

Previsão da Agitação Marítima no Estuário do Tejo Utilizando o Modelo SWAN

João A. Santos, Rui Capitão, Liliana
Pinheiro, Conceição J. Fortes,
Alexandre B. Coli

Organização

- > Descrição breve da região em estudo
 - Condições de vento
 - Condições de maré
 - Condições de agitação marítima/estuarina
- > Apresentação de testes de sensibilidade realizados para a caracterização da agitação marítima gerada pelo vento na praia do Alfeite
- > Discussão sobre os valores numéricos obtidos, quando comparados com as medições da elevação da superfície livre realizadas na zona em estudo no dia 3 de Outubro de 2006
- > Comentários finais

Objectivo

Caracterizar a agitação marítima na **Praia do Alfeite** através da simulação da geração de ondas pelo vento no **Estuário do Tejo**.



Características do Estuário:

Área: 320 km² – um dos maiores da Europa
Amplitude maré: 3.2 m (viva)/1.5 m (morta)
Canal de embocadura: estreito e profundo
Região interior extensa e pouco profunda

- > Utilizar o modelo SWAN para caracterizar as condições de agitação no **estuário do Tejo** em condições mais realistas, i.e.,
 - Forçar o modelo SWAN com os campos de vento do dia 3 de Outubro de 2006;
 - Considerar os efeitos das correntes de maré.
- > Comparar as previsões do modelo com as medições de agitação marítima obtidas na **praia do Alfeite** no dia referido.

Praia do Alfeite



Baixa-mar



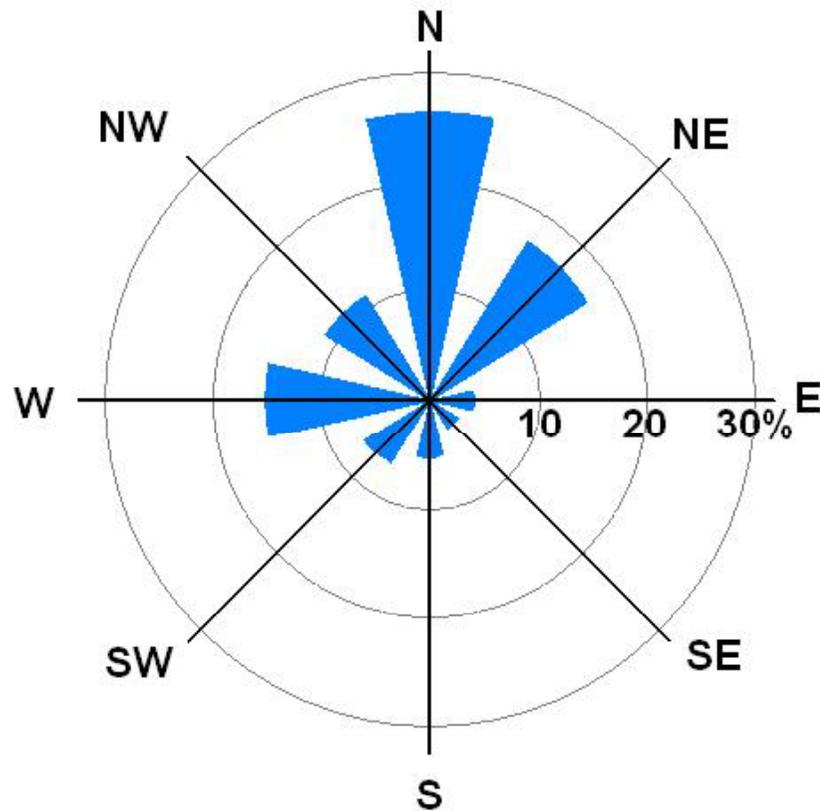
Preia-mar

Características:

2 500 m de extensão, entre Seixal e a Base Naval do Alfeite

Areia de grão médio a grosseiro

Regime médio de Ventos



Distribuição das velocidade médias do vento
1954 a 1980

Estação Montijo-Base Aérea

INMG(1991)

Rumos mais frequentes, por ordem decrescente:

N, NE, W, NW, SW, E, S e SE

Maiores velocidades médias: SW, S, N e W

(sector Oeste ~20 km/h)

Medições in-situ da agitação em 3-Out-06

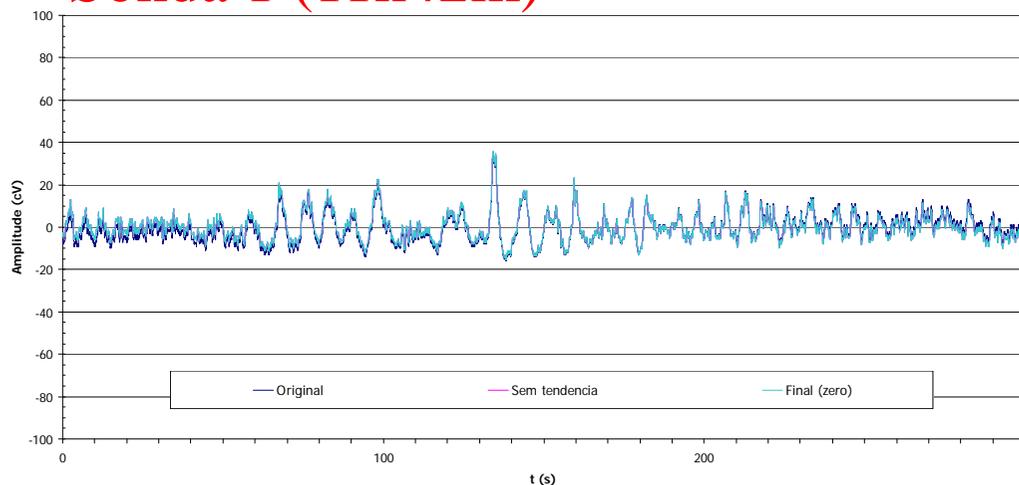
- > Uso de 2 sondas resistivas (Sonda 1 e 2) e um transdutor de pressão (junto à Sonda 1).
- > Registos da elevação da superfície livre com 20 min de duração com frequência de amostragem de 25 Hz.



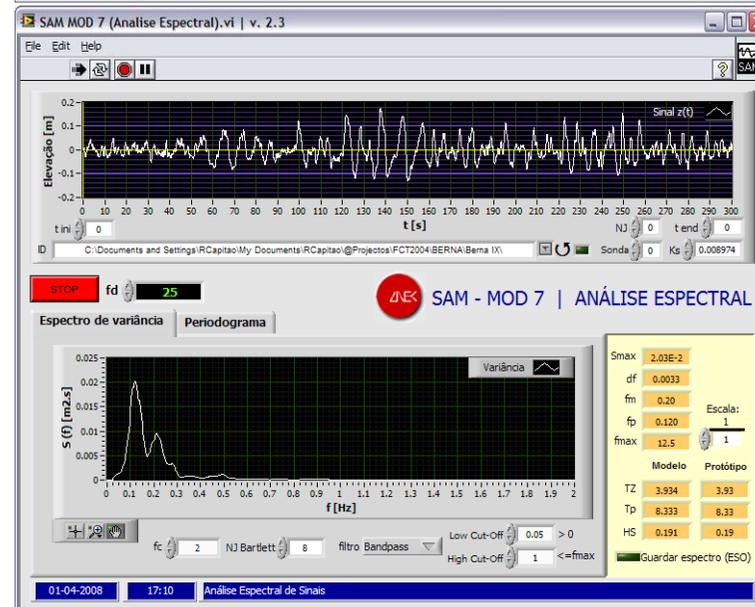
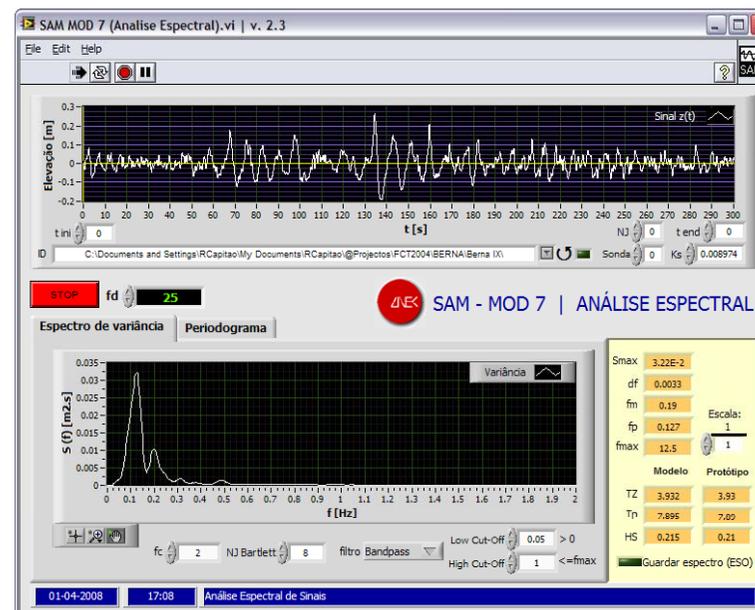
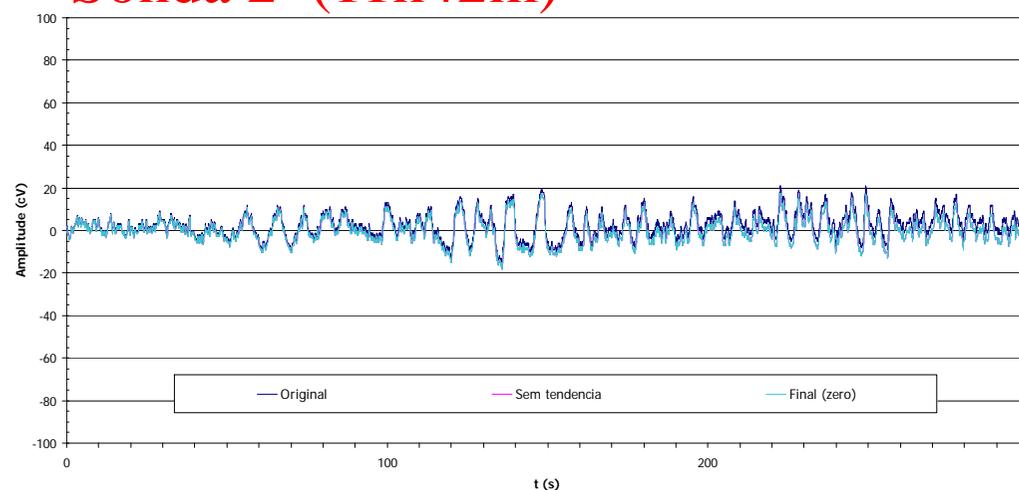
| Tipo de medição | Registo agitação | Instante início (hh:mm:ss) | Duração (hh:mm:ss) |
|-------------------|------------------|----------------------------|--------------------|
| sondas resistivas | 1 | 11:38:00 | 00:05:00 |
| | 2 | 12:02:00 | 00:20:00 |
| | 3 | 12:26:00 | 00:20:00 |
| | 4 | 12:47:00 | 00:20:00 |
| | 5 | 13:08:00 | 00:20:00 |
| | 6 | 13:29:00 | 00:20:00 |
| | 7 | 13:50:00 | 00:20:00 |
| | 8 | 14:11:00 | 00:21:00 |
| sensor pressão | 9 | 10:00:00 | 03:53:00 |

Análise dos registos de 3-Out-06

Sonda 1 (11h42m)

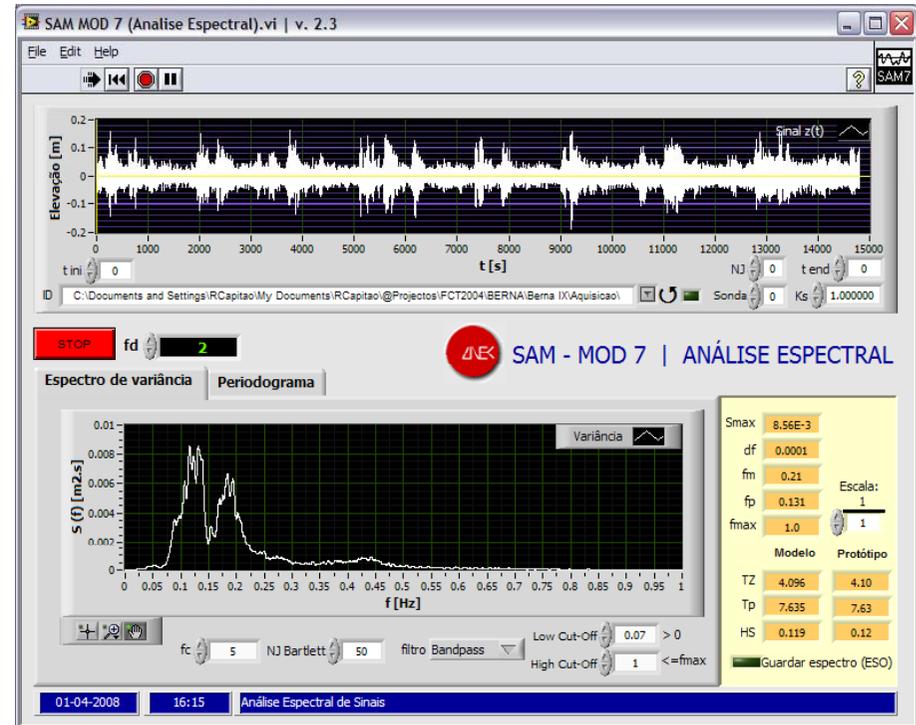
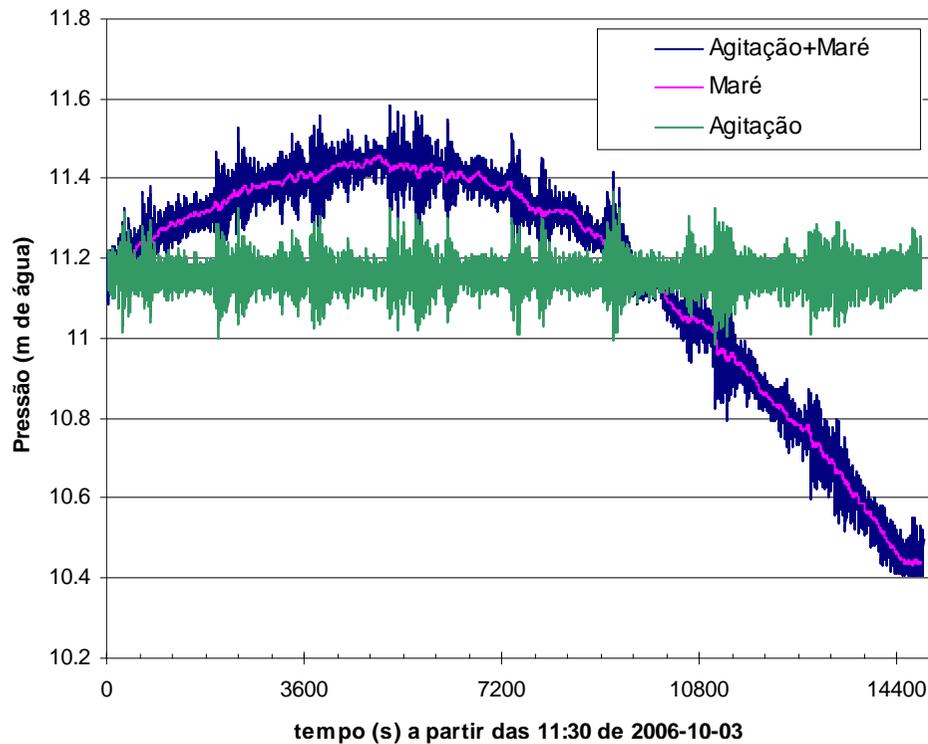


Sonda 2 (11h42m)



Análise dos registos de 3-Out-06

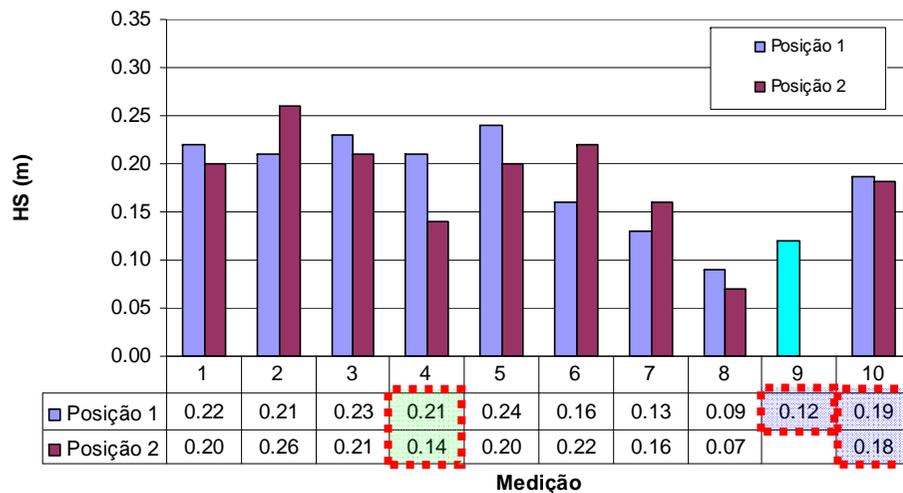
> Sensor de pressão (11h30m)



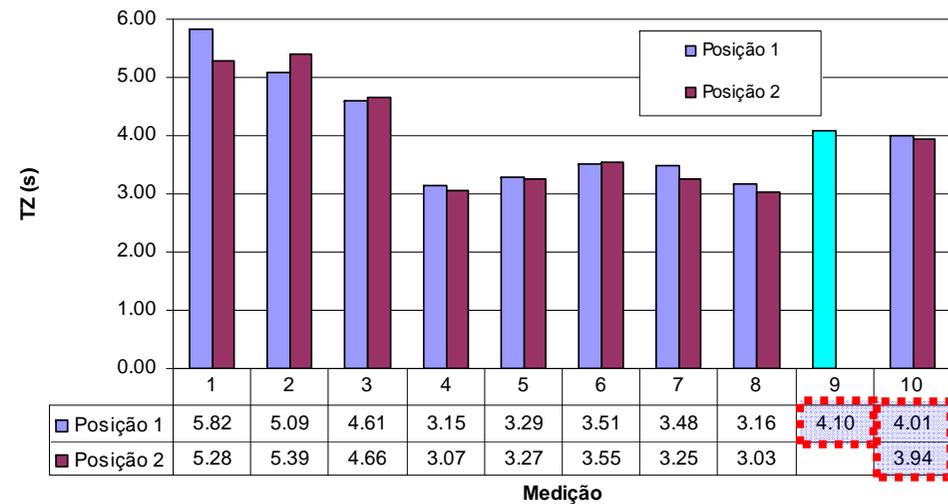
Análise dos registos de 3-Out-06

> Sondas resistivas e sensor de pressão

Comparação HS (m)



Comparação TZ (s)



- > Verifica-se alguma variabilidade de estados de mar
- > Média de HS das sondas resistivas > HS do sensor de pressão
- > Média de TZ das sondas resistivas = TZ do sensor de pressão

Análise dos registos de 3-Out-06

- > Os **espectros** têm apenas um pico ou, por vezes, 2 picos principais. O pico mais energético ocorre para TP ~ 8 s. (As componentes de longo período (de ~ 40 s a 50 s), associadas às passagens dos “ferries”, foram eliminadas da análise.)
- > As **alturas significativas** (HS) dos registos das sondas resistivas variam entre 0.07 m e 0.26 m (média=0.18 m). O valor de HS obtido do sensor de pressão (num registo com 4 horas de duração) foi de 0.12 m.
- > Os **períodos médios** TZ apresentam valores de 3.0 s a 5.8 s para as sondas resistivas (média=4.0 s) e de 4.1 s para o sensor de pressão.
- > Os **períodos de pico**, TP, têm valores entre 2.7 e 9.4 s para as sondas resistivas (média=5.0 s) e 7.6 s para o sensor de pressão.

Aplicação do SWAN ao Tejo

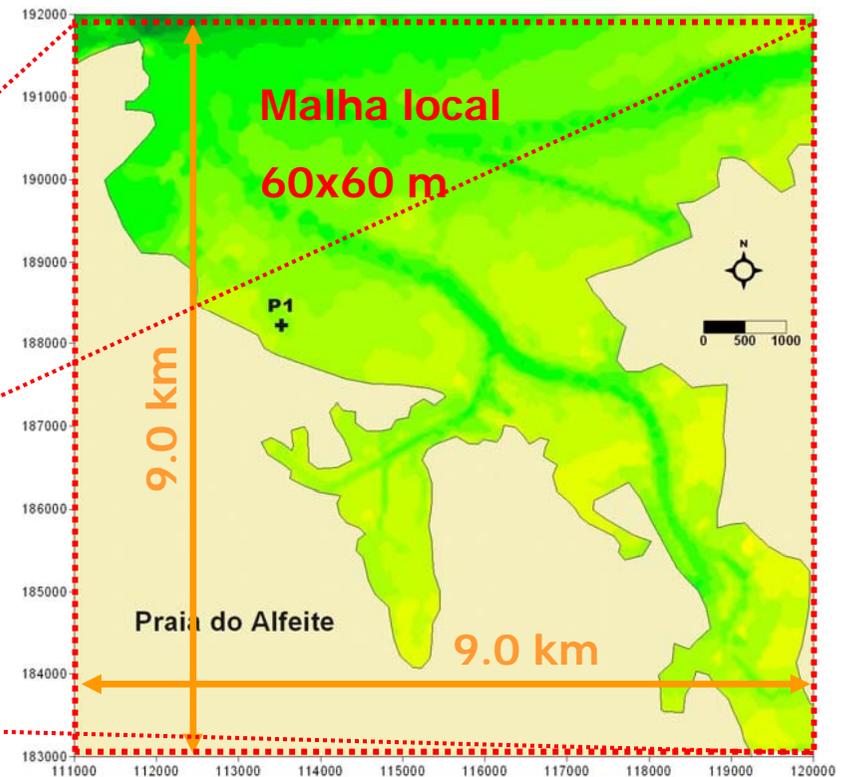
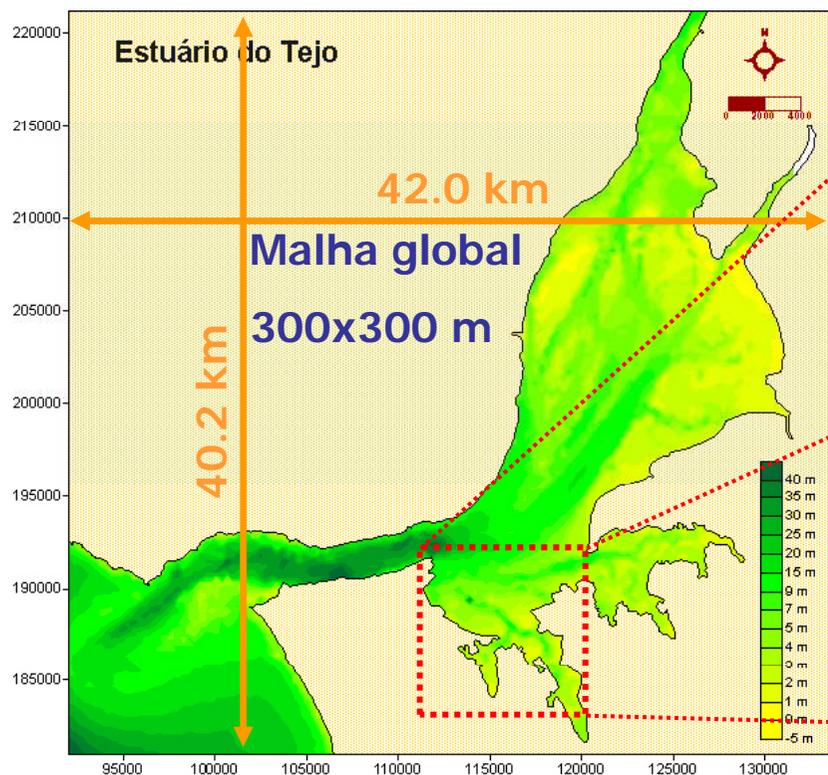
- > A execução do SWAN foi realizada, em modo estacionário, em duas etapas, utilizando o pacote SOPRO-SWAN:
 - Etapa 1: Considerou-se o estuário em repouso e introduziu-se um campo de ventos uniforme sobre todo o domínio
 - Etapa 2: Os resultados destas simulações serviram como condições de fronteira para a malha da praia do Alfeite de modo a obter as condições de agitação para o dia 3-Out-06.
- > O espectro direccional foi definido por um espectro em frequência, contendo 21 intervalos entre 0.070 e 2.0 Hz, e por uma discretização em direcção cobrindo os 360°, dividida em 144 intervalos ($\Delta\theta = 2.5^\circ$)
- > Os resultados foram obtidos nos pontos do domínio, em especial num ponto (P1) em frente à praia do Alfeite (local de medição).
- > Não foram considerados os efeitos
 - variações devidas a rajadas de vento
 - ondas geradas pelos ferries



**ventos de
5, 10, ... 25 m/s
direcções de
N, NNE...NW
3.8 m ZH**

Domínio computacional

- > **Domínio de cálculo** compõe-se de 2 malhas rectangulares:
- > Estuário do Tejo, incluindo a sua embocadura e a zona marítima adjacente, resolução de 300 m
- > Região próxima à Praia do Alfeite, resolução de 60 m
- > Definido P1 onde se extraíram resultados das execuções do SWAN



Influência da velocidade do vento

SWAN
ventos de
5, 10, ... 25 m/s
direcções de
N, NNE...NW
3.8 m ZH

Influência do **rumo** do vento na agitação para o **estuário do Tejo**, $U_{10} = 10$ m/s.

Influência do **rumo** do vento na agitação para a **praia do Alfeite**, $U_{10} = 10$ m/s

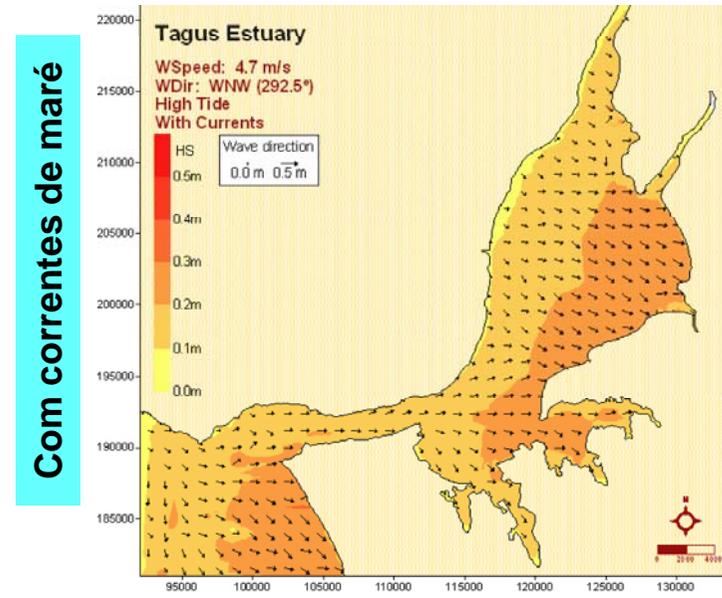
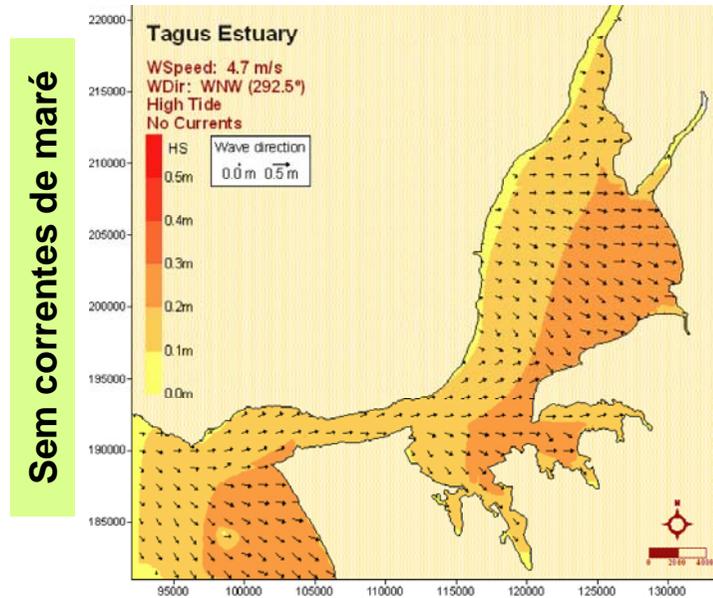
Influência da **velocidade** do vento na agitação na **praia do Alfeite**, para vento com rumo = 22.5° (NNE).

| Rumo | HS (m) | Θ_m (°) | Tm (s) |
|------|--------|----------------|--------|
| N | 0.70 | 8 | 2.1 |
| NE | 0.75 | 34 | 2.2 |
| E | 0.64 | 78 | 2.0 |
| SE | 0.64 | 130 | 2.0 |
| S | 0.70 | 193 | 2.1 |
| SW | 0.78 | 220 | 2.1 |
| W | 0.63 | 263 | 2.0 |
| NW | 0.68 | 311 | 2.0 |

| Rumo | HS (m) | Θ_m (°) | Tm (s) |
|------|--------|----------------|--------|
| N | 0.62 | 21 | 2.1 |
| NNE | 0.70 | 26 | 2.2 |
| NE | 0.71 | 31 | 2.2 |
| ENE | 0.62 | 41 | 2.1 |
| E | 0.50 | 56 | 1.8 |
| SE | 0.29 | 97 | 1.2 |
| S | 0.13 | 157 | 0.7 |
| SW | 0.10 | 223 | 0.6 |
| W | 0.17 | 315 | 0.9 |
| NW | 0.33 | 354 | 1.5 |

| Velocidade (m/s) | HS (m) | Θ_m (°) | Tm (s) |
|------------------|--------|----------------|--------|
| 5 | 0.29 | 29 | 1.5 |
| 10 | 0.70 | 26 | 2.2 |
| 15 | 1.09 | 23 | 2.8 |
| 20 | 1.33 | 21 | 3.2 |
| 25 | 1.51 | 21 | 3.2 |

Estimativas do modelo para 3-Out-06



Estimativas de HS e de direção previstas pelo SWAN para o estado de mar gerado às 13:00 de 3 de Outubro de 2006. Vento com 4.7 m/s, proveniente de WNW. Sem e com correntes de maré (modelo operacional do estuário do Tejo, Fernandes et al. (2004), (<http://www.mohid.com/tejo-op/>)).

Influência das correntes de maré nas características dos estados de agitação em frente à praia do Alfeite previstas pelo SWAN para 3-Out-2006, 13:00h

| Rumo do vento | Correntes de maré | HS (m) | Θ_m (°) | HS medido | |
|---------------|-------------------|--------|----------------|-------------------------|--------------------------|
| W | Não | 0.10 | 300 | 0.17 m (sondas res.) | |
| | Sim | 0.09 | 312 | | |
| WNW | Não | 0.13 | 321 | | 0.12 m (sensor pres.) |
| | Sim | 0.13 | 332 | | |

Comentários finais

- > Há uma razoável concordância entre os valores de HS estimados pelo modelo numérico e os medidos no mesmo local, ligeiramente inferiores aos das sondas resistivas e idênticos aos do sensor de pressão.
- > As razões para as diferenças observadas podem ser as seguintes:
 - Os resultados do modelo foram obtidos considerando um simples campo de ventos uniforme em todo o estuário, desprezando-se eventuais variações de rajada.
 - A capacidade de o SWAN modelar a difracção de onda é limitada.
 - As sondas resistivas utilizadas não mostraram ser as mais adequadas para operar nas condições observadas no local de medição.
 - O transdutor de pressão não permite operar com frequências de aquisição adequadas aos sinais a medir (a freq. aquis. máx. é de 2 Hz).

Comentários finais

- > Podem ocorrer ondas relativamente elevadas no estuário para os rumos do vento correspondentes ao maior fetch do estuário;
- > As alturas significativas próximo da praia do Alfeite são inferiores às estimadas no meio do estuário.
 - Para estados de agitação gerados por vento de Norte ou de Nordeste tal redução deve-se certamente à refacção e à rebentação da onda na sua propagação desde o meio do estuário até à praia do Alfeite.
 - Para os estados de mar associados a ventos de outras direcções, é a diminuição do fetch na praia do Alfeite a causa principal daquela diferença de alturas significativas.



Agradecimentos

À Fundação para a Ciência e a Tecnologia, pelo financiamento do Projecto "BERNA – Evolução de praias em zonas de fetch restrito: análise experimental e numérica", ref. POCTI/CTA/45431/2002.

Ao Dr. Paulo Chambel (HIDROMOD), pela disponibilização dos campos de correntes e de elevação da superfície livre previstos pelo modelo operacional do estuário do Tejo para o dia 3 de Outubro de 2006.

Aplicação do modelo SWAN

SWAN = Simulating WAVes Nearshore (Universidade de Delft)

Modelo numérico para geração, propagação e dissipação da agitação marítima

Baseado na equação para a conservação da acção de onda

Considera os processos físicos de:

refracção

difracção

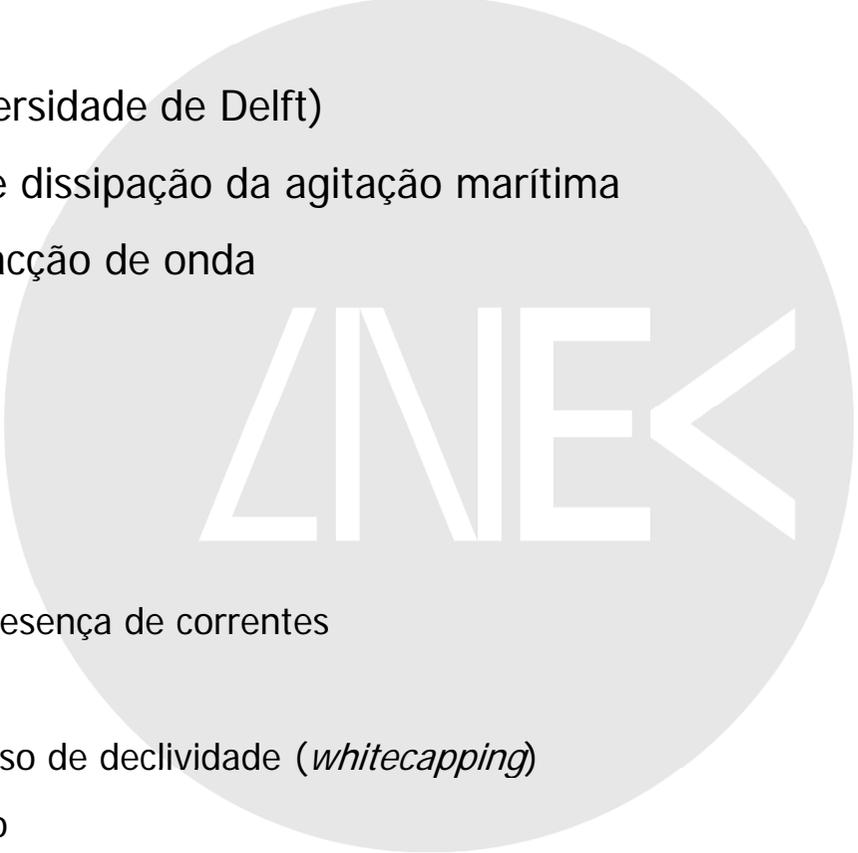
empolamento devido a variações do fundo e presença de correntes

crescimento de onda por acção dos ventos

rebentação por influência do fundo e por excesso de declividade (*whitecapping*)

dissipação de energia devido à fricção do fundo

transmissão através de obstáculos.



ZNEK

Pacote SOPRO-SWAN

- > Utilização do pacote SOPRO-SWAN, composto por:
 - base de dados
 - interface com o utilizador para o modelo numérico SWAN.
- > A interface com o utilizador facilita as operações de armazenamento e manipulação dos dados necessários à execução do modelo SWAN.
- > O pós-processamento dos resultados, nomeadamente a visualização dos resultados, é largamente facilitado com este pacote.
- > Condições de vento consideradas:
 - Campos de ventos uniformes sobre todo o domínio e com velocidades, $U_{10} = 5, 10, 15, 20$ e 25 m/s.
 - Para cada um daqueles valores de velocidade, consideraram-se as 16 direcções principais para o rumo do vento, N, NNE, NE, ENE, ..., etc.
 - O nível de maré em todo o domínio de cálculo foi o correspondente a uma situação de preia-mar de águas vivas (+ 3.8 m ZH).
- > Assim, no total, foram simuladas 80 condições de cálculo distintas.

BERNA – Evolução de praias em zonas de fetch restrito: análise experimental e numérica

