



GUIOMAR – INTERFACE PARA A UTILIZAÇÃO DO MODELO SWAN

Alphonse Nahon^(1,2), Ana Catarina Zózimo⁽¹⁾, Conceição Juana Fortes⁽¹⁾

⁽¹⁾LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal.

⁽²⁾MATMECA, Université Bordeaux 1, France.

alphonse.nahon@etu.u-bordeaux1.fr, aczozimo@lnec.pt, jfortes@lnec.pt

Sumário

GUIOMAR é um sistema integrado para a modelação da agitação marítima em zonas costeiras, baseado num *software* comercial de Sistemas de Informação Geográfica. Este sistema possibilita a utilização de modelos de agitação marítima e a utilização de todas as capacidades inerentes aos pacotes comerciais de SIG.

O sistema GUIOMAR é constituído por três componentes principais: um *software* comercial de SIG, um conjunto de modelos numéricos de propagação de ondas e uma *interface* com o utilizador. A versão actual da *interface* permite a utilização de cinco modelos numéricos de propagação de ondas, com diferentes características.

Actualmente está a ser desenvolvida, para o sistema GUIOMAR, uma *interface* para a utilização do modelo espectral de propagação da agitação marítima SWAN.

Nesta comunicação, serão apresentadas a interface do modelo SWAN e as suas funcionalidades, através da aplicação do modelo ao caso de estudo da agitação marítima na praia de São Pedro do Estoril. Os cálculos efectuados com o modelo SWAN permitem estabelecer o regime de agitação marítima na zona marítima em estudo.

Palavras chave: GUIOMAR, Propagação de ondas, Sistemas de Informação Geográfica, *Visual Basic for Applications*, Modelo SWAN, Apoio à tomada de decisão.

1 INTRODUÇÃO

A modelação numérica permite uma simulação simplificada das condições de agitação marítima em qualquer ponto da costa, para um dado clima de agitação ao largo. No entanto, a utilização de modelos de propagação de ondas requer tempo para a preparação dos dados dos modelos numéricos e as inexactidões dos resultados dos modelos numéricos podem ser minimizadas se forem escolhidos os parâmetros mais correctos para cada caso de estudo.

Adicionalmente, para a tomada de decisão acerca de intervenções na zona costeira, é necessário que, da enorme quantidade, tanto de resultados obtidos com as simulações, como de dados existentes, se retirem as informações relevantes de forma clara, simples e expedita para a actuação fundamentada e célere dos responsáveis pela decisão. Os Sistemas de Informação Geográfica, SIG, possuem grandes potencialidades para este fim e são considerados vitais para a compreensão da complexidade dos riscos naturais nos seus contextos espacial e temporal.



5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

Assim, surgiu a necessidade de um sistema integrado para a modelação da agitação marítima, aplicado à zona costeira portuguesa e que inclua todas as funcionalidades de um SIG.

Numa primeira abordagem, Charneca *et al.* (2004) testaram as funcionalidades do *software* comercial de SIG, ArcGIS™, no caso de teste da propagação de ondas marítimas desde o largo até à costa de Sines. Para esse caso de teste, os resultados numéricos foram obtidos com o modelo numérico de propagação de ondas REFDIF (Dalrymple e Kirby, 1991). Foi confirmada a grande capacidade do *software* ArcGIS™ na visualização de resultados e que constitui uma alternativa ao *software* normalmente utilizado no LNEC, como o XMGREDIT (Baptista e Turner, 1992), o Tecplot™, ou o Golden Software Surfer™.

No seguimento desse trabalho, e de modo a automatizar todo o processo de integração dos modelos numéricos com o SIG comercial, iniciou-se posteriormente o desenvolvimento do sistema GUIOMAR, que é um sistema integrado para a modelação da agitação marítima (Zózimo *et al.*, 2005). Durante a fase inicial de desenvolvimento do GUIOMAR, apenas foi desenvolvida a *interface* para dois modelos numéricos de propagação de ondas, DREAMS (Fortes, 2002) e REFDIF. Essa *interface* apenas permitia efectuar a escolha dos ficheiros de dados a utilizar para a aplicação de cada modelo, posteriormente aplicar os modelos e, finalmente, proceder a uma análise simples dos seus resultados. Recentemente, o GUIOMAR sofreu uma importante evolução, no sentido de permitir a aplicação de mais modelos numéricos de propagação de ondas, de permitir outras formas de análise de resultados e de possibilitar a geração de malhas de diferenças finitas e de elementos finitos (Favreau, 2005, Zózimo *et al.*, 2005, 2006). Os modelos numéricos de propagação de ondas passíveis de serem utilizados através da *interface* actual são os modelos DREAMS, REFDIF, REFDIF S (Kirby e Ozkan, 1994) e FUNWAVE (Kirby *et al.*, 1998), nas suas versões 1D e 2D.

Actualmente está a ser desenvolvida, para o sistema GUIOMAR, uma *interface* para a utilização do modelo espectral de propagação de agitação marítima SWAN (Booij *et al.*, 1999). Tal como as restantes *interfaces* que fazem parte do sistema GUIOMAR, esta *interface* está a ser desenvolvida em *Visual Basic for Applications* (VBA) para ArcGIS™.

As principais funcionalidades pretendidas para a *interface* do modelo SWAN são as seguintes: 1) Simplificar a construção de ficheiros de dados para o modelo SWAN; 2) Executar o modelo SWAN; 3) Permitir visualizações automáticas dos dados batimétricos; 4) Conter ferramentas automáticas para a visualização dos resultados do modelo, e 5) Permitir a escolha interactiva de pontos do domínio computacional para serem utilizados nas aplicações do modelo SWAN.

Nesta comunicação, são descritos os desenvolvimentos mais recentes do sistema GUIOMAR nomeadamente a *interface* desenvolvida para o modelo SWAN. São ilustradas as potencialidades e limitações desta ferramenta através da aplicação do modelo SWAN ao caso de estudo da propagação de ondas junto à praia de São Pedro do Estoril. Os cálculos com o modelo SWAN permitirão estabelecer o regime de agitação marítima nessa zona de estudo.

2 O SISTEMA GUIOMAR

O sistema GUIOMAR é constituído por três componentes principais: um *software* comercial de SIG, um conjunto de modelos numéricos de propagação de ondas e outros programas de pré e pós processamento programados em FORTRAN™, e uma *interface* com o utilizador, desenvolvida em linguagem de programação VBA for ArcGIS™. O sistema tem um carácter modular, o que o torna facilmente expansível, por permitir a inclusão ou substituição de módulos, tais como modelos mais avançados ou que simulem outros fenómenos físicos.

Pretende-se que, num futuro próximo, este sistema coordene a utilização dos modelos matemáticos seus constituintes, incluindo a geração de malhas computacionais, a imposição de condições de fronteira e a visualização de dados e resultados, auxiliando o utilizador na aplicação dos vários modelos numéricos de propagação de ondas que se encontrem disponíveis.



5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

Actualmente, a *interface* consiste num conjunto de janelas interactivas, e permite a visualização e definição dos dados batimétricos e a definição dos parâmetros dos modelos para um determinado caso de estudo, sendo a componente mais visível do Sistema.

Nas próximas secções, serão apresentados o diagrama projecto para o funcionamento do sistema GUIOMAR, as principais características do modelo SWAN e a *interface* desenvolvida para a sua utilização.

2.1 Diagrama projecto do GUIOMAR

Na Figura 1, apresenta-se o diagrama projecto do sistema GUIOMAR. Este diagrama foi desenvolvido na *Unified Modelling Language* (UML). Embora o modelo conceptual do GUIOMAR possa ser implementado com qualquer *software* comercial de SIG, o GUIOMAR está a ser desenvolvido com base no ArcGIS 9.0TM. Este é um sistema de uso generalizado em vários domínios, desde a engenharia civil ao ambiente, ou cartografia, para além de ser um SIG comercial já com vários anos de desenvolvimento e utilização. A utilização do ArcGIS 9.0TM permite ainda a programação das várias tarefas de automatização e *interface* utilizando a linguagem VBA, o que na prática se torna uma vantagem porque é uma linguagem fácil de aprender.

É de realçar que o GUIOMAR está desenvolvido na língua Inglesa, pois considerou-se que tal permitiria um maior intercâmbio com a comunidade científica nacional e estrangeira.

2.2 Interface do GUIOMAR

2.2.1 Passos gerais de utilização da *interface*

Após a instalação do Sistema GUIOMAR no computador, o utilizador poderá aceder às suas funcionalidades através do *software* ArcMap, pertencente ao pacote do ArcGISTM, Figura 2. O GUIOMAR está inserido na forma de uma nova extensão do *software* ArcMap (como é, por exemplo, a extensão *3D Analyst*).

Actualmente, esta extensão permite fazer visualizações automáticas de batimetrias, utilizar os modelos DREAMS, REFDIF, REFDIF S, FUNWAVE 1D e FUNWAVE 2D (Favreau, 2005, Zózimo *et al.*, 2005, 2006) e utilizar o programa GMALHA (Pinheiro *et al.*, 2006), que permite a geração de malhas triangulares irregulares. É, no entanto, de realçar, que este Sistema está presentemente em desenvolvimento e que existem alguns problemas (*bugs*) no seu funcionamento, que estão constantemente a ser despistados e resolvidos.

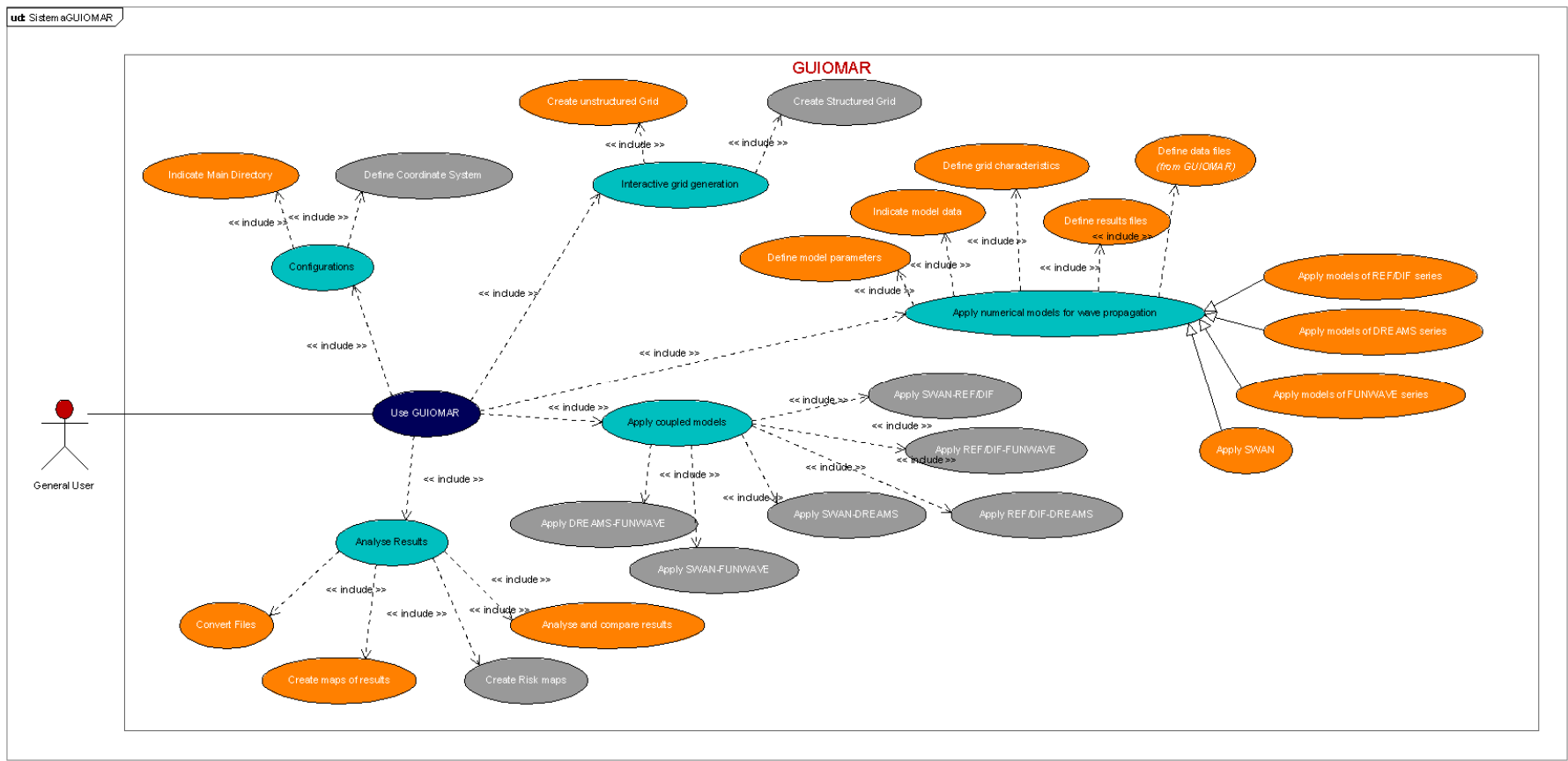


Figura 1. Diagrama projecto do Sistema GUIOMAR. Sistema de cores: azul: principais use cases do Sistema; laranja: use case parcialmente finalizado; cinzento: use case ainda não desenvolvido.

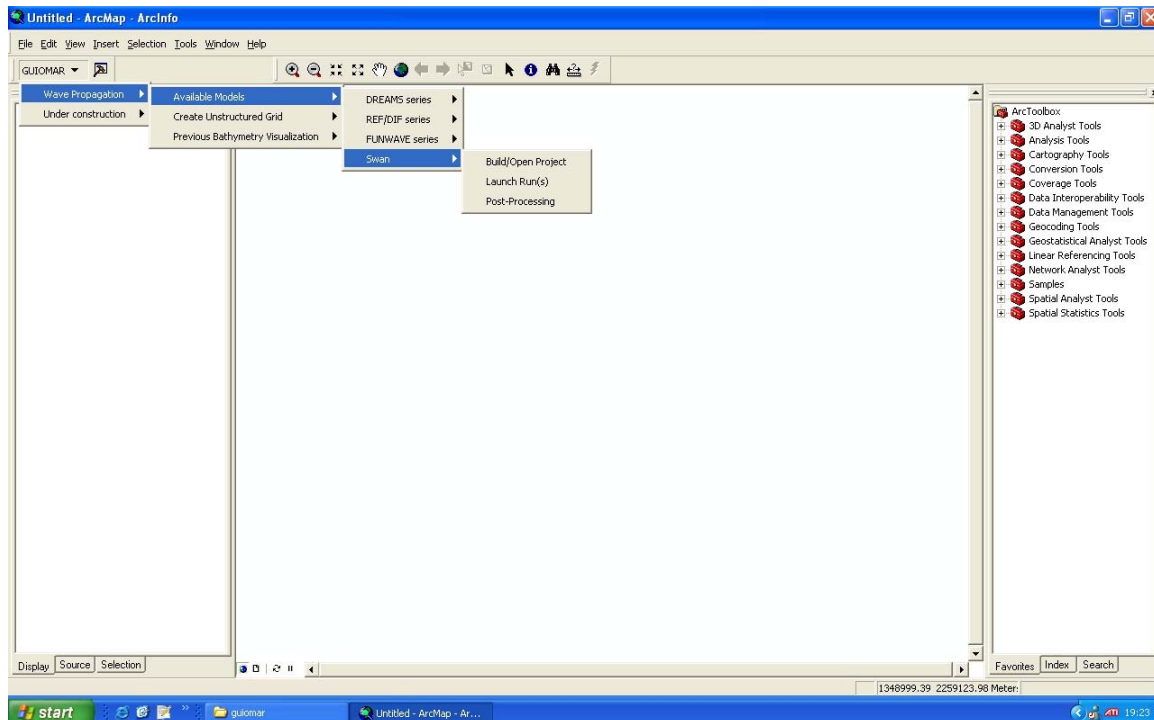


Figura 2. Menu principal do GUIOMAR.

Escolhido o modelo, surgem os diferentes formulários correspondentes ao modelo escolhido e que ajudarão na introdução e manipulação de dados, na aplicação do modelo e na visualização de dados e de resultados.

É de referir também que, após a escolha do modelo pretendido, aparece uma primeira janela que permite efectuar a procura da pasta onde se pretende que fiquem guardados todos os ficheiros criados durante essa utilização do modelo. Posteriormente, e também para todos os modelos disponibilizados actualmente, é permitido ao utilizador na janela “*Project description*” (Figura 4), dar um nome ao caso de estudo e escrever uma pequena descrição do mesmo, de modo a que fique registado para aplicações posteriores.

Como os modelos numéricos trabalham directamente com ficheiros de entrada, o GUIOMAR permite não só a introdução de novos dados manualmente, como também a importação de ficheiros de dados já existentes, facilitando assim a construção de novos conjuntos de dados. Importa referir que, neste último caso, a importação só se fará se os dados contidos no ficheiro estiverem de acordo com o formato pré-definido no GUIOMAR. Tendo em conta as regras existentes para uma correcta importação de dados, será criado no futuro um conjunto de ajudas ao utilizador, no sentido de o orientar na construção de ficheiros para posterior importação.

A exportação dos ficheiros de entrada dos modelos numéricos é simples e ocorre sempre que se manda executar o modelo. O Sistema responsabiliza-se pela escrita desses ficheiros de acordo com as especificações pré-estabelecidas para um determinado modelo numérico. Se houver alguma falha nos dados introduzidos, o utilizador é notificado com uma mensagem de erro, que se pretende que no futuro indique o local onde ocorreu a correcção (esta funcionalidade já está bastante avançada para o modelo REF/DIF).

2.3 Modelo SWAN

2.3.1 Descrição geral

O modelo SWAN - acrónimo de *Simulating WAVes Nearshore* - é um modelo numérico para geração, propagação e dissipação da agitação marítima, baseado na equação para a conservação da acção de onda (Booij *et al.*, 1999, SWAN Team, 2006). Trata-se de um modelo



5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

de domínio público (*freeware*), em constante desenvolvimento pela *Delft University of Technology* da Holanda, que possui como uma das maiores vantagens a manutenção da estrutura dos ficheiros de dados e de resultados o que permite a fácil actualização de versões mais robustas e completas do modelo sempre que necessário.

Este modelo propaga a agitação marítima desde o largo até próximo da costa considerando os processos físicos de refacção, difracção e 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 (*whitcapping*), dissipação de energia devido ao atrito de fundo, bloqueio e reflexão por correntes opostas e transmissão através de obstáculos.

O campo de ondas na zona é caracterizado pelo espectro bidimensional de densidade da acção da agitação marítima. Com esta representação, é possível a aplicação do modelo em áreas onde o crescimento da agitação marítima pela acção do vento seja notável ou onde estados de mar, ou mesmo ondulação, estejam presentes. A propagação da agitação, nos modos estacionário ou não estacionário, nos espaços geográfico e espectral, é realizada utilizando esquemas numéricos implícitos. A zona em estudo pode ser descrita com coordenadas cartesianas ou esféricas, utilizando uma malha regular.

2.3.2 Vantagens e limitações

Como vantagens, o modelo SWAN tem o facto de modelar numericamente estados de mar aleatórios e irregulares em zonas costeiras e pouco profundas. Este modelo, baseado na equação de conservação da acção de onda, permite a geração e dissipação das ondas devidas ao vento e as transferências de energia entre as frequências do espectro, enquanto que os modelos de propagação de ondas irregulares que utilizam o método de sobreposição linear de componentes não conseguem modelar (tais como o REF/DIF S). Além disso, este modelo, ao contrário de outros modelos de média em fase, tem em conta a difracção das ondas embora este fenómeno não esteja incluído na equação de conservação da acção da onda.

Como qualquer modelo, este possui limitações na correcta representação de um estado de agitação, que são devidas, quer à formulação teórica em que o modelo se baseia, quer ao esquema numérico utilizado. Relativamente à formulação teórica, a principal limitação está relacionada com a calibração dos parâmetros envolvidos na descrição dos diferentes fenómenos físicos.

A calibração efectuada para o modelo SWAN utilizou dados da campanha JONSWAP, que foi realizada no Mar do Norte (Hasselmann *et al.*, 1973). Devido a este facto, por exemplo, os parâmetros utilizados no espectro de ondas ou na dissipação de energia por atrito de fundo estão calibrados para o Mar do Norte. Tais parâmetros poderão não estar correctos para áreas com diferentes características de clima de ondas (ondas associadas ao estado de mar vaga e ondulação) ou diferentes características do fundo marinho.

Relativamente a aspectos numéricos, a inclusão da difracção implica que o tamanho e espaçamento da malha relativamente ao comprimento de onda, seja tal que garanta a convergência dos cálculos computacionais. Tal implica por vezes malhas de tão grande dimensão que podem inviabilizar a execução dos cálculos.

Outro ponto importante é a influência das condições de fronteira nos resultados do modelo SWAN em certas zonas do domínio de cálculo. Com efeito, como se pode verificar na Figura 3, na zona compreendida entre 0° e 30° desde a direcção média da onda, os resultados não podem ser considerados fiáveis devido às influências da fronteira. Este aspecto é muito importante na construção da malha computacional de cálculo, de modo a definir correctamente a zona de interesse.

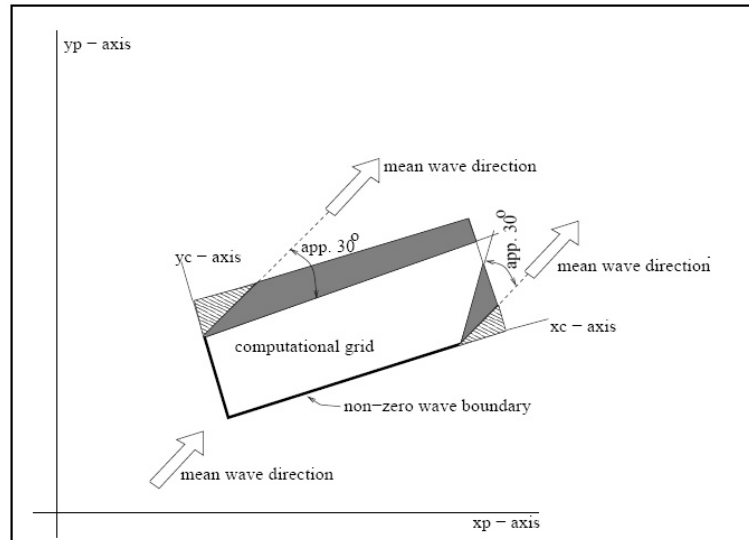


Figura 3. SWAN: Limitações da malha computacional. Retirado de SWAN Team (2006).

2.3.3 Dados e resultados

Os dados necessários para a execução do SWAN são a malha batimétrica da zona a modelar, as malhas computacionais com que se discretiza o domínio de cálculo, características do espectro de onda incidente e as condições de agitação na fronteira de entrada do domínio, para além de um conjunto de outros parâmetros de cálculo.

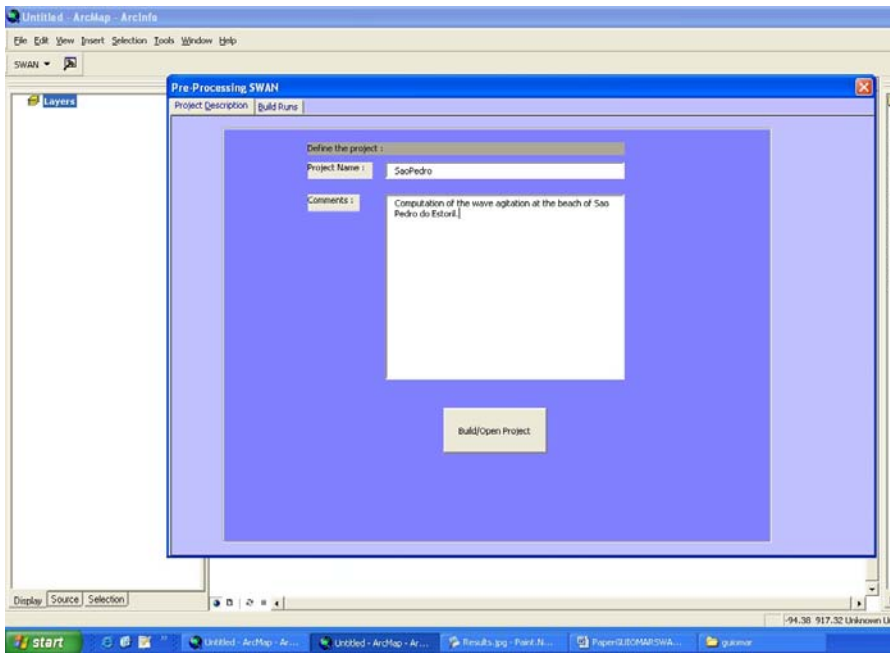
O modelo SWAN apresenta como resultados, em qualquer ponto do domínio, a altura significativa da onda (H_S), os períodos médio (T_Z) e de pico (T_P), a direcção média (Θ_m) e de pico (Θ), o comprimento de onda (L), o nível de maré e a dispersão direccional.

2.3.4 Interface para o modelo SWAN

No sistema GUIOMAR, o utilizador pode aceder ao módulo SWAN seleccionando no menu principal o correspondente botão, Figura 2. Através deste menu, o utilizador tem acesso aos formulários:

- “*Build/Open Project*”, que permite ao utilizador introduzir/construir os ficheiros de dados do SWAN. Este formulário conduz a uma série de janelas, em que as mais relevantes são as seguintes: 1) “*Bottom*”; 2) “*Computational area*”; 3) “*Spectrum resolution*”; 4) “*Physical Processes*”; 5) “*Wave Conditions*”; 6) “*Output Specification*”.
- “*Build Run(s)*” que permite ao utilizador mandar executar o modelo SWAN.
- “*Post-Processing*” que permite ao utilizador visualizar os dados e resultados do modelo SWAN.

De seguida, serão apresentadas as principais janelas da *interface* desenvolvida para o modelo SWAN e um resumo das respectivas operações a que o utilizador tem acesso, da Figura 4 à Figura 12.

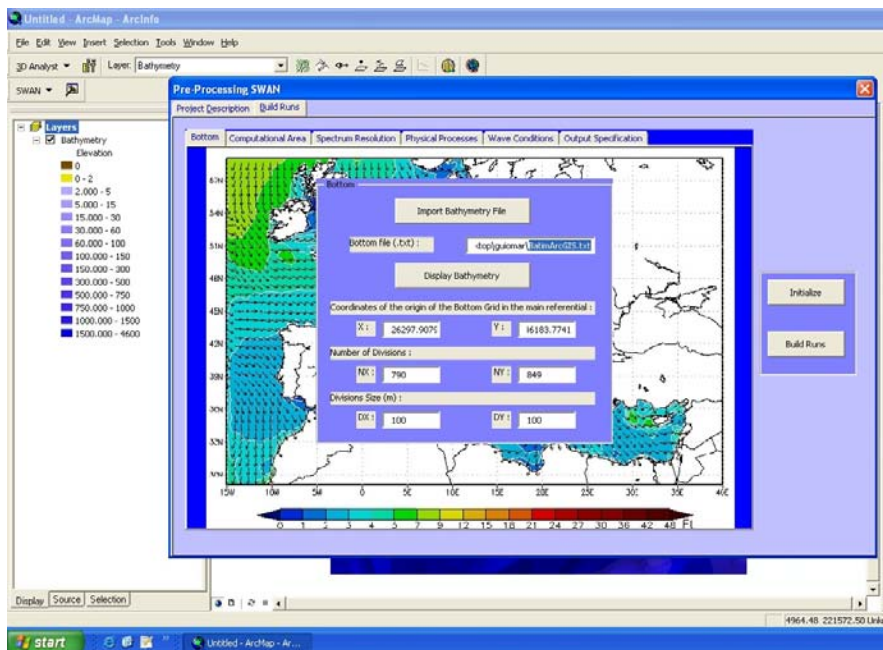


Janela *Project description*

Permite:

- Definir/visualizar as características do caso de estudo;
- Atribuir um nome e uma pequena descrição ao projecto;
- Construir pastas e ficheiros necessários para a execução do modelo;
- Aceder a projectos já existentes.

Figura 4. SWAN: Formulário “*Project Description*”, que define as características do caso de estudo.

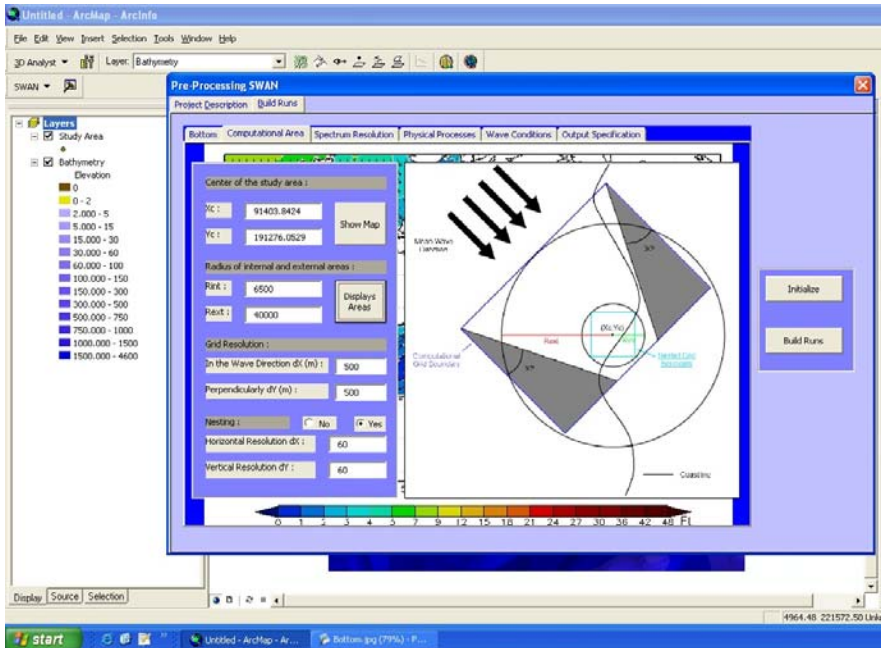


Janela *Bottom*

Permite:

- Importação do ficheiro da batimetria da região de estudo;
- Definição das principais características dessa batimetria:
 - Coordenadas do ponto de origem da malha;
 - Número de divisões e o espaçamento em x e y.

Figura 5. SWAN: Formulário “*Bottom*”, que permite a importação da batimetria.

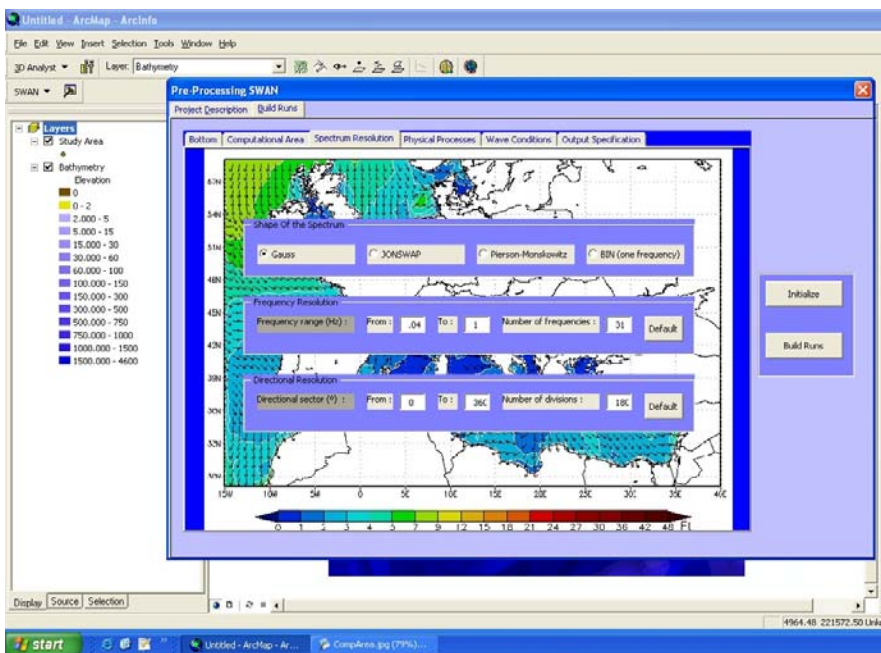


Janela *Computational area*

Definição da área de estudo e das características principais das malhas computacionais a serem utilizadas pelo SWAN:

- O centro da área de estudo;
- O raio da área de estudo;
- A distância onde é definido o clima de agitação ao largo;
- O espaçamento da malha computacional;
- Se haverá ou não uma malha mais restrita.

Figura 6. SWAN: Formulário “*Computational area*”, que define as características das malhas computacionais.

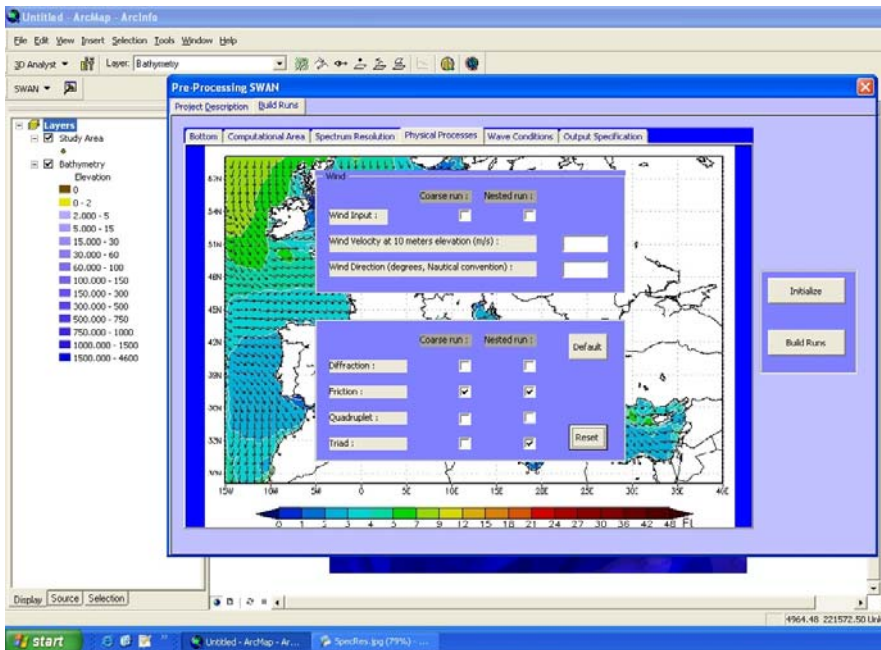


Janela *Spectrum resolution*

Definição das principais características do espectro da onda incidente:

- Gama de frequências e de direcções do espectro incidente;
- Número de divisões em frequência e em direcção.

Figura 7. SWAN: Formulário “*Spectrum resolution*”, que define as características do espectro de onda incidente.

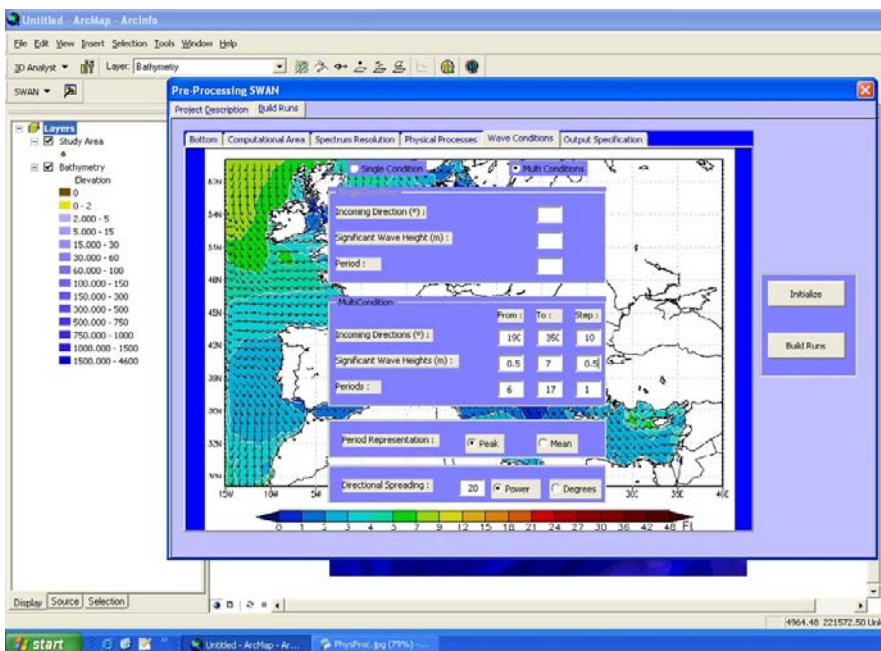


Janela *Physical processes*

Seleção dos processos físicos que deverão ser tidos em conta nos cálculos com o modelo SWAN:

- Difracção;
- Dissipação por atrito de fundo;
- Interações não lineares no espectro de energia;
- Vento, através da introdução do valor da velocidade a 10 m acima do nível do mar.

Figura 8. SWAN: Formulário “*Physical processes*”, que permite seleccionar diferentes processos físicos, incluindo o vento, nos cálculos do modelo SWAN.



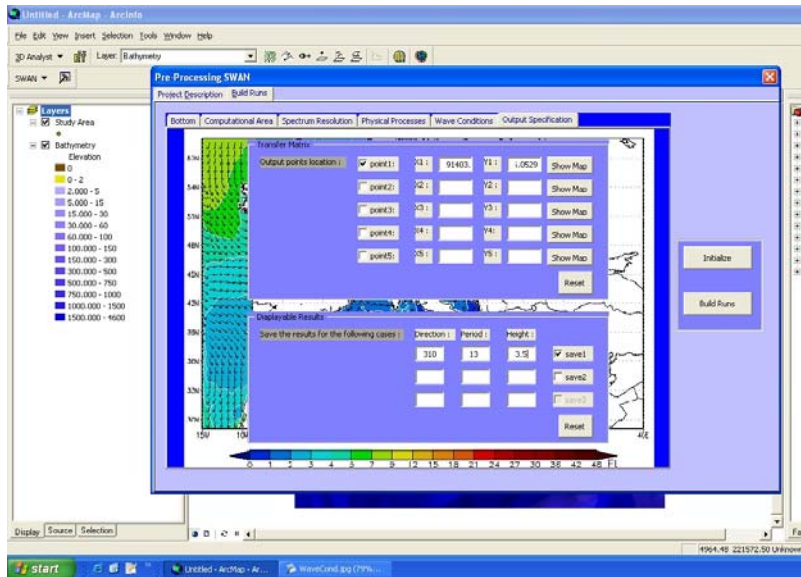
Janela *Wave Conditions*

Define as condições de agitação incidente nas fronteiras da malha computacional. O modelo pode ser aplicado para:

- Uma única condição de agitação incidente (*single condition*);
- Diversas condições de cálculo numa mesma batimetria (*multi condition*)¹.

Figura 9. SWAN: Formulário “*Wave conditions*”, que permite executar o modelo para uma ou várias condições de agitação.

¹ *Multi condition*: permite aplicar o modelo várias vezes considerando diferentes condições de agitação incidente (diferentes períodos, direcções, alturas da onda incidente ou níveis de maré). É criado um ficheiro de comandos que contém as informações necessárias à aplicação do modelo para todas as condições definidas e o posterior registo de todos os ficheiros de resultados respectivos a cada uma das aplicações efectuadas.



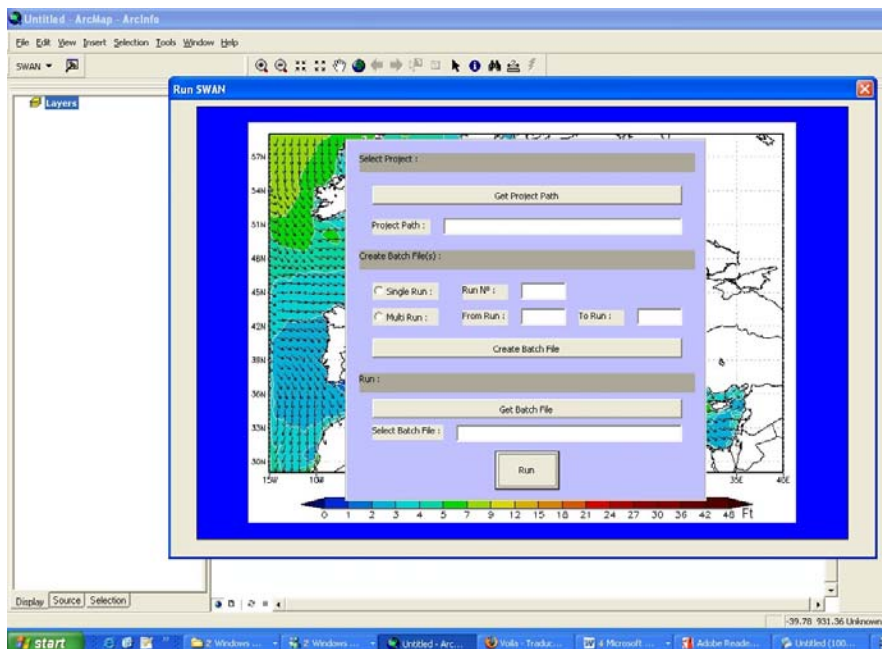
Janela *Output specification*

Permite escolher:

- As coordenadas dos pontos onde se pretende obter resultados do modelo SWAN, para todas as condições de agitação incidente escolhidas;
- As condições de agitação incidente para as quais se pretende gravar os resultados em todo o domínio de cálculo.

Figura 10. SWAN: Formulário “*Output specification*”, que permite obter resultados do modelo SWAN num ponto do domínio ou em todos os pontos do domínio.

Após o preenchimento dos campos constituintes das janelas apresentadas anteriormente, é necessário accionar o botão “*Build Runs*” para construir os ficheiros de dados do modelo SWAN. Este botão dá acesso ao formulário “*Run SWAN*”, apresentado na Figura 11. Este formulário permite a criação de um ficheiro de comandos que contém o nome das corridas pretendidas, que será posteriormente executado. Finalmente, na Figura 12 é possível visualizar a batimetria e os resultados do modelo SWAN.

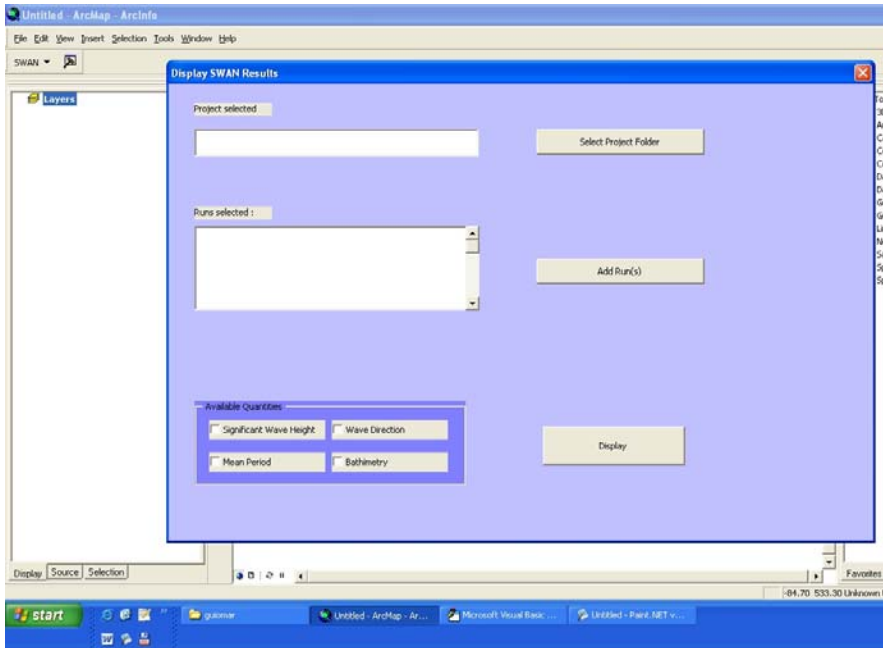


Janela *Run SWAN*

Passos para criação do ficheiro de comandos:

1. “*Project Path*”, para identificar a directoria onde se encontra o projecto;
2. “*Create batch file*”, para criar o ficheiro de comandos que executará uma corrida (*Single run*) ou várias corridas do modelo (*Multi Run*);
3. “*Get batch file*”, para seleccionar a directoria onde está localizada a batimetria;
4. “*Run*”, para executar o ficheiro de comandos.

Figura 11. SWAN: Formulário “*Run SWAN*” que permite construir e executar o ficheiro de comandos.



Janela *Display SWAN results*

Permite a construção dos seguintes modelos digitais para a batimetria e para os resultados do modelo SWAN de:

- Altura significativa de onda (HS);
- Direcção média de onda, (Θ_m);
- Período médio (TZ);

Figura 12. SWAN: Formulário que permite visualizar automaticamente os resultados do modelo SWAN.

Nesta fase de desenvolvimento do sistema, ainda não é possível criar através da *interface* as malhas do domínio computacional do modelo, assim como a fronteira respectiva e as suas condições de fronteira. Este trabalho encontra-se em desenvolvimento.

3 CASO DE APLICAÇÃO: REGIME DE AGITAÇÃO MARÍTIMA NA PRAIA DE SÃO PEDRO DO ESTORIL

3.1 Local de estudo

A praia de São Pedro do Estoril pertence ao concelho de Cascais, Portugal, e compreende um areal com 400 m de extensão e entre 25 m e 35 m de largura, ladeado por formações rochosas baixas, Figura 13.



Figura 13. São Pedro do Estoril. Local de implantação do recife artificial. Retirado de Fortes *et al.* (2007).

A poente desta praia está prevista a implantação de um recife artificial para a prática do *surf*, para o qual estão a ser realizados estudos, em modelo numérico e em modelo físico, do funcionamento do recife para diferentes condições de agitação marítima, Figura 13. Ora, o conhecimento, tão fiel quanto possível, do regime de agitação marítima (nomeadamente, o

chamado regime geral observado) nas imediações da zona de estudo é absolutamente necessário para esses estudos de modelação numérica e física do recife artificial.

Em Fortes *et al.* (2007) foi definido um regime de agitação marítima com base no modelo numérico BACKTRACK-REFSPEC que é um modelo linear e que tem apenas em conta a refração de ondas irregulares. Pretende-se, no presente trabalho, utilizar o modelo SWAN para a determinação desse regime, o que permitirá a consideração de outros fenómenos na propagação e transformação de ondas, como a difracção, a rebentação por influência do fundo e por excesso de declividade (*whitecapping*), a dissipação de energia devido ao atrito de fundo e interacções não-lineares no espectro de energia.

Assim, nas próximas secções, descreve-se a metodologia seguida e a utilização da *interface* do SWAN para a execução dos cálculos e a visualização dos resultados.

3.2 Metodologia

Dado que não existem dados de agitação marítima disponíveis na zona da praia de São Pedro do Estoril, a definição do regime de agitação marítima para esse local baseou-se na transferência do regime ao largo para a zona em estudo, e mais concretamente, para o ponto P4, segundo a metodologia definida em Coli *et al.* (1999) (ver Figura 14), utilizando o modelo SWAN. Note-se que o modelo SWAN permite a caracterização em toda a zona de estudo e não apenas num ponto. Este procedimento permite a definição do regime de agitação marítima local na zona marítima em frente à praia de São Pedro do Estoril (Fortes *et al.*, 2007).

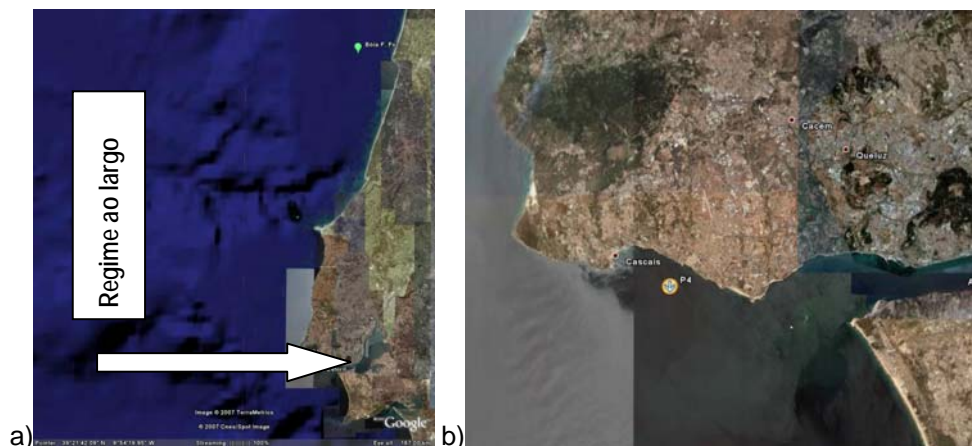


Figura 14. a) Transferência largo-costa (Coli *et al.*, 1999); b) Localização do ponto P4, representativo da zona marítima em estudo (Google™ Earth©, 2007).

Os valores a serem transferidos com o modelo SWAN são os correspondentes ao regime ao largo, que é definido pelos valores tri-horários dos parâmetros altura significativa, HS, período de zero ascendente, TZ e direcção da onda, Θ . Estes valores perfazem um total de 13 237 trios.

No entanto, como a transferência individual dos 13 237 trios de valores de agitação marítima, que constituem o regime geral observado ao largo para o ponto P4, seria impraticável do ponto de vista do esforço computacional necessário, optou-se pela construção de uma matriz de transferência, Figura 15, que permite uma operação de transferência mais eficaz e rápida, apesar de mais simplificada. Esta matriz de transferência foi construída da seguinte forma (Fortes *et al.*, 2007):

- Definiu-se o conjunto de condições de agitação incidente ao largo ($H+\Delta H$, $T+\Delta T$ e $\Theta+\Delta\Theta$, Figura 15) que cobrem a gama de direcções, períodos e alturas de onda que estão presentes no regime geral observado ao largo;
- Para cada uma dessas condições, aplicou-se o modelo de propagação de ondas SWAN, e obtiveram-se as características da agitação marítima (H , T e Θ) no ponto P4;

- Efectuou-se a compilação das características da agitação (H , T e Θ) obtidas para o conjunto de condições de agitação incidente ao largo, no ponto P4. Definiu-se, assim, a matriz de transferência, correspondente a cada modelo numérico utilizado.

Uma vez definida a matriz de transferência, foram interpolados os valores do regime ao largo e assim obtido o regime de agitação marítima local, em frente à zona da praia de São Pedro do Estoril, Figura 15.



Figura 15. Esquema da transferência de regimes do largo para o destino em estudo. Adaptado de Fortes *et al.* (2007).

3.3 Utilização do modelo SWAN na transposição do regime geral observado desde o largo até ao local de estudo

3.3.1 Batimetria

Para o presente estudo da agitação marítima, utilizaram-se os seguintes levantamentos e cartas hidrográficas do Instituto Hidrográfico:

- Carta nº 4. Cabo Carvoeiro ao Cabo Raso. Escala 1:150000. 6^a Edição, Abril 1983;
- Carta nº 5. Cabo da Roca ao Cabo de Sines. Escala 1:150000. 1972-1980;
- Carta nº 45. Barras do Porto de Lisboa e Baía de Cascais. Escala 1:75000. 2^a Edição, Março de 1992.

Com base nestes levantamentos e cartas, obteve-se, por digitalização, a batimetria da zona de interesse do estudo, Figura 16.

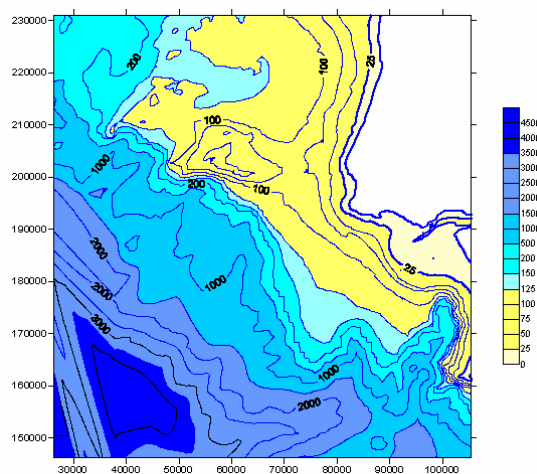


Figura 16. Batimetria da zona marítima em estudo. Retirado de Fortes *et al.* (2007).

A visualização da batimetria é feita actualmente através da criação de um modelo digital do fundo (designado por TIN: *Triangular Irregular Network*) que permite evidenciar, a partir das tecnologias de visualização 2D e 3D incorporadas no *software* comercial utilizado, as principais características desse fundo que podem influenciar os resultados obtidos pelos modelos de propagação de ondas marítimas. É também possível sobrepor e analisar conjuntamente o modelo digital de batimetria e a localização dos pontos que lhe deram origem. Esta análise facilita a detecção de erros batimétricos, uma vez que permite rapidamente a identificação dos pontos que criaram as incongruências.

Na Figura 17 apresenta-se a visualização 2D da batimetria da praia de São Pedro do Estoril.

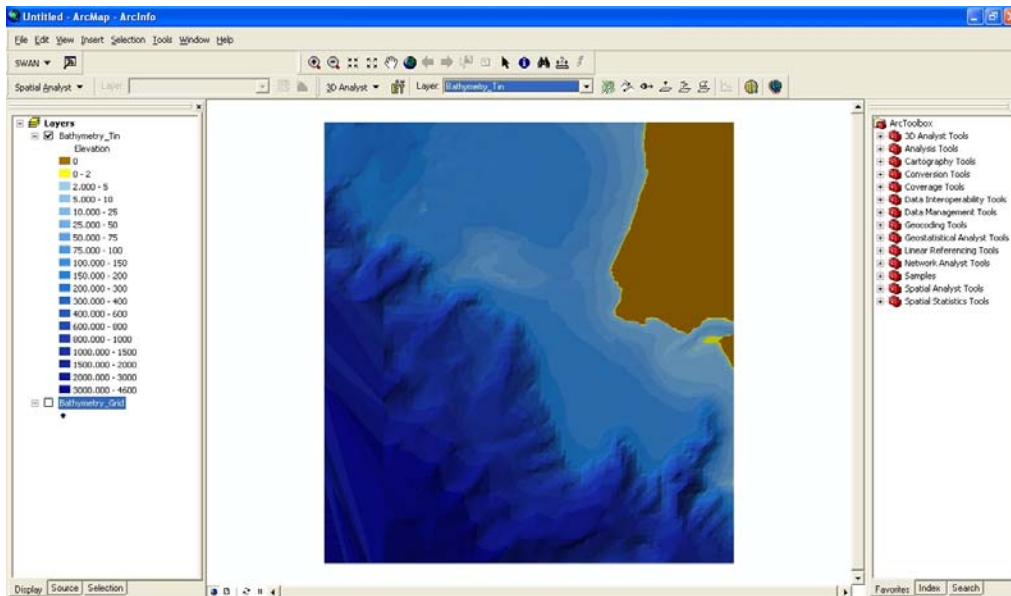


Figura 17. Visualização do modelo digital de fundo (TIN). Batimetria 2D da praia de São Pedro do Estoril.

Na Figura 18 apresenta-se também um pormenor da batimetria do local onde está localizado o ponto P4, cujas coordenadas são (91403.84, 191276.1) m. O ponto P4 tem uma profundidade de 18.4 m.

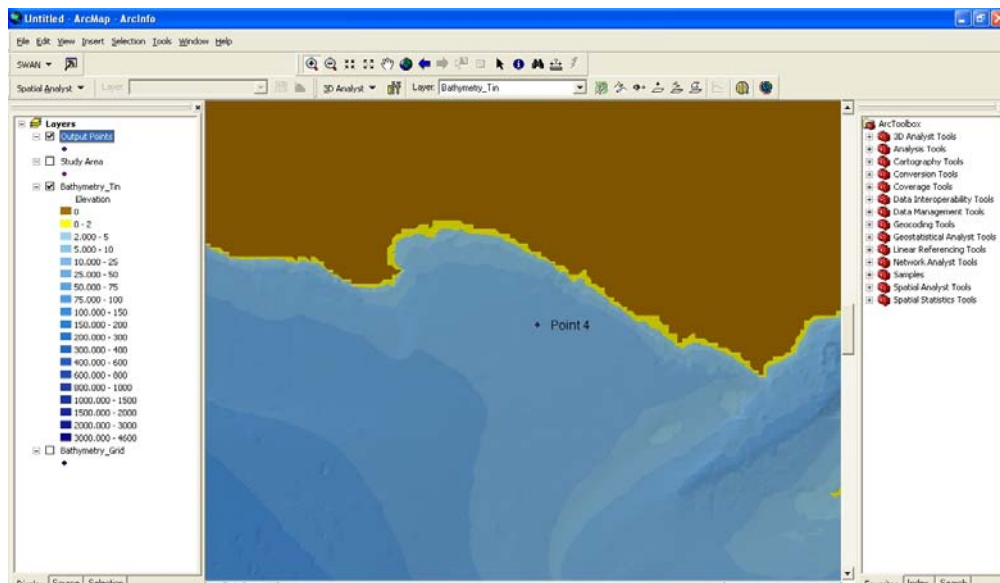
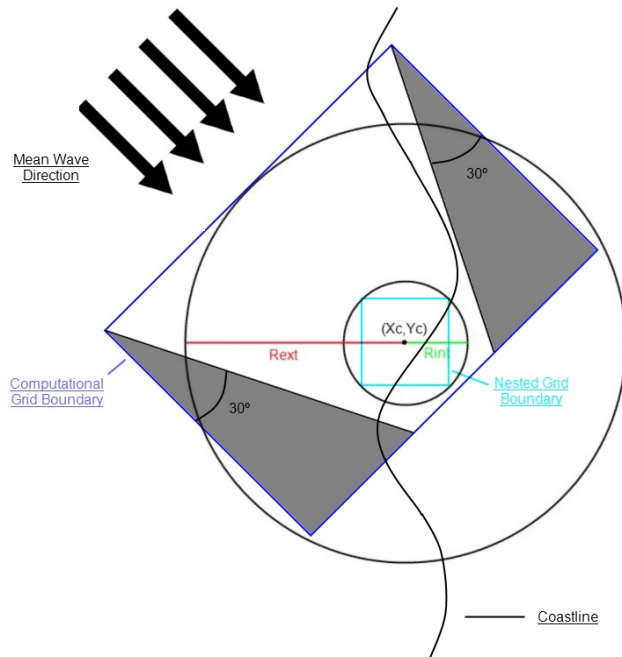


Figura 18. Praia de São Pedro do Estoril. Batimetria e localização do ponto P4.

3.3.2 Domínio de cálculo

A geração das malhas computacionais é função de três parâmetros, que estão ilustrados na Figura 19.



- **X_c, Y_c** : Centro da região de estudo;
- **R_{int}** : raio que define a zona de estudo (zona pertencente à área em que se pode garantir a fiabilidade dos resultados do SWAN). Define a dimensão da malha mais restrita;
- **R_{ext}** : ($R_{ext} > R_{int}$) define a distância à qual se deve considerar a fronteira de entrada e o clima de agitação ao largo, relativamente à malha restrita ;
- **O comprimento da fronteira de entrada** é definido através da seguinte expressão:

$$2(R_{ext} + R_{int}) \tan 30^\circ + 2R_{int}$$
- **O comprimento da fronteira perpendicular à fronteira de entrada** é definido através da seguinte expressão:

$$R_{ext} + R_{int} + 10m$$

Figura 19. Definição das malhas computacionais (global e restrita).

O comando *Display Areas* permite validar estes três parâmetros e traçar as zonas externas e internas com a batimetria. Para o caso da praia de São Pedro do Estoril, o centro da região de estudo, e portanto os valores X_c, Y_c , são os correspondentes ao ponto P4. Estes valores são introduzidos no formulário da Figura 6. As malhas computacionais global e restrita adoptadas podem ser visualizadas na Figura 20.

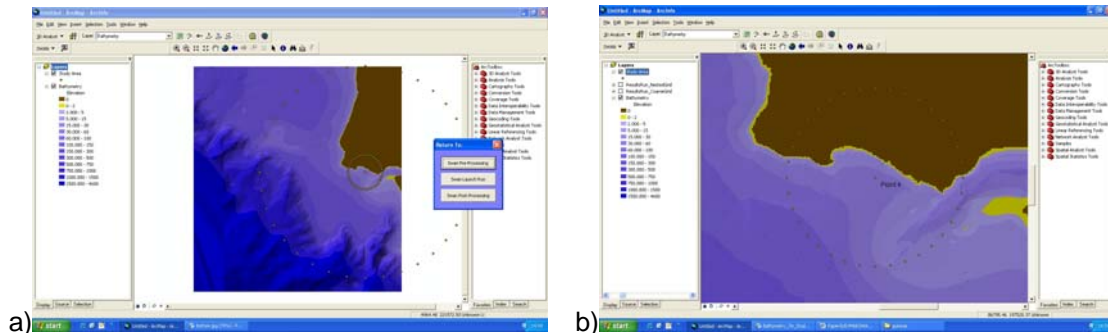


Figura 20. Praia de São Pedro do Estoril. Malhas computacionais global e restrita.



5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

Com o procedimento anterior, o domínio de cálculo do modelo SWAN foi discretizado através de duas malhas rectangulares, uma que cobre toda a região marítima, e outra menor, encaixada na primeira, que contém a região próxima à praia de São Pedro do Estoril. A malha maior (global) possui as dimensões de 67 km por 47 km, e é composta de unidades quadrangulares de 500 m de lado. A malha menor (encaixada) foi definida com uma resolução de 60 m, cobrindo um quadrado de 9 km por 9 km.

3.3.3 Selecção dos parâmetros de agitação marítima

Para os cálculos do SWAN, o espectro direccionado foi definido a partir da discretização de um espectro em frequência contendo 21 intervalos, de 0.070 a 2.0 Hz, com distribuição logarítmica, e de uma discretização em direcção cobrindo os 360°, dividida em 144 intervalos ($\Delta\Theta = 2.5^\circ$). Todas as execuções, com a versão 40.41 do SWAN, foram realizadas em modo estacionário, sem a presença de correntes ou agitação marítima proveniente da barra do Tejo. Os fenómenos físicos incluídos foram:

- na malha global: refacção, o empolamento e a rebentação por influência do fundo e do excesso de declividade (*whitecapping*).

- na malha restrita: refacção, o empolamento e a rebentação por influência do fundo e do excesso de declividade (*whitecapping*), interacções entre tríades de ondas (*triad wave-wave interactions*) e a geração de harmónicas (*frequency shifting*). Estas condições foram introduzidas nos formulários apresentados na Figura 7 e na Figura 8.

Com base no regime de agitação marítima ao largo (Fortes *et al.*, 2007) definiram-se os intervalos possíveis dos períodos (T) e das direcções (Θ), para obter a matriz de transferência de passagem do regime ao largo para o regime local. Os intervalos definidos correspondem apenas aos valores de período médio (TZ) de 6 s a 17 s (de 1 em 1 s), às direcções (Θ) compreendidas entre 190° e 350° (de 10 em 10°) e alturas de onda entre 0.5 m e 7 m (de 0.5 em 0.5 m). Estas condições foram introduzidas no formulário da Figura 9. O nível de maré adoptado foi de +2.0 m (ZH). Note-se que, de forma a não obter malhas de grande dimensão, houve que limitar inferiormente os períodos de teste. Sendo assim, só se consideraram períodos TZ superiores a 6 s.

Foram testadas todas as combinações possíveis entre períodos, direcções e alturas de onda de modo a obter uma matriz de transferência capaz de permitir o cálculo do regime de agitação no ponto P4.

A definição do ponto P4 foi introduzida no formulário da Figura 10, bem como os casos de agitação marítima para os quais se pretendem obter resultados em todo o domínio de cálculo, Figura 9.

3.3.4 Cálculos com o modelo SWAN

Para as condições de agitação incidentes e para os domínios de cálculo e batimetria referidos nas secções anteriores, foram executados os cálculos com o modelo SWAN.

Foram extraídos resultados de todas as corridas com o modelo SWAN no ponto P4 (Figura 20 b).

Na Figura 21 são apresentados os resultados para uma condição de agitação incidente de $H_S = 3.5\text{m}$, $TZ = 13\text{s}$ e $\Theta_m = 310^\circ$. Para o ponto P4, obteve-se um ficheiro com os valores de H_S , TZ e Θ_m para todas as combinações (1 300) entre períodos, direcções e alturas de onda. Estes valores definem a matriz de transferência do regime de agitação marítima ao largo para o regime local.

Na Figura 22 apresenta-se a matriz de transferência dos valores do índice de agitação e da direcção da onda no ponto P4, em função dos valores do período e direcção da onda ao largo, obtidos para uma altura de onda ao largo unitária, H_o , igual a 1 m.

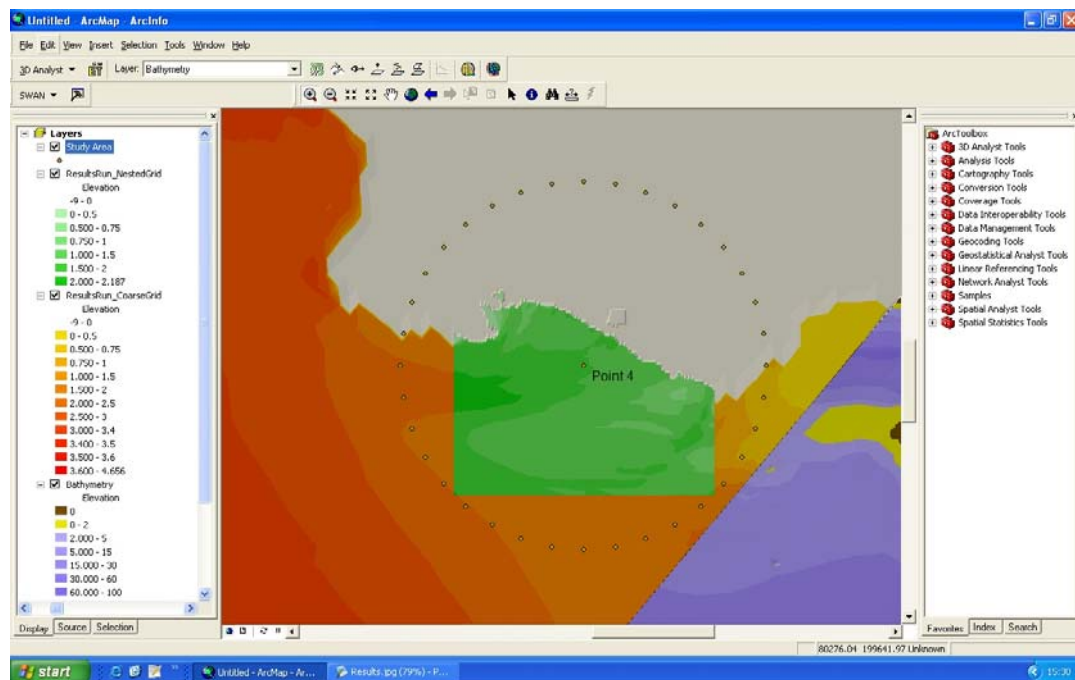
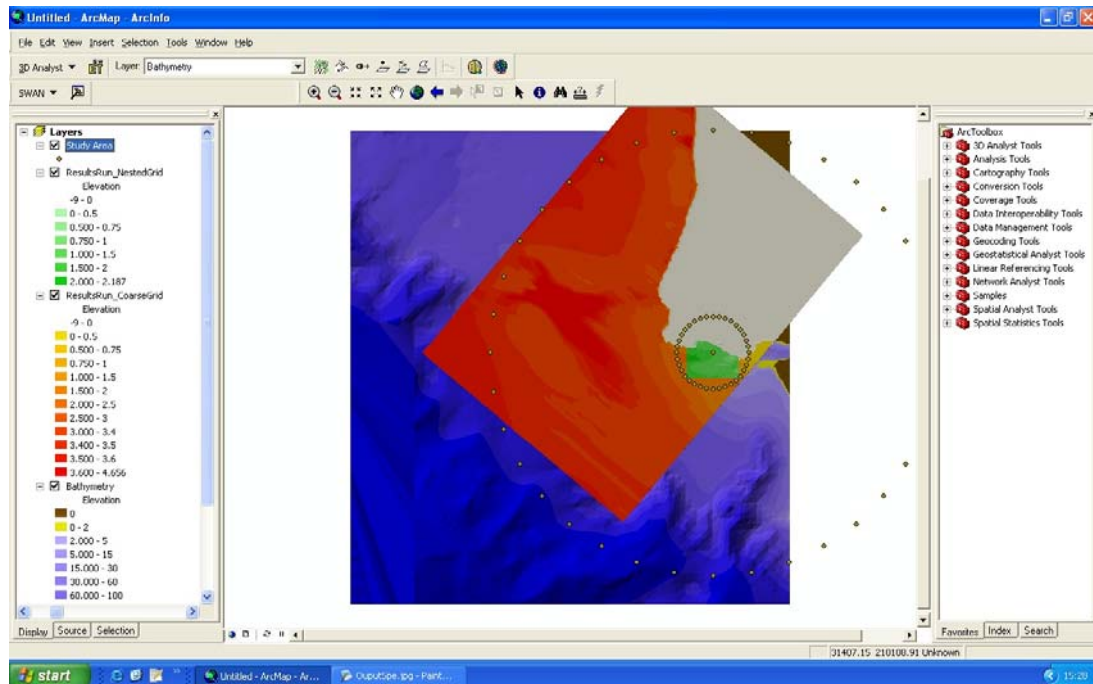


Figura 21. Obtenção de resultados do modelo SWAN para $HS = 3.5m$, $TZ=13$ s e $\Theta_m = 310^\circ$.

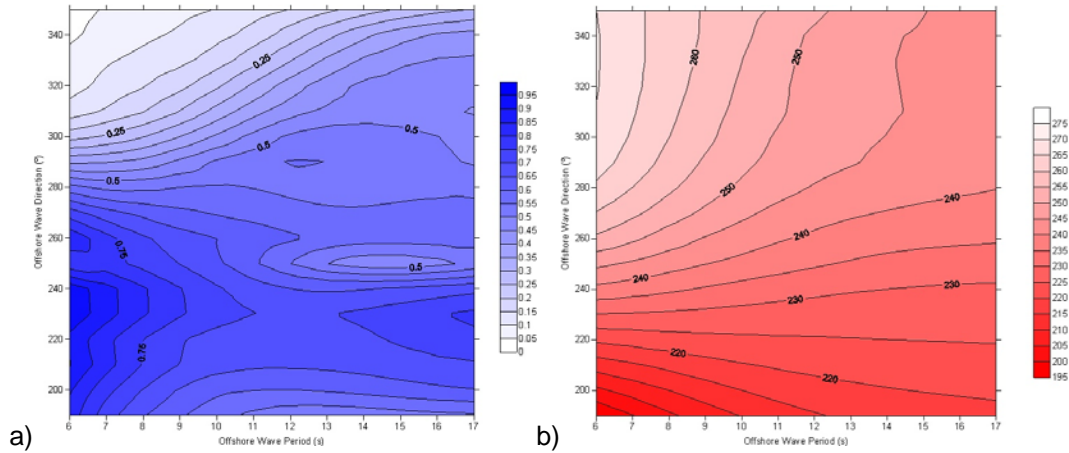


Figura 22. Ponto P4. Matriz de transferência obtida com o modelo SWAN, para $H_o = 1$ m: a) H/H_o ; b) Direcção espectral local.

Como se pode verificar da Figura 22 existe uma rotação significativa das direcções de ondas ao largo ao chegarem ao ponto P4, especialmente para direcções acima de 240° . Apenas para as direcções entre 220° e 240° não se verifica uma rotação significativa da agitação do largo para o ponto P4. É também de notar que à medida que aumenta o período da onda incidente, aumenta também essa rotação. Verifica-se sempre uma redução dos índices de agitação marítima desde o largo até junto ao ponto P4, que é mais significativa para as direcções de onda extremas.

3.3.5 Definição do regime de agitação marítima local

Com base na matriz de transferência atrás referida, o regime de agitação marítima ao largo, com um total de 13 237 registos, foi transferido para o ponto P4, utilizando um programa de interpolação.

O número total de valores transferidos foi de 10390, o que corresponde a cerca de 78.5% do total de registos ao largo. Com esses resultados, calcularam-se as relações HS-TZ, Θ -TZ e HS- Θ referentes ao regime obtido no ponto P4, que se apresentam na Figura 23.

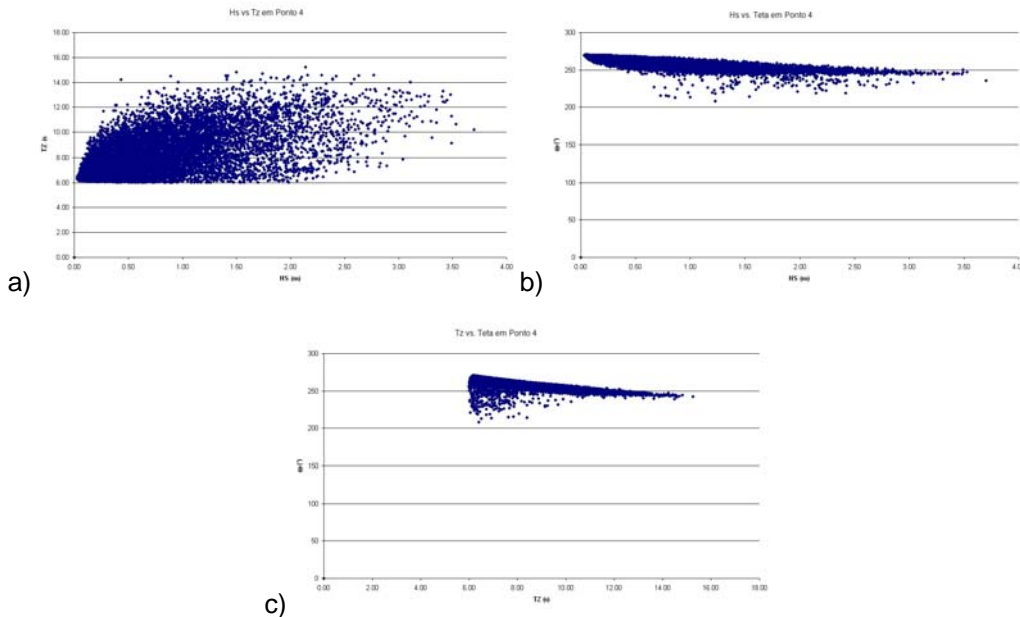


Figura 23. Modelo SWAN. Regime de agitação local. Relações HS-TZ, HS- Θ e Θ -TZ em P4.



5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

Das figuras anteriores verifica-se que:

- Na passagem do largo para o ponto P4, existe uma redução significativa do leque de direcções espectrais. Com efeito, as direcções que, ao largo, se encontravam compreendidas entre 195° a 355°, passam a estar compreendidas essencialmente entre 208° e 270° em P4;
- Quanto às alturas de onda, na passagem do largo para o ponto P4, observou-se uma diminuição das alturas significativas. Os valores de HS são inferiores a 3.7 m, sendo mais frequentes abaixo de 2.0 m;
- Os valores de TZ variam entre 6 s e 15.24 s.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS E TAREFAS FUTURAS

Nesta comunicação apresentaram-se os últimos desenvolvimentos do GUIOMAR, que consistem no desenvolvimento da *interface* para o modelo numérico SWAN. Apresentou-se também a aplicação desta *interface* no caso da determinação do regime de agitação marítima na praia de São Pedro do Estoril.

No caso da interface do SWAN, foram mais uma vez confirmadas as vantagens da utilização do GUIOMAR, que são as de permitir a utilização simplificada de modelos de agitação marítima, nomeadamente no que se refere à construção, manipulação e visualização de dados e resultados dos modelos numéricos. Com efeito, este sistema permite aceder, numa mesma aplicação, tanto às ferramentas de visualização, como de edição de dados, nomeadamente às suas tabelas, o que permite uma manipulação de dados e resultados muito mais facilitada.

Como tarefas futuras a curto prazo, pretende-se: 1) resolver alguns problemas ainda existentes ao nível da importação dos resultados dos modelos numéricos para o ambiente SIG; 2) efectuar alguns aperfeiçoamentos necessários na visualização dos resultados dos modelos numéricos; 3) incluir outros modelos numéricos, tais como DREAMS_S (Zózimo *et al.*, 2001), DREAMS_CR (Fortes, 2002) e DREAMS_CR_S (Zózimo *et al.*, 2003) implementar a construção automática de malhas e de fronteiras para os modelos numéricos através do ambiente SIG; 6) implementar o funcionamento acoplado de vários modelos; 7) conter, em formato actualizado e correctamente geo-referenciada, a batimetria da zona costeira portuguesa.

AGRADECIMENTOS

A autora Ana Catarina Zózimo agradece o financiamento da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), através da bolsa SFRH/BD/18183/2004.

Os autores agradecem à técnica Branca Branco pela revisão do texto da comunicação e o financiamento concedido pela FCT através do projecto POCTI/CTA/48075/2002. Este trabalho insere-se no âmbito dos programas de investigação programada do LNEC, PIP 2005-2008, nomeadamente Modelação da Agitação Marítima e Correntes e Tecnologias Avançadas de Tratamento de Informação em Hidráulica e Ambiente.

Referências

- Baptista, A.M., Turner, P. (1992). "ACE/GREDIT. User's manual. Software for semi automatic generation of two dimensional finite element grids", Center for Coastal and Land-Margin Research, Oregon Graduate Institute of Science and Technology.
- Booij, N, Ris, RC and Holthuijsen, LH. (1999). "A Third-generation Wave Model for Coastal Regions, Part I, Model Description and Validation", *J. Geophysical Research*, 104 (C4), pp. 7649-7666.



**5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária
Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007**

- Charneca, N., Zózimo, A.C., Fortes, C.J.E.M. (2004). "Aplicação de uma ferramenta SIG em estudos de propagação de ondas marítimas", in *Proc. of VII Congresso da Água*, Lisboa, 8 a 12 de Março (versão electrónica).
- Coli, A.B.; Santos, J.A.; Fortes, C.J.; Capitão, R.; Carvalho, M.M. (1999). "Metodologia de propagação de regimes de agitação marítima do largo para a costa: análises dos modelos BACKTRACK-REFSPEC e SWAN". *6º Congresso da Água*, Porto, Portugal.
- Dalrymple, R.A., Kirby, J.T. (1991). "*REF/DIF 1. Version 2.3 Documentation Manual. Combined Refraction/Diffraction Model*", CACR Report n.º 91-2, University of Delaware, January.
- Favreau, M. (2005). "*A Gis Tool For Coastal Wave Propagation*", Relatório de fim de curso de Modelação e Matemática da Universidade de Clermont-Ferrant.
- Fortes, C.J.E.M. (2002). "*Transformações não-lineares de ondas marítimas em zonas portuárias. Análise pelo método dos elementos finitos*", Tese de doutoramento em Eng. Mecânica, IST/DEM.
- Fortes C.J., Capitão, R., Neves, M.G., Monteiro, P.P., Mendes, L.S. (2007). "*Viabilidade da implementação de um recife artificial para a prática de surf na praia de São Pedro do Estoril e criação de uma estrutura de protecção e amarração do submarino Barracuda. Estudos de modelação numérica e física. Regimes de agitação marítima*". Relatório 172/07. Abril.
- Hasselmann *et al.* (1973). "Measurements of wind wave-growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)", *Dtsch Hydrogr. Z. Suppl.*, 12 (A8), 1-95.
- Kirby, J. T., Ozkan, H. T. (1994). "*REF/DIF S Version 1.1 Documentation and Users Manual*", CACR Report n.º 94-04, University of Delaware, Fevereiro.
- Kirby, J.T., Wei, G., Chen, Q., Kennedy, A. B., Dalrymple, R. A. (1998). "*FUNWAVE 1.0 – Fully Nonlinear Boussinesq Wave Model Documentation and User's Manual*", Research Report No.CACR-98-06, Center for Applied Coastal Research, University of Delaware.
- Pinheiro, L. V.; Fernandes J.L.M.; Fortes, C.J.E.M. (2006). "Sobre um gerador de malhas de elementos finitos com densidade local condicionada à batimetria para modelos de propagação de ondas em zonas portuárias", in *Proc. of I Conferência Nacional de Métodos Numéricos em Mecânica dos Fluidos e Termodinâmica*, Lisboa.
- SWAN Team (2006). "SWAN: Technical Documentation. SWAN Cycle III version 40.51", Delft University of Technology, versão electrónica em <http://www.fluidmechanics.tudelft.nl/swan/index.htm>.
- Zózimo, A.C., Fortes, C.J.E.M., Neves, M.G. (2001). "*Modelo de propagação e deformação de ondas irregulares em zonas portuárias*", Relatório 284/01 - NPP-DH, LNEC, Lisboa.
- Zózimo, A. C., Fortes, C. J. E. M., Neves, M. G. O. (2003). "Validação de um modelo de propagação de ondas irregulares com rebentação, SWAN_CR_S", *Actas 3ª Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, Aveiro (versão electrónica).
- Zózimo, A., Gonçalves, A., Fortes, C.J.E.M., Charneca, N. (2005). "Ferramenta SIG para modelos de propagação de ondas. Desenvolvimentos preliminares", in *Proc. 7.º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa (SILUSBA)*, Évora, Portugal (versão electrónica).
- Zózimo, A.C., Fortes, C.J.E.M. (2006). "GUIOMAR: Geo(graphical) User Interface for cOastal and MARine Modeling", in *Proc. State of the Art in Numerical Grid Generation II: From Theory to Practice*, Roma, 2 a 6 de Outubro (poster).