SOPRO 3.0 – EVOLUÇÃO DO PACOTE INTEGRADO SOPRO

Conceição J. E. M. Fortes[1], Liliana Pinheiro, João Alfredo Santos

RESUMO

SOPRO1.0, constituiu a primeira versão do pacote de informática desenvolvido no Laboratório Nacional de Engenharia Civil, para a caracterização da agitação marítima em zonas costeiras e de simulação da navegação no acesso ou no interior de zonas portuárias. É composto por um conjunto de bases de dados, uma interface com o utilizador e um conjunto de módulos de cálculo. A interface com o utilizador permite o armazenamento e manipulação de dados, a execução dos modelos de propagação da agitação marítima e de simulação da trajectória de navios, assim como a obtenção dos resultados e a criação das correspondentes visualizações gráficas. O pacote foi criado no sistema gestor de base de dados Microsoft Access™, utiliza o Visual Basic for Applications (VBA) como linguagem de programação e todos os modelos/módulos são executados num computador pessoal. Neste artigo, apresentam-se os desenvolvimentos mais recentes de alguns dos módulos do pacote SOPRO1.0, isto é, a versão SOPRO3.0. As alterações introduzidas incluem a reestruturação das interfaces, melhoramentos na eficiência dos algoritmos, um módulo de geração de malhas de elementos finitos e novas rotinas para execução remota dos modelos numéricos de propagação de ondas em estações de trabalho que correm um sistema operacional UNIX-like, e que tipicamente têm maior capacidade de memória e CPU do que um computador pessoal.O pacote é aplicado a um caso de estudo da costa portuguesa e a outro na costa do Brasil, nos quais as novas potencialidades do SOPRO3.0 são ilustradas.

Palavra-chave: Execução remota. Geração de malhas. Pacote informático. Interface com o utilizador. Zonas costeiras e portuárias.

SOPRO 3.0 - EVOLUTION OF THE SOPRO INTEGRAL PACKAGE

ABSTRACT

SOPRO1.0, constituted the first version of the software package developed at the National Laboratory of Civil Engineering for the characterization of the marine agitation in coastal areas and of navigation simulation in the access or inside port zones. It is composed by a data bases group, an user interface and a calculation modules group. The user interface allows the storage and manipulation of data, the execution of the models of marine agitation propagation and of the trajectory of ships simulation, as well as, the obtaining of the results and the correspondents' graphic visualizations creation. The software was created in the system manager of data base Microsoft Access™, it uses the Visual Basic for Applications (VBA) as programming language, and all the models / modules are executed in a personal computer. In this article are shown the most recent developments of some of the package SOPRO1.0 modules, that is, the version SOPRO3.0. The introduced alterations include the restructuring of the interfaces, improvements in the efficiency of the algorithms, a of mesh generation module of finite elements and new routines for remote execution of the numeric models of waves propagation in work stations that run in an Unix-like operational system, and that typically have larger capacity of memory and CPU than a personal computer. O package is applied a case of study of the portuguese coast and the other in the Brazil coast, which the new potentialities of SOPRO3.0 are applied.

Keyword: Coast and port zones. Software package. Meshes generation. Remote execution. User interface.

[1]Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC, Lisboa, Portugal; Doutora em Engenharia Mecânica; jfortes@lnec.pt

1 INTRODUÇÃO

Na concepção e dimensionamento de zonas portuárias, a caracterização das condições de agitação marítima na zona em estudo e a avaliação das condições de navegação no acesso e no interior dessas zonas revestem-se da maior importância. O recurso à modelação numérica é uma opção cada vez mais utilizada.

Os modelos numéricos utilizados na propagação de ondas permitem efectuar quer a transferência de regimes de agitação marítima (extremos, médios ou observados) desde os locais onde existem dados medidos, ao largo, até à zona costeira de interesse, quer a determinação das características de agitação marítima no interior de uma zona abrigada ou portuária. Em relação à avaliação das condições de navegação no acesso e no interior de bacias portuárias, que está também fortemente dependente da caracterização da agitação marítima na zona em estudo, é feita recorrendo a modelos numéricos que simulam, para diferentes condições (ondas, correntes, ventos), as trajectórias dos navios de projecto no acesso a essas zonas ou na sua atracação.

No entanto, convém salientar que estes estudos, em modelo numérico, têm associado um elevado grau de complexidade e de morosidade, tanto na preparação dos dados como na visualização e análise dos resultados dos modelos numéricos utilizados. As tarefas referidas tornam-se ainda mais morosas quanto mais complexo for o caso de estudo e maior o número de modelos numéricos a utilizar.

O pacote SOPRO, versão 1.0, Gregório (2004), Pinheiro *et al.* (2005a, b) e Fortes *et al*. (2006), surgiu da necessidade de uniformizar e automatizar os procedimentos necessários à execução dos modelos numéricos, quer estes sejam utilizados de forma independente, quer em conjunto com outros modelos numéricos.

O SOPRO1.0 é constituído por uma interface com o utilizador e um conjunto de módulos para a execução de modelos numéricos usualmente empregues em estudos de engenharia costeira. A interface com o utilizador permite o armazenamento e manipulação de dados, a execução dos modelos de propagação da agitação marítima e de simulação da trajectória de navios, assim como a obtenção dos resultados e a criação das correspondentes visualizações gráficas.

O conjunto de módulos foi criado no sistema gestor de base de dados Microsoft Access™, permite armazenar toda a informação relativa a cada um deles e inclui os seguintes:

- SEAWAVES, Ribeiro *et al*. (2004), de consulta de bases de dados de agitação marítima;
- REGIMES, Pinheiro *et al*. (2006c), que permite obter os regimes observado, de extremos, médio e de eventos notáveis nos locais de interesse, com base nos dados de agitação marítima medidos e nas matrizes calculadas;

- SWAN, Booij *et al*. (1996), REFDIF, Dalrymple e Kirby (1991), DREAMS, Fortes (2002) e FUNWAVE, Kirby *et al*. (1998), que constituem os diferentes modelos numéricos de propagação de agitação marítima utilizados no Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas do LNEC;
- SIMNAV, Santos (1991), de simulação da trajectória de navios no interior de portos.

A selecção do módulo (ou módulos) mais apropriado(s) depende do objectivo do estudo e dos fenómenos envolvidos.

O pacote utiliza o Visual Basic for Applications (VBA) como linguagem de programação enquanto os modelos utilizam a linguagem FORTRAN. Todos os programas são executados num computador pessoal.

Como se referiu em Fortes *et al*. (2006), no pacote SOPRO1.0 existiam vários aspectos a ser melhorados, como por exemplo, a automatização da geração de malhas de elementos finitos para discretização dos domínios de cálculo, a transferência das características da agitação entre modelos numéricos ou a reestruturação de algumas das interfaces.

No entanto, nas recentes aplicações do pacote SOPRO a casos de estudo cada vez mais complexos e de maiores dimensões, verificou-se que a principal limitação do pacote SOPRO está relacionada com o facto de todos os seus módulos serem executados num computador pessoal. Com efeito, dadas as inferiores capacidades desses computadores em termos de memória computacional e desempenho do CPU, relativamente a estações de trabalho dedicadas, a correrem sistemas operativos UNIX-like, tal condiciona muito o desempenho do SOPRO. Este condicionamento verifica-se principalmente nos módulos de propagação de ondas e de simulação da navegação, tornando desta forma, o pacote SOPRO menos eficaz.

De forma a resolver estes problemas e assim tornar o pacote SOPRO mais versátil e eficaz, foram implementados na versão 1.0, um conjunto de aperfeiçoamentos que passam pela reestruturação das interfaces, melhoramentos na eficiência dos algoritmos, um módulo de geração de malhas de elementos finitos para o modelo DREAMS, novas rotinas para execução remota dos modelos numéricos de propagação de ondas em estações de trabalho UNIX-like (com maior capacidade de cálculo e de memória do que um computador pessoal) e ainda um novo módulo para a análise temporal, espectral e estatística de registos de elevação da superfície livre (FORTES *et al.* 2010). Esta nova versão constitui a versão 3.0.

Neste artigo, descreve-se o pacote SOPRO3.0, e mais concretamente os desenvolvimentos mais recentes efectuados.

Outros pacotes semelhantes foram desenvolvidos a partir do SOPRO mas divergem deste no seu âmbito de aplicação mais específico. É o caso de sistema GUIOMAR (NEVES *et al.* 2009) que apresenta um conjunto de modelos numéricos semelhante aos do SOPRO mas baseado numa plataforma SIG (Sistema de Informação Geográfica) e do sistema MOIA

(SANTOS *et al.* 2009) que serve de apoio à gestão das actividades portuárias utilizando o acoplamento de dois modelos de propagação de ondas e um sistema de alertas via SMS.

Depois desta introdução apresenta-se no capítulo 2 uma descrição breve da versão 1.0 do pacote SOPRO. No capítulo 3, descrevem-se os aperfeiçoamentos realizados nos módulos da versão 3.0 do pacote SOPRO. Para ilustrar as potencialidades desta ferramenta, apresenta-se, no capítulo 4, a aplicação do SOPRO3.0 na caracterização da agitação marítima numa zona da costa portuguesa e noutra da costa do Brasil.

2 ESTRUTURA GERAL DO SOPRO

2.1 Estrutura

O SOPRO Pinheiro *et al*. (2005a, b), é constituído por uma interface gráfica e um conjunto de módulos para a execução de modelos numéricos usualmente empregues em estudos de engenharia costeira. Apresenta-se ao utilizador como uma interface gráfica que permite a montagem de forma intuitiva de projectos de caracterização da agitação marítima numa dada região ou de simulação de trajectórias de navios em zonas portuárias.

O ambiente escolhido para o desenvolvimento do SOPRO foi o Microsoft Access™ que tem a vantagem de ter integrada a linguagem de programação por objectos e dirigida por eventos, o *Visual Basic for Applications* (VBA). Uma das vantagens desta linguagem é a possibilidade de utilizar e manusear diferentes aplicações Microsoft Windows.

O conjunto de módulos do SOPRO, Pinheiro *et. al.* (2005a, b), inclui os seguintes módulos:

- SEAWAVES, Ribeiro *et al.* (2004), para o tratamento das séries de dados de agitação medidas ao longo da costa portuguesa;
- SWAN correspondente ao modelo espectral com o mesmo nome, SWAN, Booij *et al.* (1996), que se baseia na equação da conservação da acção da onda e é capaz de modelar a propagação não linear de agitação marítima;
- REFDIF e DREAMS correspondem a dois modelos de propagação de ondas que se baseiam na equação de declive suave, Berkhoff (1972), REFDIF, Dalrymple e Kirby (1991), que utiliza a versão parabólica dessa equação e DREAMS, Fortes (2002), que utiliza a versão elíptica;
- FUNWAVE e FUNWAVE2D que correspondem ao modelo FUNWAVE nas suas versões 1D e 2D, respectivamente, Kirby *et al.* (1998), que resolve as equações não-lineares de Boussinesq deduzidas por Wei *et al*. (1995);

- SIMNAV, correspondente ao modelo de simulação da navegação em zonas portuárias, SIMNAV, Santos (1991);
- REGIMES que inclui diversas rotinas para estabelecimento dos regimes geral, médio e de extremos e das amostras necessárias à determinação dos eventos notáveis.

As bases de dados contidas no SOPRO são: uma base de dados em MS Access™ da agitação marítima na costa portuguesa; seis bases de dados em MS Access™, correspondentes aos módulos dos modelos numéricos que contêm a informação dos projectos criados e ainda diversas pastas onde são armazenados os ficheiros criados.

A representação gráfica de dados e resultados no SOPRO é realizada com o programa Golden Software Surfer™ (para os módulos SWAN, REFDIF e FUNWAVE2D), o programa TECPLOT™ (para o módulo DREAMS e REFDIF) e o MS EXCEL™ (para os módulos FUNWAVE1D, SIMNAV e REGIMES).

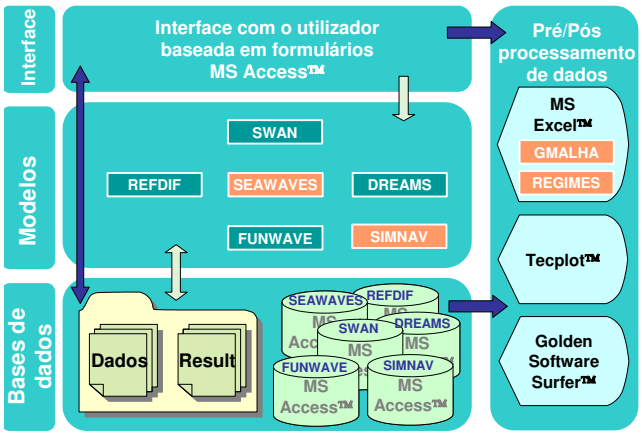


Figura 1 – Estrutura geral do SOPRO.



Figura 2 – Janela inicial do pacote SOPRO.

Nas sub-secções seguintes descrevem-se muito sucintamente os módulos que constituíam a versão 1.0 do SOPRO. Mais detalhes podem ser consultados em Pinheiro *et al*. (2005a, b).

Foi também implementada a acoplagem de alguns módulos do SOPRO permitindo realizar estudos mais complexos em que apenas um modelo numérico não é suficiente para descrever todos os fenómenos relevantes. Esta implementação pode ser vista em detalhe em Fortes *et al.* 2008.

Mais recentemente foi adicionado um novo módulo ao pacote SOPRO para a análise temporal, espectral e estatística de registos de elevação da superfície livre (FORTES *et al.* 2010) obtidos quer em ensaios em modelo físico quer utilizando modelos numéricos. Este módulo permite efectuar uma análise comparativa entre resultados numéricos e experimentais, incluindo a análise de erros (através do cálculo de viés, erro médio

quadrático, índice de concordância, etc.) avaliando assim o desempenho dos modelos numéricos em estudo.

2.2 Módulos do pacote SOPRO1.0

Quando se inicia a execução do pacote SOPRO surge uma janela que permite escolher o módulo pretendido. A selecção do módulo (ou módulos) mais apropriado(s) depende do objectivo do estudo e dos fenómenos envolvidos.

A abertura de um novo projecto é acompanhada da criação automática de uma pasta, na qual serão guardados todos os ficheiros relevantes desse projecto. A pasta é identificada por uma sigla com três componentes: a identificação do módulo utilizado (RD - REFDIF, SW – SWAN, FW – FUNWAVE, DR - DREAMS); a chave de identificação (ID) do projecto, gerada automaticamente, e o nome do projecto.

Assim, por exemplo, SW_119_SINES corresponde ao projecto 119 da base de dados, sendo Sines a região de estudo (nome dado pelo utilizador ao projecto) e o SWAN o módulo a utilizar. Os módulos SEAWAVES e SIMNAV guardam toda a informação nas respectivas bases de dados e os módulos GMALHA e REGIMES guardam toda a informação nas respectivas folhas de cálculo.

2.2.1 SEAWAVES

O módulo SEAWAVES, Ribeiro *et al*. (2004), contém uma compilação da informação relativa aos dados de agitação marítima obtidos a partir de equipamentos de medição da agitação marítima estacionados em diversos pontos da costa continental portuguesa, ao longo de períodos de tempo variados.

Assim, pode realizar-se, de forma fácil, rápida e eficaz, a análise e o posterior processamento desses dados, permitindo a obtenção célere de respostas às perguntas colocadas à base de dados, a produção de estatísticas diversas, histogramas e outros gráficos de interesse.

Esta base de dados armazena dados provenientes de registos de agitação marítima, nomeadamente os valores dos parâmetros: altura significativa (HS), altura máxima (HM), direcção média (θ_M) e período médio de zero ascendente (TZ) de um registo.

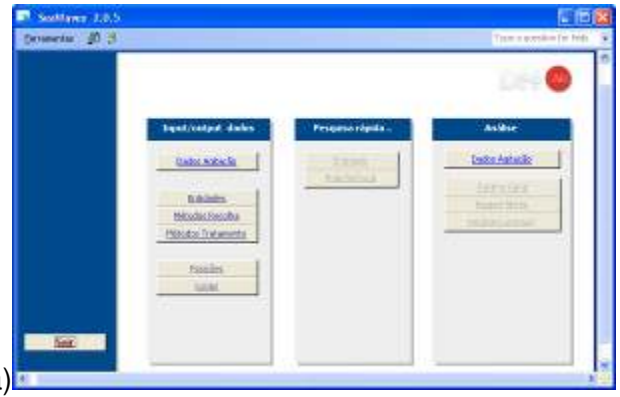
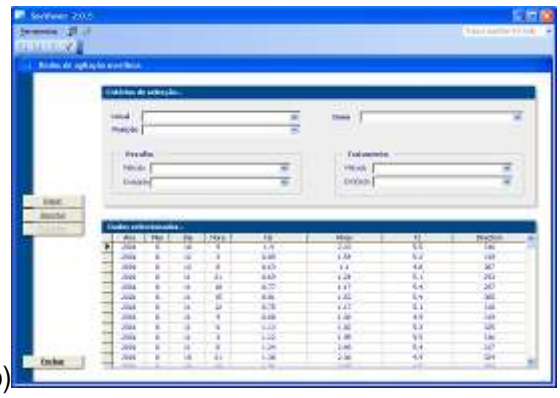
a)  b) 

Figura 3 – Módulo SEAWAVES: a) Janela inicial; b) Formulário de filtragem e visualização dos dados.

2.3 Módulo SWAN

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.* (1996). O modelo SWAN propaga a agitação marítima desde o largo até próximo da costa considerando os processos físicos de refracção, 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 (*whitecapping*), dissipação de energia devido à fricção do fundo, bloqueio e reflexão por correntes opostas e transmissão através de obstáculos.

Na janela do módulo SWAN do SOPRO é possível importar os parâmetros gerais do modelo a partir de um ficheiro, editá-los, executar o modelo e ver os resultados. Nesta versão do SOPRO não estão incluídas, ainda, todas as opções de cálculo do SWAN, razão pela qual ainda não se pode, por exemplo, executar o modelo com a inclusão de correntes e ventos. A partir do formulário de edição de dados é ainda possível aceder a outras duas janelas, Figura 4: uma onde se pode importar a malha batimétrica e editá-la e outra onde se pode definir um conjunto de pontos nos quais se pretende obter resultados. Esta funcionalidade permite a passagem de informação para outros modelos.

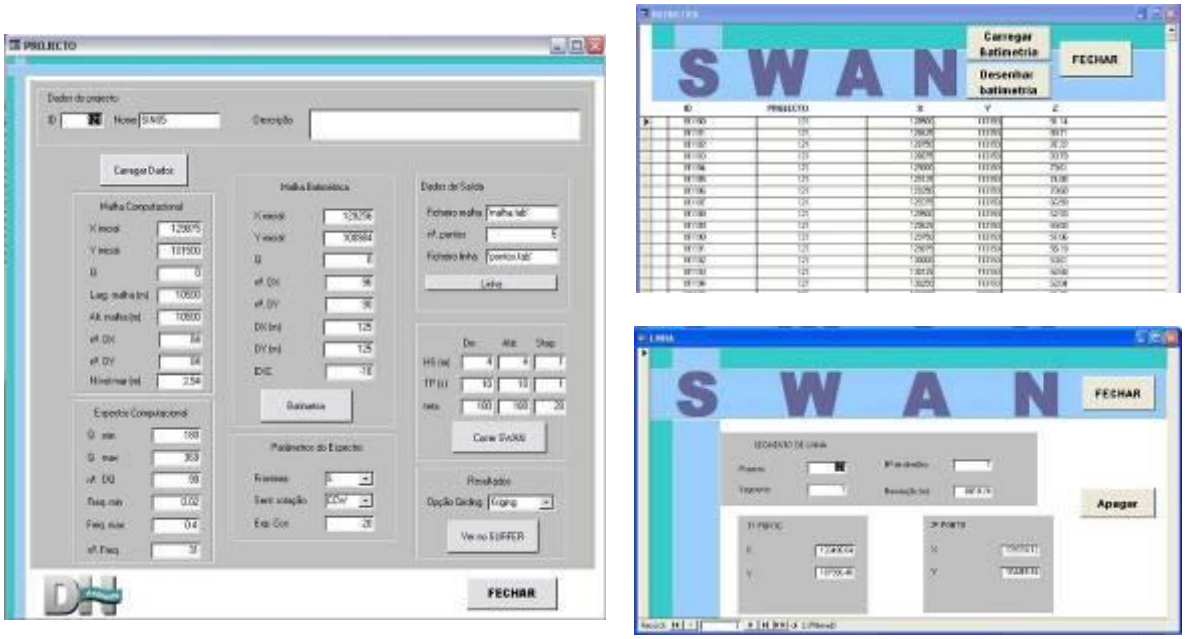


Figura 4 – Módulo SWAN. Formulários de edição de dados, batimetria e resultados.

2.4 Módulo REFDIF

REFDIF, Dalrymple e Kirby (1991), é um modelo de ondas regulares, que se baseia na aproximação parabólica da equação de declive suave de Berkhoff (1972) e que tem em conta a refracção, a difracção (apenas na direcção perpendicular à direcção principal de propagação da onda) e a rebentação de ondas. É um modelo essencialmente adaptado para a modelação de áreas costeiras com dimensões da ordem da dezena de quilómetros. Este modelo não tem em conta a geração de harmónicas nem a interacção entre ondas na propagação destas.

Os formulários do módulo REFDIF do SOPRO contêm uma janela com cinco sub-formulários para: editar o nome do projecto, inserir uma pequena descrição do projecto e até, se desejado, importar os dados das malhas a partir de ficheiros já existentes; editar os parâmetros gerais do modelo e da onda incidente na primeira malha; editar os dados relativos às malhas e importar os ficheiros de batimetrias; executar o modelo, Figura 5, e proceder à visualização dos resultados com o programa Golden Software Surfer™.

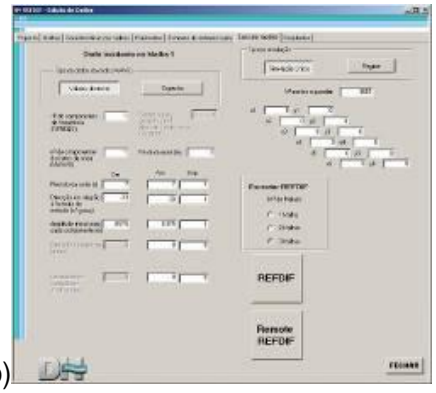
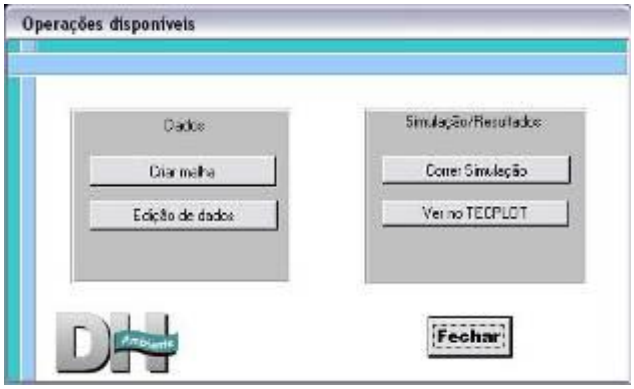
a)  b) 

Figura 5 – Módulo REFDIF. Formulários para: a) Edição de dados das malhas; b) Edição de dados de agitação e execução do modelo.

2.5 Módulo DREAMS

DREAMS, Fortes (2002), é um modelo numérico de elementos finitos para o cálculo da propagação e deformação de ondas regulares em zonas costeiras. O modelo pode ser aplicado no estudo da penetração da agitação marítima de período curto num porto ou da ressonância de uma zona abrigada excitada por ondas de longo período nela incidentes. É baseado na equação elíptica de declive suave, que descreve os efeitos combinados da refracção e difracção de ondas monocromáticas propagando-se em fundos de inclinação suave como os que ocorrem em portos, baías e zonas costeiras.

No pacote SOPRO, após a abertura do projecto surge uma janela com quatro operações disponíveis: a) Criar malha, onde se define a localização do ficheiro com as características da malha de elementos finitos que discretiza o domínio de cálculo; b) Entrada de dados, onde se especifica a localização dos ficheiros de dados necessários ao DREAMS e que foram gerados automaticamente pelo GMALHA; c) Correr simulação, onde se especificam os parâmetros das simulações e se executa o modelo; d) Ver no TECPLOT, onde é possível aceder automaticamente às visualizações gráficas dos resultados no TECPLOT™, Figura 6.

a) 

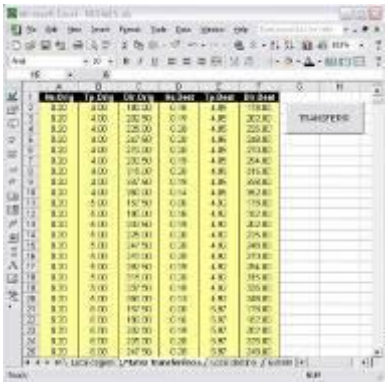
b) 

Figura 6 – Módulo DREAMS. Formulários para: a) Execução de operações; b) Execução do modelo.

2.6 Módulo REGIMES

O módulo REGIMES permite, a partir de um conjunto de dados de agitação marítima existentes num dado local, efectuar a sua transferência para um local de interesse (zona portuária, por exemplo), e/ou estabelecer os regimes observado, médio, ou de eventos notáveis (tempestades), e as amostras necessárias à obtenção do regime de extremos, consoante o pretendido.

Este módulo é constituído por um conjunto de folhas de cálculo de Excel (FIGURA 7) onde são armazenados todos os resultados deste módulo. Assim, a partir dos dados de agitação num ponto de origem, Figura 7a), e da matriz de transferência obtida com um dos módulos anteriores, Figura 7b), são transferidos os dados para o local de interesse (regime geral transferido), Figura 7c). A partir destes, são definidos os regimes médios, e de eventos notáveis, e as amostras necessárias à obtenção do regime de extremos.

a)  b) 

c) 

Figura 7 – Módulo REGIMES. Folhas de cálculo.

2.7 Módulo FUNWAVE

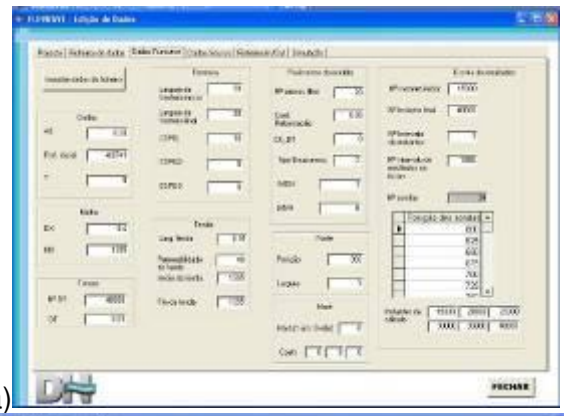
O modelo FUNWAVE é baseado nas equações não-lineares completas desenvolvidas Wei *et al*. (1995). Este modelo permite reproduzir a maioria dos fenómenos intervenientes na transformação da onda em fundos de profundidade variável e na presença de correntes: não-linearidade, dispersão de frequência, dispersão de amplitude, empolamento (linear e

não-linear), difracção, refracção pelo fundo e devida às correntes, geração de harmónicas e dissipação de energia por rebentação da onda.

No módulo FUNWAVE do pacote SOPRO, após a abertura do projecto surge um formulário com 6 sub-formulários, Figura 8(a), que permitem: a) Definir o projecto; b) Definir a localização dos ficheiros de batimetria e da série temporal da onda incidente; c) Importar e editar os parâmetros gerais do modelo; e) Editar os dados da série temporal que define a onda incidente; f) Definir nomes para os ficheiros a serem criados pelo modelo; g) Executar o modelo e aceder a uma folha de Excel para a visualização dos resultados.

Após a execução do modelo é possível aceder a uma folha de Excel incluída no pacote SOPRO, Figura 8(b), para a criação automática dos gráficos de resultados. Esta folha recebe o nome de Resultados.xls e é armazenada na pasta correspondente do projecto. Aqui é possível desenhar perfis da elevação da superfície no espaço, no tempo, periodogramas, e alturas de onda significativas obtidas a partir do espectro em cada uma das sondas.

a)



b)

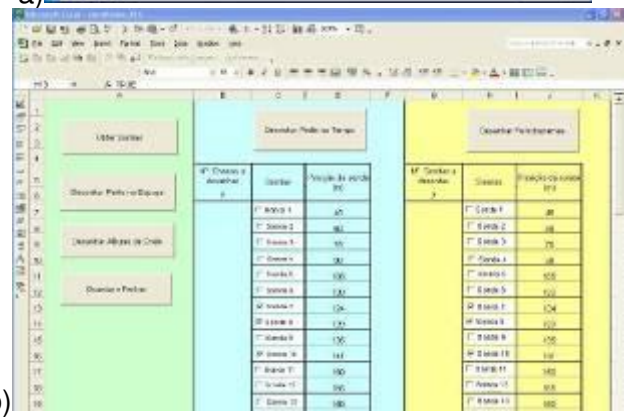


Figura 8 – Módulo FUNWAVE. Formulários para: a) Entrada de dados; b) Visualização de resultados.

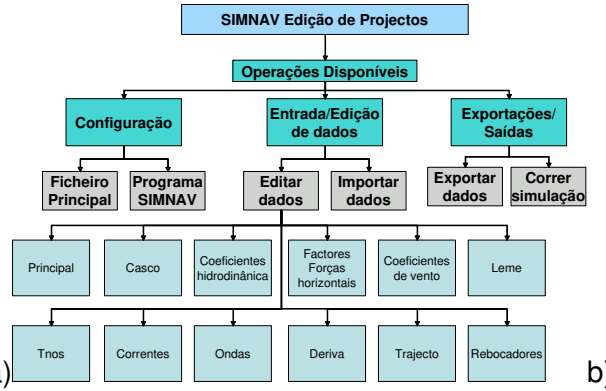
2.8 Módulo SIMNAV

O modelo numérico SIMNAV determina a evolução temporal da posição e rumo do navio levando em conta os movimentos no plano horizontal apenas. As equações de

movimento são escritas num referencial solidário com o navio cuja origem está no centro de gravidade do navio.

O módulo SIMNAV efectua o conjunto de operações necessárias para a configuração dos ficheiros de dados e resultados, importação e edição dos ficheiros de dados do modelo SIMNAV, sua execução e exportação de ficheiros. Na Figura 9(a) apresenta-se a estrutura geral dos formulários deste módulo.

a)



b)

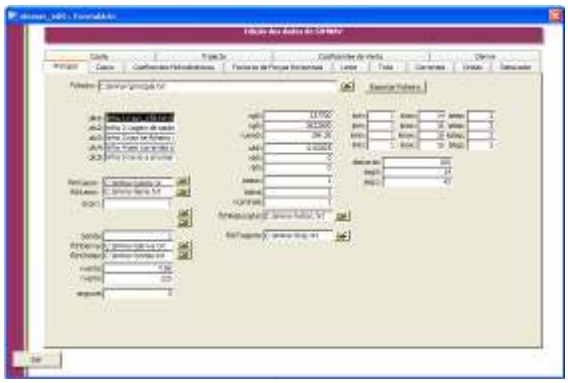


Figura 9 – a) Estrutura do módulo SIMNAV; b)Formulário para a edição de dados do SIMNAV

Para a visualização e edição de dados do SIMNAV foi criado um formulário que permite tais operações, Figura 9b). Neste formulário pode indicar-se o nome do ficheiro para onde se pretende exportar os dados. Para cada sub-formulário, aparece a indicação do ficheiro a exportar. Este procedimento é válido para todos os sub-formulários deste formulário.

3 SOPRO 3.0

3.1 Limitações da versão SOPRO 1.0

Com a utilização do pacote SOPRO em casos de estudo cada vez mais complexos e de maiores dimensões, o tempo dispendido na execução dos modelos de propagação de ondas e de simulação de navegação torna-se significativo o que tem consequências na aplicabilidade do pacote SOPRO. Além disso, verifica-se que, nestes casos de teste, a memória necessária para a utilização deste pacote torna morosa ou mesmo inviável a execução de outras tarefas no PC onde se está a executar o SOPRO, podendo, em certos casos, ser insuficiente para a execução dos modelos.

Outra limitação importante prende-se com o facto da geração das malhas de elementos finitos com as quais se discretiza o domínio de cálculo (e que constitui um dos dados do modelo de propagação de ondas DREAMS), não ser realizada no próprio pacote SOPRO.

Assim, de forma a tornar o pacote SOPRO mais versátil e eficaz, têm vindo a ser implementados na versão 1.0, um conjunto de aperfeiçoamentos que passam pela

reestruturação das interfaces, melhoramentos na eficiência dos algoritmos dos modelos numéricos, um módulo de geração de malhas de elementos finitos para o modelo DREAMS e novas rotinas para execução remota dos modelos numéricos de propagação de ondas em estações de trabalho correndo sistemas operativos UNIX-like com maior capacidade de cálculo e de memória do que um computador pessoal. Esta nova versão constitui a versão 3.0.

Nas próximas secções, descrevem-se em pormenor estes desenvolvimentos.

3.2 Gerador de malhas de elementos finitos

Apesar da existência de inúmeros geradores de malhas, não se dispunha, para o caso específico da propagação de ondas em zonas costeiras e/ou portuárias, de um gerador automático em ambiente de janelas, que efectuasse a geração de malhas não estruturadas de elementos finitos com elevada qualidade num determinado domínio costeiro, caracterizado por uma batimetria e uma fronteira arbitrárias.

Note-se que os problemas comuns em utilizar geradores existentes, prendem-se com as características complexas e irregulares das fronteiras e da batimetrias das zonas costeiras a estudar. Com efeito, estas fronteiras apresentam diversas peculiaridades, uma vez que representam uma qualquer zona costeira a qual pode conter, para além da linha de costa (já de si complexa), obras marítimas, tais como, quebra-mares, portos de pesca ou de recreio, marinas, etc. Por outro lado, a batimetria correspondente a cada zona costeira pode envolver quer zonas de grande profundidade, quer de pequena profundidade e, para qualquer dessas zonas, é necessário garantir um número mínimo de pontos (8 a 10 pontos) por comprimento de onda em todo o domínio de modo a ter confiança nos resultados numéricos dos modelos numéricos.

No sentido de resolver estes problemas, foi desenvolvido o gerador de malhas GMALHA, Pinheiro *et al.* (2006a, b), capaz de produzir malhas optimizadas especificamente para modelos de propagação de ondas em zonas costeiras e portuárias, e mais concretamente, do modelo DREAMS. Este gerador permite a obtenção de malhas de boa qualidade e a melhoria no desempenho do modelo de elementos finitos.

Qualquer malha de elementos finitos deve obedecer a alguns critérios de qualidade, nomeadamente a boa adaptabilidade às irregularidades da fronteira, forma dos triângulos o mais próxima possível da equilátera, valência dos nós igual a seis, variação suave do tamanho dos elementos e numeração dos nós da malha de modo a minimizar a largura de banda e o perfil das matrizes. Para além disso, no caso dos modelos de propagação de ondas, tem de se garantir uma densidade de elementos proporcional ao comprimento de

onda, isto é, deve existir um número mínimo de nós da malha por comprimento de onda em cada zona do domínio.

Para obter uma malha que satisfaça todos estes critérios, o GMALHA passa por diversas etapas, como a definição da fronteira do domínio, a geração da malha, a passagem por diversos processos de pós-processamento, a interpolação da batimetria, renumeração dos nós, e a obtenção dos ficheiros finais de entrada no modelo de propagação de ondas DREAMS, Figura 10(a).

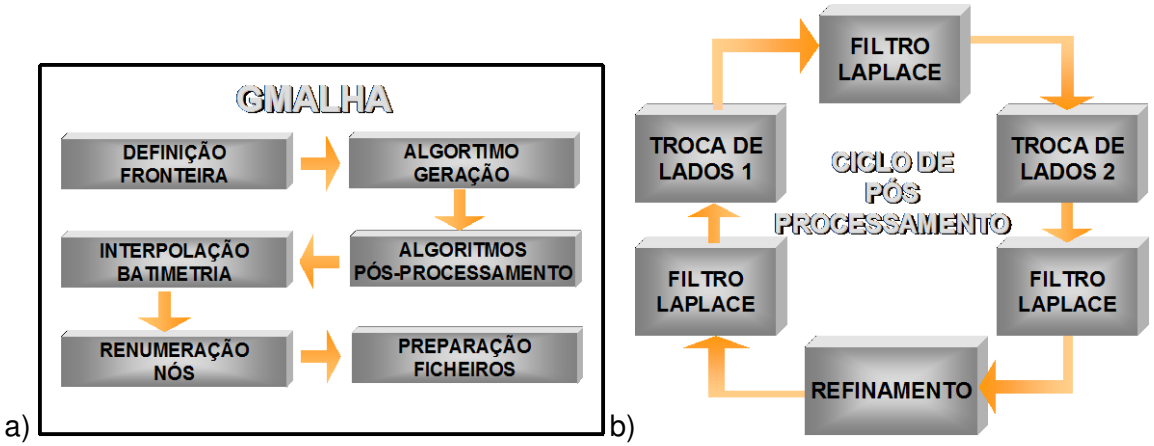


Figura 10 – GMALHA: a) Estrutura; b) Algoritmos de pós-processamento.

O algoritmo de geração da malha é baseado no método da frente móvel ou *Advancing Front*. Após a geração da malha, o GMALHA utiliza quatro algoritmos de pós-processamento para melhoramento: a) alisamento Laplaceano; b) correcção de ângulos; c) correcção de valências; d) refinamento local condicionado à batimetria, Figura 10(b). O critério de refinamento utilizado no GMALHA é o de um número de pontos por comprimento de onda, NPPCO, mínimo, de modo a garantir a precisão dos resultados numéricos do modelo de propagação de ondas.

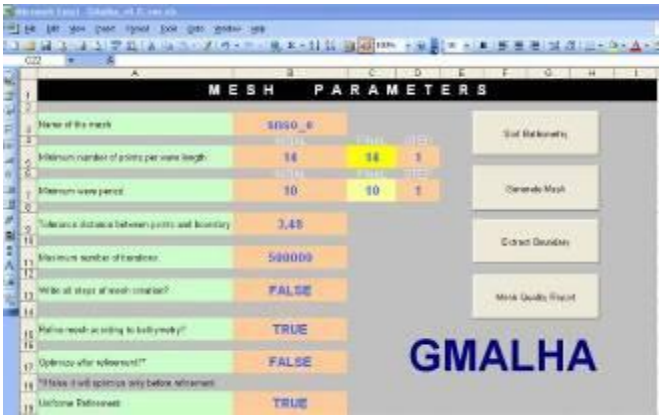
A interface do GMALHA foi desenvolvida em Microsoft Excel™ e encontra-se incluída na interface do SOPRO, Pinheiro *et al.* (2005a, b), na Figura 11(a).

O módulo GMALHA, Pinheiro *et al.* (2006a, b), utiliza um ficheiro Excel, composto por 3 folhas de cálculo. Na primeira folha de cálculo, designada por “front_ini”, são introduzidas as coordenadas da fronteira do domínio a discretizar. Na segunda folha de cálculo, designada por “fronteiras”, visualiza-se o contorno da fronteira e podem redistribuir-se os pontos uniformemente pela fronteira, se se desejar, Fernandes (2005). Na Figura 11(b), a título de exemplo, podem ver-se as fronteiras utilizadas para a bacia de adução da central termoeléctrica de Sines.

Na terceira folha de cálculo são introduzidos os parâmetros para a criação da malha. Esta folha contém ainda botões que permitem accionar diversas tarefas, ver Figura 11(a). Os parâmetros a definir são:

- O nome da malha;
- O *NPPCO* mínimo;
- O período mínimo para o qual deve ser criada a malha;
- A distância de tolerância, i.e., a distância mínima a garantir entre os pontos a gerar e a fronteira de modo a poder ser criado um novo triângulo;
- O número máximo de iterações para a geração da malha. No entanto, por vezes, esse número é excedido e o processo de geração da malha deve ser terminado. Quando isto acontece, deve alterar-se a distância de tolerância ou a posição de alguns pontos da fronteira;
- Um parâmetro de escrita que determina se é necessário escrever nos ficheiros todos os passos de criação da malha ou não;
- Um parâmetro de refinamento que determina se é necessário refinar a malha de acordo com a batimetria;
- Um parâmetro de refinamento que determina se se optimiza a malha durante o refinamento;
- Um parâmetro de refinamento que determina se é necessário refinar a malha uniformemente, de acordo com a profundidade mínima.

Antes de iniciar o processo de criação da malha deve proceder-se à ordenação dos pontos da batimetria de modo a ter abcissas e ordenadas crescentes. Esta ordenação é um processo que pode ser demorado, se a batimetria tiver muitos pontos, mas basta ser efectuada uma vez.

a) 

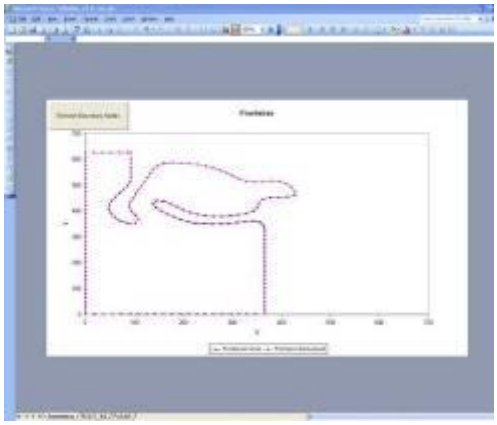
b) 

Figura 11 – a) Parâmetros da criação da malha; b) Fronteiras: inicial e redistribuída

Existe ainda a opção de se criarem várias malhas, bastando para isso definir-se os valores mínimos, máximos e o intervalo regular, designado por "*step*", do *NPPCO* mínimo e dos períodos da onda, Figura 11 (a).

No final, criada a malha, pode seleccionar o botão "Extract Boundary" que executa o programa, Contorno_Novo, desenvolvido por Santos e Fortes (2005) cujo objectivo é extrair os pontos da malha que estão sobre a fronteira. Este procedimento permite gerar o ficheiro com as condições de fronteira necessárias ao modelo. Outra opção disponível na interface é o "*Mesh quality report*", um programa desenvolvido por Fernandes (2003), que lê a malha gerada e analisa diversos parâmetros de qualidade, como por exemplo, áreas dos elementos, valências dos nós, NPPCO mínimo e médio e períodos críticos da malha baseado nestes últimos.

3.3 Execução remota dos modelos

O SOPRO foi concebido para ser executado em computadores pessoais com o sistema operativo Windows. Uma vez que os tempos de cálculo e os requisitos de memória associados à aplicação dos modelos de propagação (por exemplo, REFDIF ou DREAMS) a domínios de cálculo de grandes dimensões são elevados, torna-se fundamental recorrer a computadores de elevado poder de cálculo, dedicados exclusivamente a estas tarefas.

Com vista a manter a estrutura do programa SOPRO, a alternativa seguida consistiu em efectuar a execução dos modelos em computadores com maiores capacidades de cálculo e memória, como é o caso da estação de trabalho LINUX do LNEC, denominada por CORVUS. Tal constitui uma opção para melhorar o tempo de cálculo dos modelos numéricos e estender a sua aplicabilidade a domínios de cálculo de maiores dimensões. Adicionalmente, desta forma, é possível libertar o computador pessoal para realizar outras

tarefas enquanto os cálculos numéricos de propagação de ondas são executados remotamente na estação de trabalho.

A abordagem implementada resume-se assim, a realizar a preparação dos dados dos modelos REFDIF e DREAMS pelo programa SOPRO (sistema operativo Windows), transferir os ficheiros de dados e o código fonte dos modelos para a estação de trabalho (sistema operativo LINUX), compilar os modelos e executar os cálculos nessa estação e, no final, transferir os resultados novamente para o computador pessoal, onde se efectuará a visualização com o programa SOPRO ou com outros programas de visualização.

Neste sentido, foi desenvolvida uma rotina em Phyton que automatiza os procedimentos de transferência e execução remota dos modelos na estação de trabalho, sendo a preparação dos dados e a visualização de resultados feita em ambiente Windows, uma vez que, neste momento, é a via mais expedita.

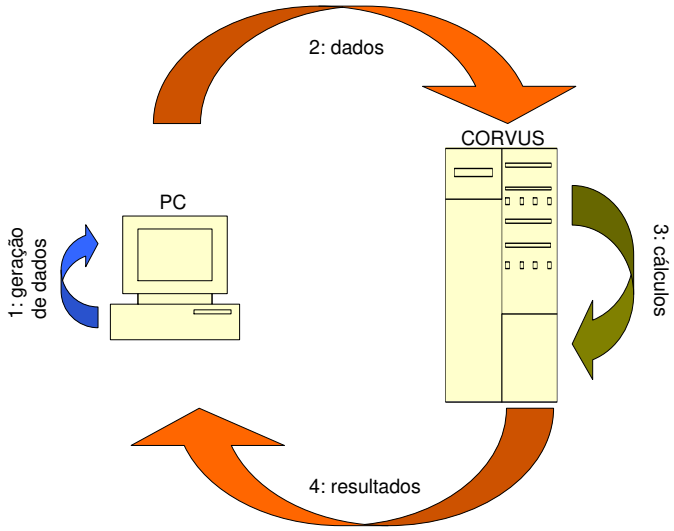


Figura 12 – Esquema de execução remota implementada no pacote SOPRO.

A solução informática adoptada passa pela abertura/fecho de: a) uma conexão FTP para envio dos ficheiros de dados e do modelo numérico, b) uma conexão SSH interactiva que executa o modelo numérico (REFDIF ou DREAMS) remotamente, c) uma conexão FTP para retorno dos ficheiros de resultados e sua eliminação na estação de trabalho. Tal pode ser visto no diagrama da Figura 13.

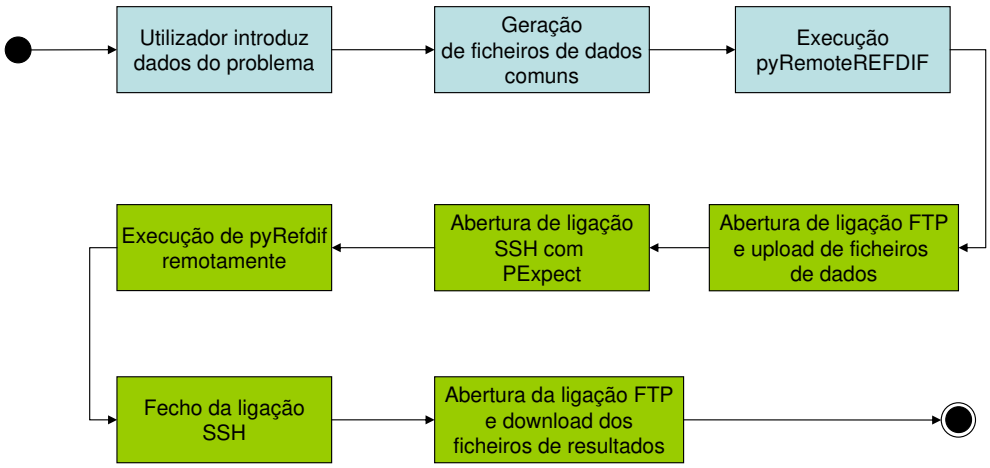
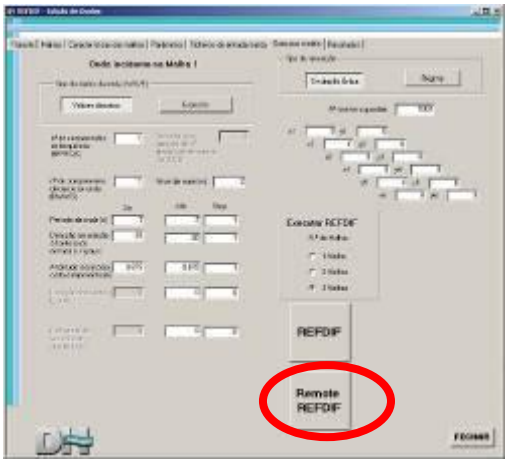


Figura 13 – Diagrama da execução do modelo REFDIF remotamente.

Em termos das interfaces do REFDIF e DREAMS, a alterações introduzidas apenas conduziram à introdução de um botão que efectua as anteriores operações sem qualquer intervenção do utilizador, além do accionar do botão, Figura 14.

a) 

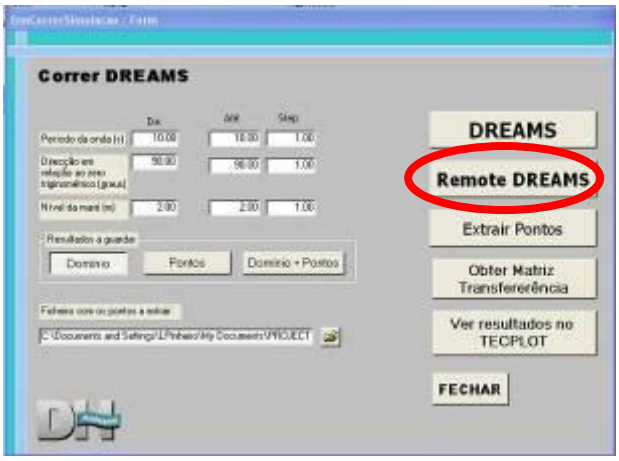
b) 

Figura 14 – Interfaces dos modelos REFDIF e DREAMS com a opção de execução remota.

4 APLICAÇÃO

Nas secções seguintes apresenta-se a aplicação dos módulos REFDIF, DREAMS e GMALHA do pacote SOPRO na propagação de ondas na zona de Torres-Mostardas, Rio Grande do Sul e no porto de Vila do Porto, para ilustrar as funcionalidades do pacote SOPRO 3.0.

4.1 Aplicação do módulo REFDIF

O modelo REFDIF foi aplicado ao estudo da propagação de ondas ao longo da costa do Rio Grande do Sul, mais especificamente na região entre Torres e Mostardas, Figura 15.

A região de Torres – Mostardas, que se estende por cerca de 245km, caracteriza-se por uma zona de relevo bem homogéneo e suave. A plataforma continental nessa região é estreita de largura igual a 120 km, Figura 15 e as linhas isobatimétricas são aproximadamente paralelas entre si e à costa.



Figura 15 – Torres-Mostardas. Batimetria da região.

Trata-se de uma área de grande extensão, onde a aplicação do modelo REFDIF implica uma área de estudo com diferentes domínios de cálculo, cada um com várias malhas de diferenças finitas. É, pois, um bom caso para teste da nova versão do pacote SOPRO 3.0 aqui desenvolvido, especialmente da rotina desenvolvida para a execução remota dos modelos na estação de trabalho CORVUS.

As características (direcção, período e altura de onda) das ondas monocromáticas utilizadas nos cálculos de propagação da agitação marítima desde o largo até à zona adjacente à praia do Torres-Mostardas, com o modelo REFDIF, foram definidas com base no trabalho de Fontoura (2004) e correspondem a todas as combinações entre alturas, direcções e períodos. Com base nesse trabalho, foram assim seleccionadas as seguintes condições de agitação incidente:

1. Nível de maré: nível médio, correspondente à cota +0.22m em relação ao zero hidrográfico (ZH);
2. Direcções de onda: de S (180º) a ENE (45º), espaçadas de 10° (15 direcções);
3. Para cada direcção de onda, os períodos considerados foram T=4s a 10s, espaçados de 1 s, e as alturas H0=0.5m a 3.0 m, com um espaçamento de 0.5m.

O levantamento hidrográfico, assim como o contorno das malhas utilizadas, são apresentados na Figura 16.

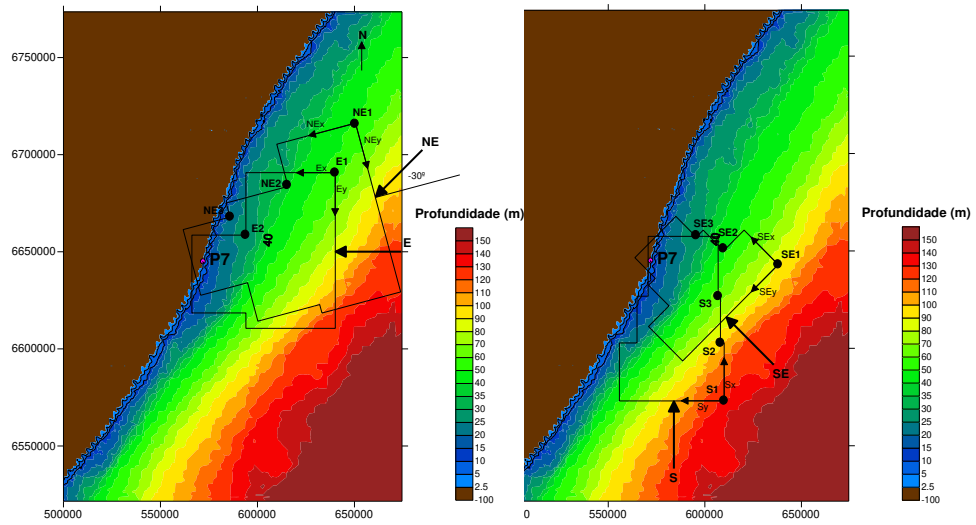


Figura 16 – Batimetria e malhas para os casos de estudo: direcções Sul, Sudeste, Este e Este-Noroeste.

As características principais das malhas de diferenças finitas utilizadas são apresentadas em Quadro 1.

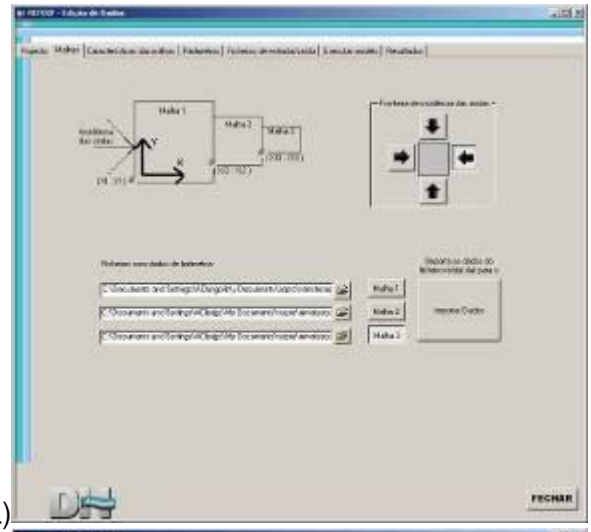
Quadro 1 - Características principais das malhas de diferenças finitas utilizadas.

Malha	Características	ENE	E	SE	S
1	Lx	41 856	46 080	25 008	29 790
	Ly	89 856	80 160	69 984	54 240
	Δx	48	48	48	48
	Δy	48	48	48	48
2	Lx	33 024	27 840	14 976	24 000
	Ly	62 976	40 080	40 008	43 200
	Δx	48	24	24	24
	Δy	48	24	24	24
3	Lx	24 960	-	15 000	30 720
	Ly	34 992	-	30 000	36 240
	Δx	24	-	24	24
	Δy	24	-	24	24

Note-se que *x* é a direcção principal de propagação das ondas (vide Figura 16) e *y* a direcção transversal (NEy, Ey, SEy e Sy, vide Figura 16). Lx e Ly são os comprimentos das malhas nas direcções x e y, respectivamente. Δx e Δy são o espaçamento das malhas na direcção x e y, respectivamente.

A batimetria da zona foi introduzida no formulário da Figura 17(a). Cada domínio de cálculo que foi discretizado por três malhas de diferenças finitas cujas fronteiras também se podem observar na Figura 17 (b), para SE.

a)



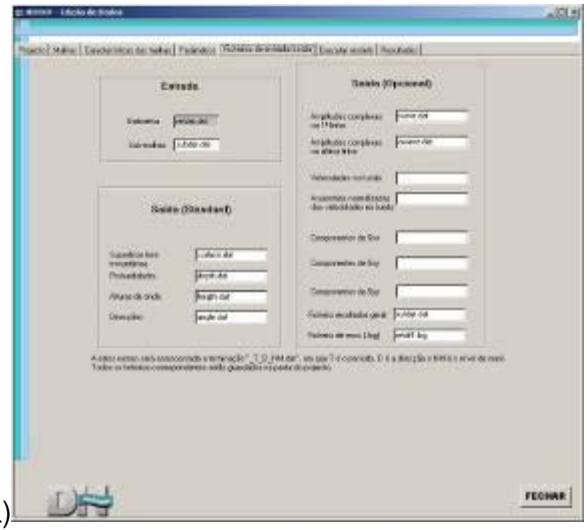
b)



Figura 17 – Módulo REFDIF. Formulários: a) Batimetria; b) Características das malhas utilizadas para a direcção de onda de SE.

Os parâmetros gerais do modelo estão indicados no formulário da Figura 18a). As condições de agitação incidente na fronteira da malha de REFDIF para a direcção de SE são preenchidas no formulário, Figura 18b).

a)



b)

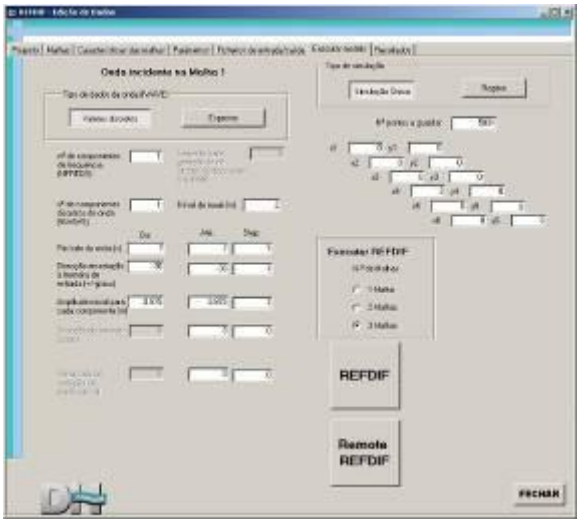


Figura 18 – Módulo REFDIF. Formulários: a) Parâmetros gerais do modelo; b) Condições de agitação incidente e execução do modelo.

Após a selecção do botão “Remote Refdif”, os cálculos (para cada conjunto de parâmetros: período, direcção e amplitude) são executados remotamente, com o modelo REFDIF, na estação de trabalho CORVUS, cujas características técnicas são: CPU - Dual Core AMD Opteron 265 (4 processadores), memória - 8 Gb, SPECfp_rate2000=54.7

No Quadro 2, apresentam-se os tempos de cálculo obtidos com o modelo REFDIF num computador pessoal e na estação de trabalho.

Quadro 2 – Tempos de cálculo do modelo REFDIF, num computador pessoal (processador AMD Athlon XP 1500+ com 1GB de memória RAM) e na estação de trabalho CORVUS.

Malhas	**PC**	**CORVUS**
3 malhas: 2088x5836 + 2500x6672 + 2504x5004	25 min	5 min

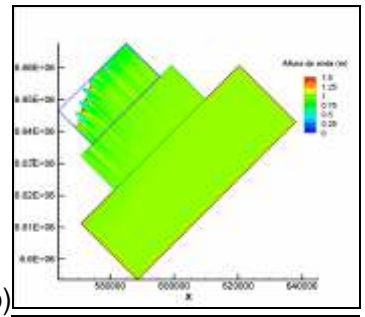
Da observação do quadro anterior, é óbvio o melhor desempenho do modelo REFDIF na estação de trabalho.

Para a direcção de onda incidente de SE, período de 7s e amplitude 1m, obtiveram-se os valores da altura e direcção de onda no domínio em estudo, Figura 19.

a)



b)



c)

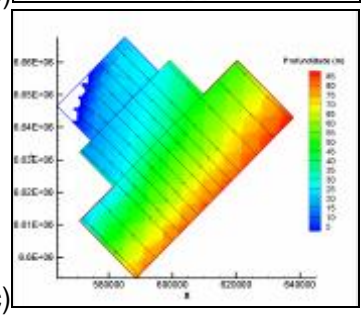
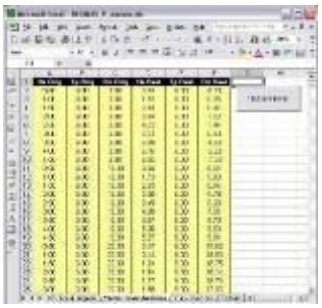


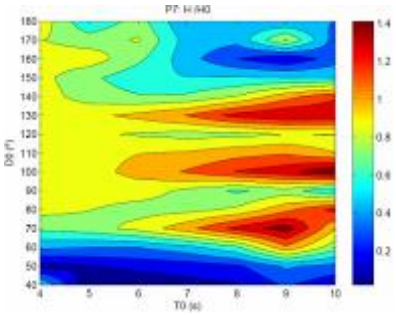
Figura 19 – Formulário para visualização de resultados. Alturas (a) de onda e direcções (b) junto à praia do Torres-Mostardas, para uma onda incidente com período de 7 s e altura de 1.0 m. Direcções ao largo de SE.

Após a utilização sistemática do modelo para as várias condições de agitação ao largo (630 cálculos), sem qualquer intervenção do utilizador, obteve-se a matriz de transferência que constitui uma das folhas de cálculo do módulo REGIMES. Com esta matriz, podem produzir-se os gráficos presentes nas Figura 20(b) e Figura 20(c).

a)



b)



c)

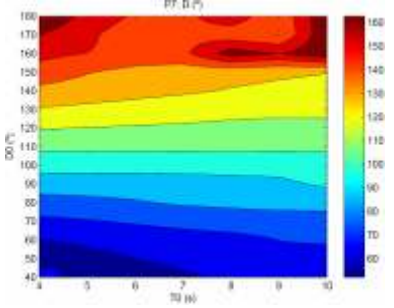


Figura 20 – Módulo REGIMES: a) Folha da matriz de transferência; b) Isolinhas de índices de agitação, H/H0; c) Direcção da onda, D; no ponto 7, em função do período, T0, e direcção de onda incidente, D0, para uma altura de 1m.

4.2 Aplicação do módulo DREAMS

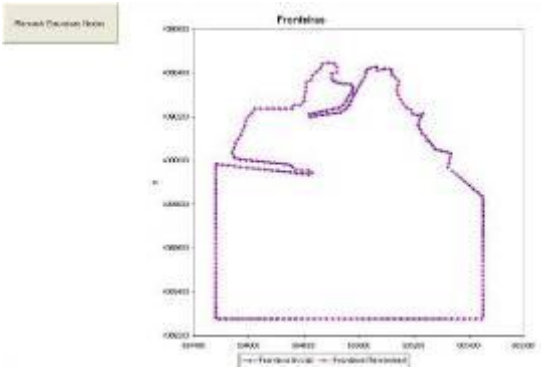
O porto de Vila do Porto situa-se em Santa Maria, uma das nove ilhas do arquipélago dos Açores, Figura 21. Vila do Porto é o único porto da ilha e é protegido por um quebramar com 350 m de comprimento alinhado com a direcção E-W. Dentro do porto, um cais-ferry foi construído recentemente e uma marina deverá ser construída brevemente, Figura 21. Para a avaliação das condições de protecção no interior da marina e das suas implicações no porto, o modelo DREAMS foi aplicado. Foram efectuados cálculos de propagação de ondas regulares, com as seguintes características: Direcções de onda de SE, S e SW e períodos de 8 s, 11 s e 15 s. O nível de maré considerado foi +2.0 ZH.



Figura 21 –Porto de Vila do Porto. Vista geral. Batimetria.

Para a aplicação do DREAMS, é necessário primeiramente discretizar o domínio de cálculo com uma malha de elementos finitos. Para tal, é utilizada o módulo GMALHA, efectuando-se primeiramente a leitura dos pontos de fronteira e depois a geração da malha propriamente dita. Em todo o domínio e para os períodos considerados, um mínimo de dez pontos por comprimento de onda foi garantido, Figura 22.

a) 



b)

Figura 22 – Módulo GMALHA: a) Dados da malha; b) Fronteira do domínio a discretizar.

O domínio computacional foi discretizado com uma malha de elementos finitos com 109 611 nós e 217 152 elementos triangulares, Figura 23.

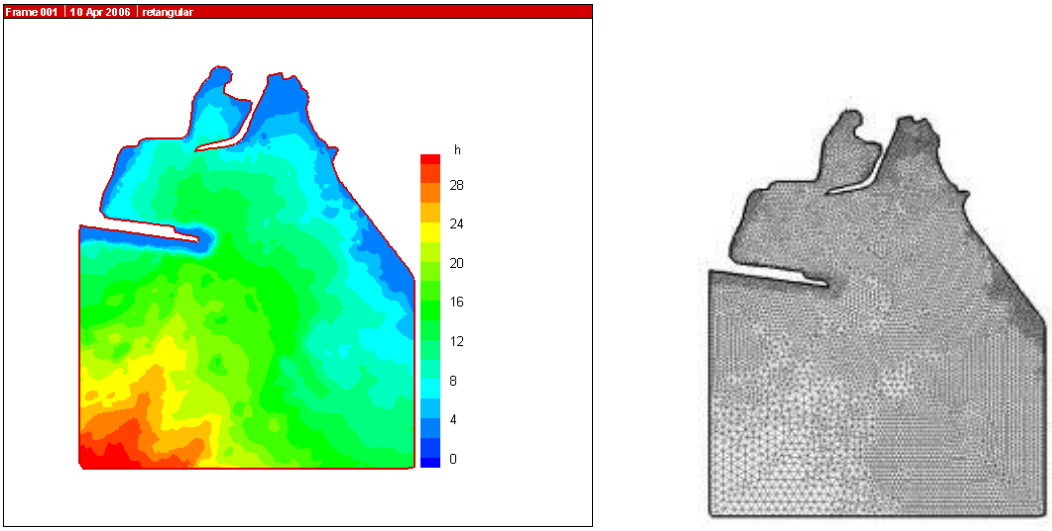


Figura 23 – Batimetria do domínio e malha de elementos finitos refinada localmente.

Para a aplicação do modelo DREAMS, recorre-se ao módulo DREAMS do pacote SOPRO. Assim após a abertura de um projecto e a selecção do botão “Edição de dados”, são preenchidos os campos com os nomes da malha de elementos finitos e da fronteira do domínio de cálculo.

São também determinados os coeficientes de reflexão que variaram com as características da costa e com o período da onda incidente. Estes coeficientes foram determinados por meio do método apresentado em Seeling e Arens (1995), que tem em conta as características da fronteira (porosidade, inclinação, profundidade do pé do talude, entre outras) e o número de Irribaren. Esse ficheiro é também introduzido no formulário da Figura 24(a).

a) 

b) 

Figura 24 – Módulo DREAMS. Formulários para: a) Edição de dados; b) Execução do modelo.

Na Figura 24(b), apresenta-se o formulário onde se definem as condições de agitação marítima incidente. Depois selecciona-se o botão “Remote DREAMS” para que os cálculos sejam efectuados na estação de trabalho CORVUS. Para as 9 diferentes condições de agitação incidente, são efectuados os respectivos cálculos sem qualquer intervenção do utilizador.

No Quadro 3, apresentam-se os tempos de cálculo obtidos com o modelo DREAMS num computador pessoal e na estação de trabalho.

Quadro 3 – Tempos de cálculo do modelo DREAMS, num computador pessoal (processador AMD Athlon XP 1500+ com 1GB de memória RAM) e na estação de trabalho CORVUS.

Malhas	**PC**	**CORVUS**
109 611 nós e 217 152 elementos	19 min	6 min

Da observação do quadro anterior, é óbvio o melhor desempenho do modelo DREAMS na estação de trabalho.

Os resultados do modelo consistem nos índices de agitação, direcções e superfície livre em todos os pontos do domínio computacional. Para tal, basta seleccionar o botão “Ver resultados no TECPLOT”. A Figura 25 apresenta os índices de agitação e as direcções da onda para um período de T=8 s e direcção de S.

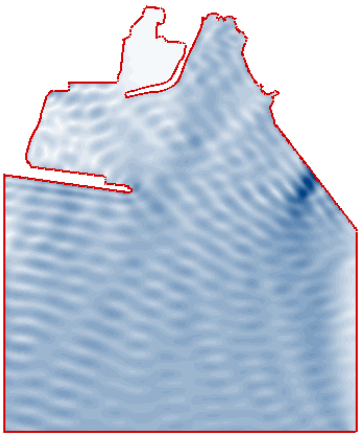
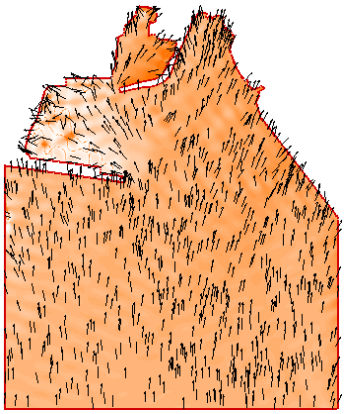
a)  b) 

Figura 25 –Índices de agitação e direcções de onda para ondas incidentes de direcção de S e T=8s.

5 CONCLUSÕES

Neste artigo, apresentou-se uma descrição da versão 3.0 do pacote SOPRO. A versão 3.0 apresenta alguns desenvolvimentos importantes em relação à versão 1.0, nomeadamente, a inclusão de um sub-módulo associado ao módulo DREAMS para a geração das malhas de elementos finitos, chamado GMALHA e a modificação dos módulos DREAMS e REFDIF de modo a serem executados remotamente numa estação de trabalho que corre um sistema operativo UNIX-like, e que têm maior capacidade de memória e CPU do que um computador pessoal. Ilustraram-se as funcionalidades deste pacote com a sua aplicação a um caso de estudo da costa portuguesa e outro na costa do Brasil. O SOPRO facilita a realização daqueles estudos de forma interactiva e amigável, reduzindo os tempos de preparação dos dados e a visualização dos resultados, simplificando gestos repetitivos e diminuindo a possibilidade de ocorrência de erros em procedimentos complexos.

O desenvolvimento do GMALHA, gerador automático de malhas de elementos finitos, e da interface com o utilizador para a construção dos seus ficheiros de dados e para a visualização dos seus resultados, permite a obtenção de malhas de boa qualidade e a melhoria no desempenho do modelo de elementos finitos.

A implementação de rotinas no sentido de permitir a execução remota dos modelos REFDIF e DREAMS constituiu um melhoramento significativo na plataforma SOPRO. Este melhoramento deve-se não só à redução dos tempos de cálculo mas também ao aumento das dimensões máximas permitidas para as malhas de cálculo. Assim, abre-se todo um leque de situações passíveis de aplicação destes modelos, quer regiões de maiores dimensões quer regiões com níveis de detalhe maior.

Como trabalho futuro pretende-se, igualmente, transferir toda a componente de visualização gráfica de resultados para a estação de trabalho uma vez que começam, agora, a surgir limitações na capacidade de visualização dos resultados nos computadores

pessoais. Esta metodologia é aplicada presentemente aos modelos REFDIF e DREAMS, mas será estendida aos restantes modelos de propagação presentes no SOPRO.

Ainda existem muitos melhoramentos a serem implementados no SOPRO, como, por exemplo: a visualização automática e interactiva com o utilizador dos dados e resultados no modelo SIMNAV; a interligação entre todos os modelos com transferência automática de informação entre eles; a uniformização das estruturas de dados e resultados dos vários modelos; a inclusão de outros modelos de propagação de ondas e a sua interligação com os restantes módulos. Estes melhoramentos encontram-se em desenvolvimento presentemente.

BIBLIOGRAFIA

BERKHOFF, J.C.W. Computation of combined refraction-diffraction. **Proc. 13th International Conference in Coastal Engineering**, Vancouver, Canada, Vol. 2, pp. 471-490, 1972.

BOOIJ, N.R.; HOLTHUIJSEN, L.H.; RIS, R.C. The SWAN wave model for shallow water, **ICCE´96**, Orlando, p. 668-676, 1996.

DALRYMPLE, R.A.; KIRBY, J.T. REF/DIF 1 Version 2.3 Documentation manual. Combined refraction/diffraction model, **CACR Report** nº 91-2, University of Delaware, 1991.

FERNANDES, J.L.M. **Código em FORTRAN do programa LEITOR3**_NEW. 2003.

FERNANDES, J.L.M. **Código em FORTRAN dos programas LAPLACE e REMESHBOUND**. 2005.

FORTES, C. J.; PINHEIRO, L. V.; SANTOS, J. A. A Acoplagem de Modelos Numéricos no Pacote Sopro. **9.º Congresso da Água**, 2008.

FORTES, C.J.E.M. **Transformações não lineares de ondas em zonas portuárias. Análise pelo método dos elementos finitos**. Tese de doutoramento. Engenharia Mecânica, IST. (2002).

FORTES, C.J.E.M.; PINHEIRO, L.; SANTOS, J.A. Análise temporal, espectral e de erros no pacote SOPRO. Aplicações. **Proc. 10º Congresso da Água**, Alvor, Portugal. 2010.

FORTES, C.J.E.M.; PINHEIRO, L.; SANTOS, J.A.; NEVES, M.G.; CAPITÃO, R. SOPRO – Pacote integrado de modelos de avaliação dos efeitos das ondas em portos. **Tecnologias da Água**, Edição I, p.51-61, 2006.

GREGÓRIO, T.S.M. **DREAMS-SIMNAV**, Rel. do Projecto Final de Curso", (88 pp). 2004.

KIRBY, J.T.; WEI, G.; CHEN, Q. **FUNWAVE 1.0 Fully nonlinear Boussinesq wave mode**l. Documentation and user's manual, UD, Newark, Rel.CACR-98-06, 1998.

NEVES D R C B, ZÓZIMO A C, PINHEIRO L V, FORTES J C. GUIOMAR. Geo(graphical) User Interface for coastal and Marine Modelling. Wave regime at Sines. **Journal of Coastal Research**, Special Issue 56, Proceedings of the 10th International Coastal Symposium, vol. II, p. 1542-1546, 2009.

PINHEIRO, L.V.; FERNANDES, J.L.M.; FORTES C.J.E.M. Finite Element Mesh Generator with Local Density Conditioned to Bathymetry for Wave Propagation Models in Coastal Zones. **Proceedings of State of the Art in Numerical Grid Generation II: From Theory to Practice**, Roma, 2006(a).

PINHEIRO, L.V.; FERNANDES, J.L.M.; FORTES C.J.E.M. Sobre um Gerador de Malhas de Elementos Finitos com Densidade Local Condicionada à Batimetria para Modelos de Propagação de Ondas em Zonas Portuárias. **I Conferência Nacional de Métodos Numéricos em Mecânica dos Fluidos e Termodinâmica**, Lisboa, 2006(b).

PINHEIRO, L.V.; FORTES, C.J.E.M.; SANTOS, J.A.; NEVES, M.G. Caracterização de Regimes de Agitação Marítima Utilizando a Ferramenta SOPRO, **8º Cong. Água**, Figueira da Foz. 2006(c).

PINHEIRO, L.V.; FORTES, C.J.E.M.; SANTOS, J.A.; NEVES, M.G.; CAPITÃO, R.; COLI, A.B.– SOPRO. Caracterização da agitação marítima. Aplicações. **4ªs Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária**. Angra do Heroísmo, 2005(a).

PINHEIRO, L.V.; FORTES, C.J.E.M.; SANTOS, J.A.; NEVES, M.G; CAPITÃO, R.; COLI, A.BSOPRO – Sistema Operacional de Previsão da Ondulação em Portos. **7º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa**, Évora, 2005(b).

RIBEIRO, M.; GONÇALVES, A.; CAPITÃO, R.; FORTES, C.J.E.M. Base de dados de agitação marítima da costa portuguesa. **7º Congresso da Água, Lisboa**, 2004.

SANTOS J A, GUILHERME L, FORTES C J, PINHEIRO L, SIMÕES A. Coupling Numerical Models for Wave Propagation in the MOIA Package. **Journal of Coastal Research**, Special Issue 56, Proceedings of the 10th International Coastal Symposium, vol. II, p. 544-548, 2009.

SANTOS, J.A. The width of the new artificial channel of the port of Lisbon. An application of the SIMNAV simulation model. **7th International Symposium on Coastal and Ocean Management**, Coastal Zone 91. Long Beach, California. 1991.

SANTOS, J.A.; FORTES, C.J.E.M. **Código em FORTRAN do programa CONTORNO_NOVO**, 2005

WEI. G.; KIRBY. J.T.; GRILLI. S.T.; SUBRAMANYA R. A time-dependent numerical code for extended Boussinesq equations, **J. Waterway Port Coastal Ocean Engng**. v.120, p. 251-261. 1995.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam o seu agradecimento à técnica experimentadora Branca Branco pela revisão do texto. Agradecem igualmente o financiamento concedido pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) através dos projectos POCTI/CTA/48065/2002 bem como o financiamento do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional e dos Fundos do Governo da República Portuguesa ao projecto “MEDIRES – Metodologias de Inspecção Robotizada de Estruturas Semi-Submersas”.