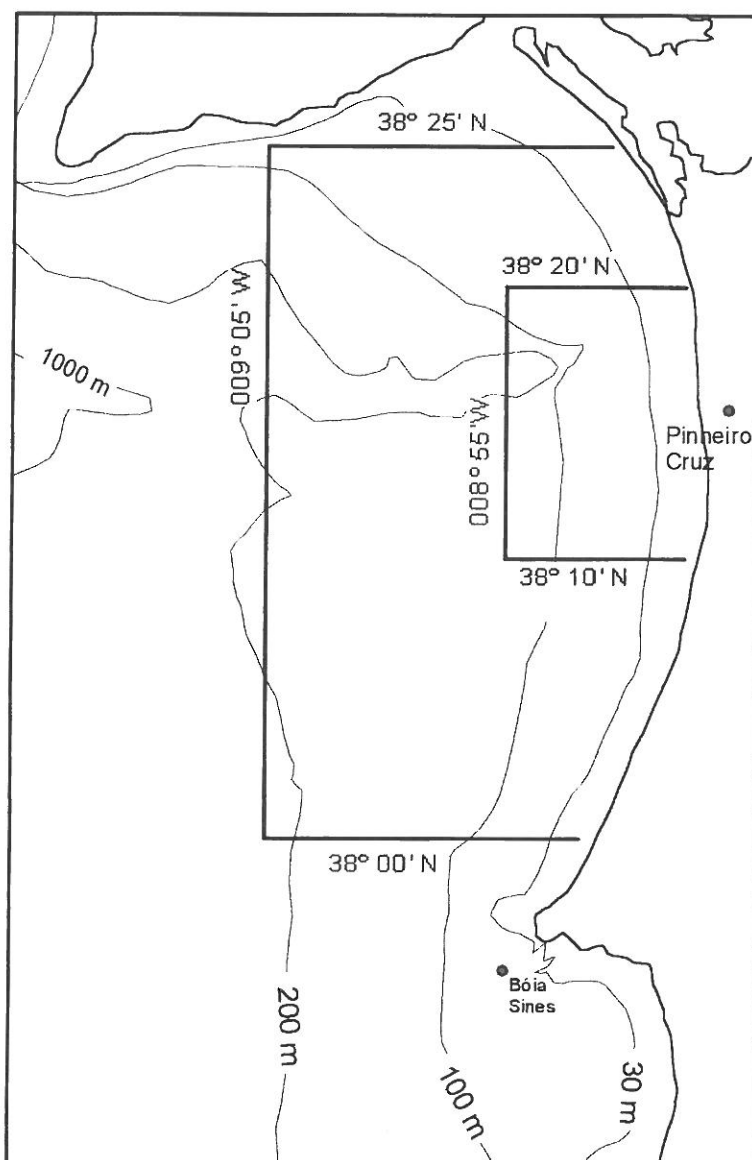


FIGURA 1 – Domínio alargado e domínio de estudo para o modelo SWAN aplicado a Pinheiro da Cruz

TABELA II.a – SITUAÇÕES TÍPICAS DE AGITAÇÃO MARÍTIMA EM SINES (VALORES MÉDIOS ANUAIS)

VALORES MÉDIOS ANUAIS NO PERÍODO 88-93			
Orientação da Praia = 357°			
Declive da Praia = 0.025			
Direcção da ondulação (°)	315	270	225
Altura significativa da ondulação (m)	1.7	1.8	2.0
Período médio da ondulação (s)	6.7	6.9	6.0
Altura da rebentação (m)	1.6	1.7	1.9
Profundidade da rebentação (m)	1.8	1.9	2.2
Distância à costa (m)	71.4	75.6	86.7
Corrente deriva litoral (m/s)	2.0	0.2	-2.2
Corrente transporte superfície (m/s)	0.5	0.5	0.4
Tipo De rebentação	Progressiva	Progressiva	Progressiva

TABELA II.b – SITUAÇÕES TÍPICAS DE AGITAÇÃO MARÍTIMA EM SINES (VALORES MÁXIMOS ANUAIS)

VALORES MÁXIMOS ANUAIS NO PERÍODO 88-93			
Orientação da Praia = 357°			
Declive da Praia = 0.025			
Direcção da ondulação (°)	315	270	225
Altura significativa da ondulação (m)	8.4	7.7	5.1
Período médio da ondulação (s)	15.0	15.1	10.5
Altura da rebentação (m)	8.4	7.7	5.0
Profundidade da rebentação (m)	9.2	8.4	5.7
Distância à costa (m)	369.3	336.3	228.0
Corrente deriva litoral (m/s)	4.7	0.5	-3.6
Corrente transporte superfície (m/s)	1.0	1.0	0.7
Tipo de rebentação	Progressiva	Progressiva	Progressiva

TABELA II.c – SITUAÇÕES TÍPICAS DE AGITAÇÃO MARÍTIMA EM SINES (VALORES MÉDIOS SAZONAIS – INVERNO)

VALORES MÉDIOS SAZONAIS (OUTUBRO-MARÇO) NO PERÍODO 88-93			
Orientação da Praia = 357°			
Declive da Praia = 0.025			
Direcção da ondulação (°)	315	270	225
Altura significativa da ondulação (m)	2.1	2.2	2.1
Período médio da ondulação (s)	7.8	7.6	6.2
Altura da rebentação (m)	2.0	2.1	2.0
Profundidade da rebentação (m)	2.2	2.4	2.3
Distância à costa (m)	89.6	94.5	93.0
Corrente deriva litoral (m/s)	2.3	0.3	-2.3
Corrente transporte superfície (m/s)	0.5	0.5	0.4
Tipo de rebentação	Progressiva	Progressiva	Progressiva

TABELA II.d – SITUAÇÕES TÍPICAS DE AGITAÇÃO MARÍTIMA EM SINES (VALORES MÁXIMOS SAZONAIS - INVERNO)

VALORES MÁXIMOS SAZONAIS (OUTUBRO-MARÇO) NO PERÍODO 88-93			
Orientação da Praia = 357°			
Declive da Praia = 0.025			
Direcção da ondulação (°)	315	270	225
Altura significativa da ondulação (m)	8.1	8.1	8.1
Período médio da ondulação (s)	15.1	15.1	15.1
Altura da rebentação (m)	7.7	8.7	7.9
Profundidade da rebentação (m)	8.5	9.6	8.7
Distância à costa (m)	338.2	384.0	350.0
Corrente deriva litoral (m/s)	4.5	0.5	-4.5
Corrente transporte superfície (m/s)	0.9	1.0	0.9
Tipo de rebentação	Progressiva	Progressiva	Progressiva

TABELA II.e – SITUAÇÕES TÍPICAS DE AGITAÇÃO MARÍTIMA EM SINES (VALORES MÉDIOS SAZONAIS – VERÃO)

VALORES MÉDIOS SAZONAIS (ABRIL-SETEMBRO) NO PERÍODO 88-93			
Orientação da Praia = 357°			
Declive da Praia = 0.025			
Direcção da ondulação (°)	315	270	225
Altura significativa da ondulação (m)	1.4	1.3	1.7
Período médio da ondulação (s)	5.8	5.8	5.7
Altura da rebentação (m)	1.3	1.2	1.6
Profundidade da rebentação (m)	1.4	1.3	1.8
Distância à costa (m)	58.2	53.8	72.0
Corrente deriva litoral (m/s)	1.8	0.2	-2.0
Corrente transporte superfície (m/s)	0.4	0.4	0.4
Tipo de rebentação	Progressiva	Progressiva	Progressiva

TABELA II.f – SITUAÇÕES TÍPICAS DE AGITAÇÃO MARÍTIMA EM SINES (VALORES MÁXIMOS SAZONAIS – VERÃO)

VALORES MÁXIMOS SAZONAIS (ABRIL-SETEMBRO) NO PERÍODO 88-93			
Orientação da Praia = 357°			
Declive da Praia = 0.025			
Direcção da ondulação (°)	315	270	225
Altura significativa da ondulação (m)	5.8	5.8	5.8
Período médio da ondulação (s)	12.4	12.4	12.4
Altura da rebentação (m)	5.4	6.0	5.5
Profundidade da rebentação (m)	5.9	6.7	6.1
Distância à costa (m)	236.8	268.8	245.0
Corrente deriva litoral (m/s)	3.7	0.4	-3.8
Corrente transporte superfície (m/s)	0.8	0.8	0.8
Tipo de rebentação	Progressiva	Progressiva	Progressiva

6. CAMPANHAS DE OBSERVAÇÕES

A implementação do modelo SWAN na praia de Pinheiro da Cruz implica a aquisição de dados meteorológicos e oceanográficos na área. A observação destes dados tem essencialmente duas finalidades: constituem funções forçadoras para o modelo, como sejam os dados de meteorologia (ventos), marés (marés e correntes de maré), correntometria (circulação costeira) e agitação marítima (características da ondulação em águas profundas) ou verificarem a consistência do modelo como sejam os sensores de pressão a instalar próximo da zona de rebentação (características da ondulação próximo da zona de rebentação na praia).

Por forma a concretizar esta fase serão envolvidos os seguintes meios:

Meteorologia – estação meteorológica de Sines

Marés – marégrafo de Sines

Correntometria – instalação de correntómetros em águas pouco profundas e profundas

Ondulação em águas profundas – bóia ondógrafo de Sines

Ondulação em águas pouco profundas - sensores de pressão próximos da zona de rebentação e imagens video.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objectivo deste projecto é o desenvolvimento de um protótipo de um sistema de previsão em tempo útil das condições de agitação marítima na área de Pinheiro da Cruz a partir da informação da bóia direccional de Sines. A obtenção destes objectivo pressupõe uma correcta parametrização da agitação marítima em águas pouco profundas o que implica necessariamente a calibração e validação dos modelos espectrais SWAN e WAM (extensão para águas pouco profundas) para a área em causa.

Os resultados a obter deste projecto irão principalmente residir na previsão das características da agitação marítima na zona de rebentação (altura de rebentação, profundidade de rebentação, distância à costa, correntes de deriva litoral e correntes de transporte de superfície).

A extensão de um sistema de previsão deste tipo a toda a costa portuguesa poderá tirar proveito dos resultados e conclusões que se possam obter a partir do referido protótipo.

REFERÊNCIAS

[1] NATO PO-WAVES, SUB-PROJECTO A – Dados direccionais de agitação marítima na costa portuguesa, Relatório final da tarefa A1-5, Lisboa, Dezembro de 1994

[2] R.C. RIS – Spectral modelling of wind waves in coastal areas, Communications on Hydraulic and Geotechnical Engineering, Delft University of Technology, June 1997