

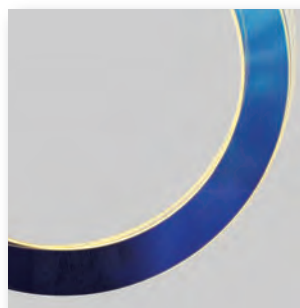
ACTAS

1.^{AS} JORNADAS DE ENGENHARIA HIDROGRÁFICA

Lisboa / 21 e 22 de Junho de 2010

50^o
ANIVERSÁRIO
1960 | 2010

 hidrográfico
marinha • portugal



Actas

DAS

1.^{AS} JORNADAS DE ENGENHARIA HIDROGRÁFICA

21-22 de Junho de 2010

Lisboa

Título – Actas das 1.^{as} Jornadas de Engenharia Hidrográfica

Autor – Instituto Hidrográfico

Edição e execução gráfica – Instituto Hidrográfico – 2011

Paginação – Cristina Ribeiro

Impressão e acabamento – Instituto Hidrográfico

ISBN – 978-989-705-011-4

Depósito Legal n.º 331053/11

Índice

I. Comissões – Honra, Científica e Organizadora	7
II. Patrocinadores	9
III. Nota Introdutória	11
IV. Resumos Alargados	13
Oceanografia operacional	15
MONIZEE: uma resposta Portuguesa à EMODNET? <i>Carlos Ventura Soares</i>	17
Modelling the barotropic tide along the west-Iberian Coast: New approach and first results <i>Luís Quaresma e Annick Pichon</i>	21
Previsão da agitação marítima em situações de temporal à entrada do estuário do Tejo <i>L. Rusu, M. Bernardino, P. Pilar e Guedes Soares</i>	25
Sistema de Previsão em tempo real para a circulação estuarina e costeira <i>A. Oliveira, A. B. Fortunato, A. M. Baptista, P. Turner, G. Jesus, M. Rodrigues, N. A. Ribeiro, A. Mendes, J. P. Fernandes, A. Azevedo, N. Bruneau e G. Dodet</i>	29
The Nazaré Canyon real-time observatory (W Portugal) <i>I. Martins, J. Vitorino e S. Almeida</i>	33
Aplicação de uma metodologia Lagrangeana de identificação de tempestades para avaliar a vulnerabilidade de duas rotas no Atlântico Norte <i>M. Bernardino, J. Queirós e C. Guedes Soares</i>	37
SIG, cartografia e gestão de dados do ambiente marinho	41
Segurança na Navegação: os SIG como ferramenta de suporte <i>Francisco Nobre e Vitor Carvalho</i>	43
Optimização de um Sistema de Informação Geográfica para a Zona Costeira Portuguesa <i>O. Filgueiras, J. Pais-Barbosa e A. C. Teodoro</i>	47
Erosões e sedimentações no estuário do Sado. Geoprocessamento automático considerando a distribuição de contaminantes <i>E. Carneiro, E. Dias e A. Santos Ferreira</i>	51
GeoDist – ferramenta de cálculos geodésicos no ArcGIS <i>F. G. Brandão, A. Campos, A. Navarro, A. Lobo e a equipa da EMEPC</i>	55
Sistema de Informação Geográfica de Meteorologia e Oceanografia para Apoio Operacional <i>Ana Nobre e Miguel Bessa Pacheco</i>	59
35 anos de levantamentos correntométricos <i>Sara Almeida e João Mattos Caldas</i>	63
Projecto CartGen – generalização cartográfica recorrendo a técnicas de inteligência artificial <i>TCor J. Travanca Lopes</i>	67
A representação das Ilhas Selvagens na Cartografia Náutica actual <i>P. Sanches, X. Guerreiro, A. Moura e A. Prelhaz</i>	71
Tecnologias do Mar	75
Towards a sustained presence in the ocean: sensor systems on networked vehicles <i>R. Bencatel, R. Caldas, P. Dias, R. Gomes, R. J. Gomes, G. Gonçalves, R. Gonçalves, B. Loureiro, E. Marques, R. Martins, M. Nogueira, F. Pereira, J. Pereira, C. Oliveira, P. Rodrigues, J. Pinto, J. Silva, J. Sousa, P. Sujit e B. Terra</i>	77
Latest advances around HF Radar Technology and its integration into Data Information Services <i>P. Agostinho, A. Alonso-Martirena, V. Fernandez, J. Vela, D. Barrick e C. Whelan</i>	81

Costal morphological monitoring using an automated video system at Praia de Faro (South Portugal)	85
<i>Vousdoukas, M. V., Almeida, L. P., Ferreira, Ó., Taborda, R. e Silva, A. N.</i>	
Navegação	89
e-Navigation – Um processo ou um produto?	91
<i>António M. Maurício Camilo</i>	
Difusão de Informação de Segurança Marítima suportada por Bases de Dados de Navegação – o rumo na direcção do e-Navigation	95
<i>Plácido da Conceição, Victor; Pires Lopes, Ana e Reino Baptista, Rui</i>	
Difusão da Informação da Publicação «Lista de Luzes, Bóias, Balizas e Sinais de Nevoeiro»	99
<i>Pires Lopes, Ana; Reino Baptista, Rui e Plácido da Conceição, Victor</i>	
IHSkipper – Sistema de Informação de apoio ao navegante	103
<i>S. Godinho e P. da Conceição</i>	
Geologia e geoquímica marinha	107
Implementação do Geocoder/ARA em diferentes aplicações comerciais para a classificação remota do fundo do mar com dados de Retrodifusão Acústica	109
<i>A. Lobo, A. Navarro, A. Campos, F. G. Brandão e a equipa da EMEPC</i>	
Validation of remote seafloor characterization with Angular Range Analysis in an area of high spatial variability	113
<i>L. Rosa, L. Fonseca e L. A. Mayer</i>	
Nova descrição do bordo da Plataforma Continental Portuguesa	117
<i>M. Balsinha, A. Rodrigues, A. Oliveira, C. Fernandes e R. Taborda</i>	
Caracterização hidrográfica e química de longo termo na região costeira de Benguela	121
<i>Enoque Canganjo Vasco, Alexandra Cravo e Paulo Relvas</i>	
Impacto de Operações de Dragagem no Meio Marinho: Caso de Estudo	125
<i>João Canário, Carlos Vale, Cristina Micaelo, Marta Nogueira e Rute Cesário</i>	
Heavy minerals from Porto, Aveiro and Nazaré canyon head areas	129
<i>J. Cascalho, M. Ribeiro, J. Pombo, A. Rodrigues, R. Taborda e C. Guerreiro</i>	
Sedimentary dynamics of the upper Nazaré canyon and adjacent shelf based on sedimentological, geochemical and mineralogical analysis of short sediment cores	133
<i>Guerreiro, C., Oliveira, A., De Stigter, H., Jesus, C., Mil Homens, M., Duarte, J. e Rodrigues, A.</i>	
Assinatura geoquímica das ribeiras no Esporão da Estremadura	137
<i>M. Balsinha, A. Rodrigues, A. Oliveira, C. Palma, M. Valença, M. Mil Homens e R. Taborda</i>	
Recent Sedimentary cover of the Loukkos and Sebou rivers adjacent shelf (Morocco – Gulf of Cadiz)	141
<i>Oliveira, A., Silva, S., Baptista, C., Santos, A. I. e Pombo, J.</i>	
Distribuição de Metais Pesados e Compostos Orgânicos em Sedimentos na Margem NW Marroquina	145
<i>C. Palma, M. Valença, A. Oliveira, A. Rocha e P. Santos</i>	
Classificação da origem geográfica de Ramas Petrolíferas usando Redes Neurais	149
<i>C. Borges e A. Rocha</i>	
Hidrografia	153
Contributo para a interpretação dos requisitos dos levantamentos hidrográficos estabelecidos na S-44	155
<i>F. Artilheiro, R. da Silva e C. Monteiro</i>	
Levantamentos hidrográficos para fins especiais: dragagens	159
<i>L. Veiga, R. da Silva e F. Artilheiro</i>	
Validação de dados hidrográficos	163
<i>C. Monteiro, J. Vicente e R. da Silva</i>	
GNSS Precise Positioning without reference stations	167
<i>Paulo Marreiros, Luisa Bastos e M. Joana Fernandes</i>	

	Oceanografia física – Agitação marítima	171
Modelação numérica da propagação das ondas ao longo de um perfil barra-fossa com dois modelos RANS		173
	<i>E. Didier e M. G. Neves</i>	
Implementação de um critério RTFN no modelo Coullwave para a simulação da rebentação		177
	<i>Theo Moura, Conceição J. Fortes e Takashi Okamoto</i>	
On the interaction of waves and opposite current		181
	<i>Cláudia Lucas, Manases Tello e C. Guedes Soares</i>	
Avaliação do desempenho de dois estudos de reconstituição da agitação marítima no Atlântico Norte		185
	<i>Ricardo Martins Campos e C. Guedes Soares</i>	
Calibração e validação do modelo Espectral de Previsão da Agitação Marítima SWAN em Zonas Costeiras		189
	<i>F. Sansana Silva, J. Pinto, B. Skahill e J. Jacob</i>	
Correlating Wave Hindcast and Buoy Data with Artificial Neural Networks		193
	<i>Almeida, L. P., Vousdoukas, M. V., Ferreira, P. M., Ruano, A. E., Dodet, G., Loureiro, C., Ferreira, Ó. e Taborda, R.</i>	
Use of Spectral Remote Wave Data for Wave Energy Resource Characterization		197
	<i>M. T. Pontes, E. Azevedo, M. Bruck e S. Lehener</i>	
Verificação da altura significativa na costa portuguesa produzida por modelos numéricos global e de área limitada		201
	<i>S. Muacho e A. Carvalho</i>	
Caracterização de eventos extremos de agitação marítima em Portugal Continental		205
	<i>R. Esteves, F. Sansana Silva, J. P. Pinto e M. Costa</i>	
	Dinâmica sedimentar	209
Influência de ondas assimétricas no transporte de sedimentos: medição e modelação		211
	<i>T. Abreu, P. A. Silva e F. Sancho</i>	
O projecto BRISA – Interacção entre a rebentação das ondas e o transporte de areias		215
	<i>Conceição J. Fortes, Paulo A. Silva e Óscar Ferreira</i>	
Evaluation of suspended sediment in a fetch limited beach using optical backscatter sensors: particle size effects		219
	<i>M. Ribeiro, J. Cascalho, R. Taborda, A. Oliveira, P. Freire e A. Rodrigues</i>	
Avaliação do transporte sedimentar na praia de Faro a partir da medição de velocidades orbitais		223
	<i>L. Ferreira, P. A. Silva, T. Abreu, F. Sancho e Ó. Ferreira</i>	
Variações morfológicas de face de praia em condições de baixa energia		227
	<i>M. Bezerra, Ó. Ferreira e M. Vousdoukas</i>	
Simulação numérica da morfodinâmica de embocaduras		231
	<i>A. B. Fortunato, A. Oliveira, X. Bertin, N. Bruneau, A. Nahon, M. Guerreiro, M. Costa e L. Pinto</i>	
Methodologies for coastal zone evolution analysis at medium-long term		235
	<i>P. Freire, F. S. B. F. Oliveira e M. Clímaco</i>	
The importance of the topo-hydrography in the prediction of the short and medium-term evolution of the coast zone		239
	<i>F. S. B. F. Oliveira, P. Freire e M. Clímaco</i>	
Impacte da extracção de inertes ao largo do Algarve na evolução da linha de costa		243
	<i>B. Proença, F. S. B. F. Oliveira e F. Sancho</i>	
Evolução morfodinâmica de uma escavação de areia na Plataforma Continental: duas aproximações numéricas com graus de complexidade diferente		247
	<i>J. Rosa, D. Santos e P. A. Silva</i>	
Análise multitemporal e morfodinâmica no estuário do Arade com geoprocessamento automático		251
	<i>A. P. F. da Silva, A. Santos-Ferreira e E. Dias</i>	
Erosão e sedimentação no estuário do Arade. Interpretação da evolução com consideração da hidrodinâmica estuarina		255
	<i>A. Trigo Teixeira e A. Santos Ferreira</i>	

Oceanografia física – aplicações locais e regionais	259
A coastal countercurrent in the south coast of Portugal – Summer 2006	261
<i>Mónica Rosa, Alexandra Cravo e Paulo Relvas</i>	
Avaliação da agitação marítima ao largo dos portos de Faro e Setúbal	265
<i>Rute Bento, Dina Silva, Liliana Rusu e C. Guedes Soares</i>	
Análise numérica e in-situ da evolução das ondas na Praia de Faro	269
<i>Conceição J. Fortes, Theo Moura, Óscar Ferreira e Rui Capitão</i>	
Monitorização da variação do nível médio do mar	273
<i>Carlos Antunes</i>	
Comparações entre os modelos SWAN e STWAVE na área costeira do Porto de Leixões	277
<i>Marta Gonçalves, Eugen Rusu e C. Guedes Soares</i>	
Characterization of the wave field along the Tróia-Sines embayed coast during a storm event	281
<i>P. Mota, J. Jacob, C. Gama e R. Salgado</i>	
Fluxos sedimentares no estuário do Rio Douro: existe exportação para a Plataforma Continental	285
<i>A. I. Santos, A. Oliveira, M. J. Balsinha, L. Quaresma dos Santos, J. Onofre, C. Fernandes e A. Jorge da Silva</i>	
Recuperação de condições para o funcionamento do moinho de maré de Corroios	289
<i>A. Jorge da Silva, A. Santos Martinho, Leonor Veiga e F. Sansana da Silva</i>	
Pósteres	293
Como gerir o esforço de pesca do goraz (<i>Pagellus bogaraveo</i>) em função das condições climáticas?	295
<i>J. Nogueira, E. Domingues, N. Sousa e R. Vargas</i>	
The SeaCon Autonomous Underwater Vehicle System	299
<i>J. Borges de Sousa, C. Carvalho Afonso, R. Caldas, P. Dias, R. Gonçalves, R. Gomes, B. Loureiro, L. Madureira, E. Marques, R. Martins, F. Pereira, J. Pereira, J. Pinto e A. Sousa</i>	
Abordagem matemática de roll waves em escoamentos hiperconcentrados	303
<i>F. Ferreira, G. Maciel, L. Gil e G. Fiorot</i>	
Implementação do atrito de fundo e rebentação no modelo BOUSS3W	307
<i>L. V. Pinheiro, V. Rodriguez e C. J. E. Fortes</i>	
Caracterização sedimentar da Baía do Seixal	311
<i>C. Pólvora, A. I. Santos e A. Oliveira</i>	
A monitorização das marés no Instituto Hidrográfico	315
<i>L. Martins, M. Serpa e J. Reis</i>	
Uma nova plataforma para a gestão de documentos digitais: Implementação do repositório científico do Instituto Hidrográfico	319
<i>Milton Silva</i>	
Índice de Autores	323

COMISSÃO DE HONRA

Presidente da Fundação Mário Soares, *Dr. Mário Soares*
Ministro da Defesa Nacional, *Prof. Doutor Augusto Santos Silva*
Ministro da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior, *Prof. Doutor José Mariano Gago*
Secretário de Estado da Defesa Nacional e dos Assuntos do Mar, *Dr. Marcos Perestrello*
Almirante Chefe do Estado-Maior da Armada, *Almirante Fernando Melo Gomes*
Bastonário da Ordem dos Engenheiros, *Eng.º Carlos Matias Ramos*
Reitor da Universidade do Porto, *Prof. Doutor José Marques dos Santos*
Reitor da Universidade de Aveiro, *Prof. Doutora Maria Helena Nazaré*
Reitor da Universidade Clássica de Lisboa, *Prof. Doutor António de Sampaio da Návoa*
Reitor da Universidade Técnica de Lisboa, *Prof. Doutor Fernando Ramôa Ribeiro*
Reitor da Universidade Nova de Lisboa, *Prof. Doutor António Bensabat Rendas*
Reitor da Universidade do Algarve, *Prof. Doutor João Pinto Guerreiro*
Reitor da Universidade dos Açores, *Prof. Doutor Avelino de Freitas Menezes*
Presidente do Comité Português para a Comissão Oceanográfica Intergovernamental, *Prof. Doutor Mário Ruivo*
Presidente da Academia de Marinha, *Almirante Nuno Vieira Matias*
Presidente da Fundação Luso-Espanhola, *Prof. Doutor Ernâni Lopes*
Presidente da Organização Hidrográfica Internacional, *Vice-almirante Alexandros Maratos*
Director-geral do Instituto Hidrográfico, *Vice-almirante Agostinho Ramos da Silva*
Representante do Presidente da Direcção da Associação Comercial de Lisboa, *Dr. Bruno Bobone*

COMISSÃO CIENTÍFICA

Capitão-de-fragata Engenheiro Hidrógrafo João Ramalho Marreiros, Marinha, IH (presidente)
Capitão-de-fragata Nuno Sardinha Monteiro, Marinha
Capitão-de-fragata Engenheiro Hidrógrafo Luís Bessa Pacheco, Marinha
Capitão-tenente Engenheiro Hidrógrafo António Santos Martinho, Marinha, IH
Capitão-tenente Engenheiro Hidrógrafo Aldino Santos de Campos, EMEPC
Engenheiro Carlos Vale, INRB-IPIMAR
Engenheiro Marcos Rita, LNEC
Engenheira Ana Fonseca, Ordem dos Engenheiros
Engenheira Teresa Sá Pereira, APL
Doutor Pedro Viterbo, IM
Doutor Virgílio Mendes, FCUL
Doutor Pires Silva, IST
Doutora Anabela Oliveira, Marinha, IH

COMISSÃO ORGANIZADORA

Capitão-de-mar-e-guerra Engenheiro Hidrógrafo Carlos Ventura Soares
Capitão-de-fragata Engenheiro Hidrógrafo Fernando Freitas Artilheiro
Capitão-de-fragata Engenheiro Hidrógrafo José Mesquita Onofre
Doutora Aurora Rodrigues Bizarro

Patrocinadores II.

KONGSBERG

MONICAN EEA GRANTS

CARIS

QUALITAS REMOS

ESRI PORTUGAL

KLEY FRANCE

Nota introdutória

III.

Os resumos alargados coligidos neste livro resultam das comunicações apresentadas nas 1.^{as} Jornadas de Engenharia Hidrográfica, que decorreram em Lisboa, nas instalações do Instituto Hidrográfico, nos dias 21 e 22 de Junho de 2010.

O Instituto Hidrográfico, órgão da Marinha e Laboratório do Estado vocacionado para as Ciências e Tecnologias do Mar, organizou pela primeira vez este evento no ano em que se comemoraram os seus cinquenta anos. É intenção deste Instituto que esta seja a primeira de uma série de Jornadas, a realizar de dois em dois anos na semana do Dia Mundial da Hidrografia, 21 de Junho, que se possam constituir como um fórum técnico-científico nacional da Hidrografia, no sentido lato do termo.

As 81 comunicações apresentadas (68 orais e 13 pósteres) foram divididas pelas sessões de «Hidrografia», «Navegação», «Oceanografia Operacional», «Oceanografia Física – Agitação Marítima», «Oceanografia Física – Aplicações Locais e Regionais», «Geologia e Geoquímica Marinha», «Dinâmica Sedimentar», «SIG, Cartografia e Gestão de Dados do Ambiente Marinho» e «Tecnologias do Mar».

A diversidade dos trabalhos recebidos atesta o interesse que suscitou esta iniciativa, não só de jovens técnicos e investigadores, como também de autores de reconhecido mérito nas Ciências e Tecnologias do Mar em Portugal.

Em nome do Instituto Hidrográfico, agradeço a todos os participantes nestas Jornadas, esperando que os dois dias aqui passados possam ter contribuído para o vosso enriquecimento pessoal e profissional. Sublinho ainda o esforço e o entusiasmo demonstrados pelo pessoal deste Instituto envolvido na preparação e execução do evento e em especial da Comissão Organizadora destas Jornadas. Relevo também o valioso préstimo das entidades patrocinadoras, nacionais e estrangeiras, que apoiaram o Instituto, viabilizando a concretização do evento.

Desejo finalmente que o conjunto dos trabalhos aqui publicados seja representativo daquilo que se faz com qualidade no nosso País e, como tal, possa servir de referência a todos os que desenvolvem actividades nas Ciências e Tecnologias do Mar em Portugal.

Bem hajam!

O Director-geral,



Agostinho Ramos da Silva

Vice-almirante

Resumos Alargados

IV.

Oceanografía Operacional

MONIZEE: uma resposta Portuguesa à EMODNET?

C. Ventura Soares (1)

(1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 49, 1249-093 Lisboa; ventura.soares@hidrografico.pt

Resumo: O projecto MONIZEE foi concebido com o objectivo de promover o desenvolvimento de um Sistema Integrado de Monitorização Ambiental da Zona Económica Exclusiva Portuguesa, centrado num modelo de oceanografia operacional e de acordo com as boas práticas internacionais sobre a matéria. O projecto propõe, associada à componente de oceanografia operacional, uma componente de desenvolvimento tecnológico e outra de formação e treino, no sentido de alimentar o sistema dos recursos humanos e materiais adequados.

A Rede Europeia de Observação e Dados Marinhos (EMODNET), cujo conceito está enquadrado na Política Marítima Europeia apresentada em 2007, pretende constituir-se como uma rede de sistemas de observação do mar, interligados por uma estrutura de gestão de dados, cobrindo todas as águas de jurisdição europeia. O sistema será composto por vários módulos: Sensores e Plataformas, Observações, Sistemas de Comunicação, Gestão de Dados e Sistemas de Informação.

Esta comunicação pretende analisar de que modo o projecto MONIZEE pode constituir-se como resposta Portuguesa aos desafios da EMODNET, isto tendo em conta as capacidades instaladas no país no âmbito dos sistemas de observação e infraestrutura de dados do ambiente marinho.

Palavras chave: Oceanografia Operacional, MONIZEE e EMODNET

1. INTRODUÇÃO

Para o Homem os grandes desafios do Mar para o futuro passam pela limitação do efeito da actividade humana nos seus equilíbrios naturais, pela defesa das populações ribeirinhas face a algumas fenomenologias naturais que lhe estão associadas e pela exploração sustentável dos seus recursos. Consequentemente será necessário estudar o efeito das alterações climáticas ou da poluição, compreender eventos como os tsunamis, as sobrelevações do nível do mar por efeito de temporais ou as marés vermelhas de algas e explorar sustentavelmente os recursos vivos e minerais, bem como as energias renováveis ou provenientes de hidrocarbonetos.

A monitorização do ambiente marinho, quer seja através das adequadas redes de observação “in situ”, dos complementares sistemas de observação remota ou dos convenientes sistemas de gestão da informação recolhida, tem estado na agenda dos decisores políticos e estratégicos de todo o mundo. Isso porque existem naturais necessidades na defesa (apoio ambiental às operações navais), na protecção civil (medidas de mitigação de riscos naturais), no conhecimento científico, na protecção do meio marinho (assegurando a qualidade ambiental, o combate contra a poluição ou a gestão costeira) ou na actividade sócio-económica (pescas, transporte e recreio marítimo, turismo e exploração de recursos energéticos). A insuficiente observação dos Mares e Oceanos limita o conhecimento das principais

dinâmicas do meio marinho e dos seus efeitos, o que tem repercussões sobre os modelos de gestão e normalmente afecta as tomadas de decisão...

2. O MONIZEE

No âmbito da monitorização do ambiente marinho do espaço marítimo Português, o Instituto Hidrográfico (IH) tem vindo a operar, desde os anos 80, em cooperação com entidades regionais e locais, redes de observação permanentes nas zonas costeiras portuguesas, quer seja na costa do continente quer nos arquipélagos dos Açores e das Madeira. Têm sido mantidas redes de bóias ondógrafo, de marégrafos e de estações meteorológicas costeiras de apoio a actividades oceanográficas. Para além disso, um conjunto de séries temporais longas de correntes tem sido obtido desde meados da década de 90, na zona do Canhão da Nazaré, no âmbito de projectos de investigação científica em que o IH participa.

Necessidades no âmbito do apoio ambiental às operações navais, bem como o sistema estabelecido em 2002 para apoio à decisão, aquando do afundamento do petroleiro “Prestige”, motivaram o IH a desenvolver conceptualmente, desde 2003, o projecto MONIZEE, destinado a promover o desenvolvimento de um sistema integrado de monitorização ambiental da Zona Económica Exclusiva Portuguesa, centrado num modelo de oceanografia operacional. O projecto foi proposto pela Marinha em 2008, como um Plano de Acção à

Comissão Interministerial para os Assuntos do Mar (CIAM), através do Ministério da Defesa Nacional, tendo essa proposta merecido a colaboração do Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior. Tendo sido aprovado no âmbito da Estratégia Nacional para o Mar (ENM), o projecto proposto deverá desejavelmente ser desenvolvido através do Consórcio de I&D Oceanos, que deverá congrega Laboratórios do Estado, Laboratórios Associados, universidades e empresas e deverá ter carácter operacional.

O MONIZEE propõe que, associada à componente de oceanografia operacional (monitorização, gestão de dados e previsão), seja implementada uma componente de desenvolvimento tecnológico (sensores de observação ambientais, veículos não tripulados e sistemas de comunicação) e outra de formação e treino (pessoal técnico e científico da área das ciências e tecnologias do mar) (Figura 1). Por razões de exequibilidade, o desenvolvimento do sistema MONIZEE deve seguir uma arquitectura modular, podendo ser assim implementado por áreas e faseadamente, em função da capacidade de resposta dos recursos humanos, materiais e financeiros dos parceiros envolvidos.

Esse tem sido o caminho seguido pelo IH, enquanto não estão criadas as condições para um financiamento integrado e sustentado. Assim, desde meados de 2008, tem em curso projectos, de financiamento diverso, que permitiram já instalar duas bóias multiparámetro no canhão da Nazaré (Figura 2), assumido pelo IH como um laboratório natural de observação do meio marinho (projecto MONICAN) e uma outra na costa norte Portuguesa (projecto RAIA). Estão também em fase de

instalação dois radares HF na zona de Sines, que permitirão uma cobertura permanente das correntes superficiais até mais de 50 km de costa (projecto SIMOC), com benefícios nas áreas científica, ambiental, combate à poluição e busca e salvamento. Todos estes novos sistemas, complementados pelas redes permanentes já existentes, são passos lentos mas seguros no sentido de uma crescente cobertura das águas Portuguesas com sensores de observação de parâmetros físicos, químicos e biológicos, que garantam séries longas de observação.

A validade do conceito foi desde cedo reconhecida pelas organizações europeias das quais o IH é membro, como o IBI-ROOS (Iberia-Biscay-Ireland Regional Operational Oceanographic System) e o EUROGOOS (associação europeia de oceanografia operacional). Os resultados obtidos e que se propõe obter permitem ainda integrar o MONIZEE no conceito do GMES (Global Monitoring for Environment and Security), que se constitui como uma contribuição europeia para o esforço global de monitorização dos oceanos, o GOOS (Global Ocean Observing System). Por outro lado, os objectivos do MONIZEE, quanto ao melhor conhecimento do ambiente marinho, estão na linha da política marítima integrada para a união europeia, contribuindo também para os compromissos nacionais respeitantes à Directiva-Quadro “Estratégia Marinha” (DQEM) e à Directiva-Quadro da Água (DQA).

De referir, finalmente, que as gestão dos dados técnico-científicos obtidos pela componente observacional ou produzidos pela componente previsional do MONIZEE, é efectuada pela chamada

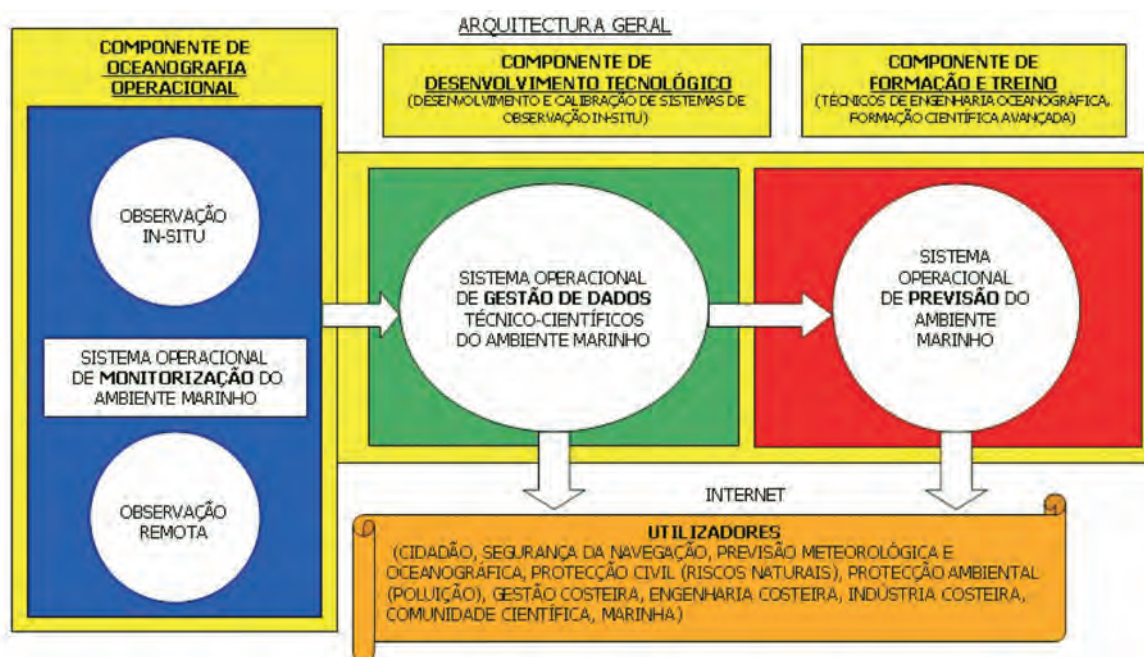


Figura 1: Arquitectura geral do MONIZEE

Infraestrutura Nacional de Dados Técnico-Científicos do Oceano (IDAMAR) existente no IH, presentemente em desenvolvimento, contemplando parâmetros físico-químicos, geomorfológicos e hidrodinâmicos. Esse desenvolvimento é feito no enquadramento da Directiva-Quadro INSPIRE (infraestrutura de informação geográfica na comunidade europeia) e da sua transposição para a lei portuguesa. Nesta linha foi também apresentada pela Marinha à CIAM, em 2009, a proposta para a definição de uma Política Nacional de Dados do Oceano (PONDO) e a consequente constituição de um Centro Nacional de Dados do Oceano (CENDO), proposta essa ainda em estudo.

Será que o MONIZEE, existente ou futuro, poderá constituir a principal contribuição portuguesa para a EMODNET (European Marine Observation and Data Network)?

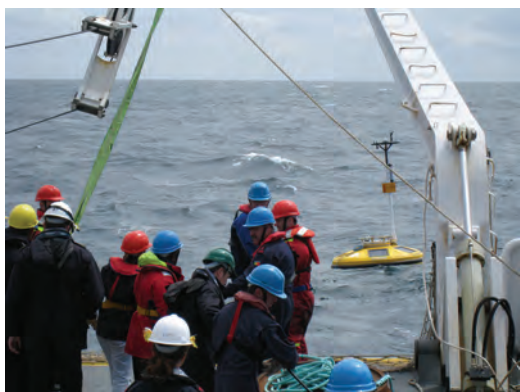


Figura 2: Fundeamento da primeira bóia multiparámetro de águas profundas no canhão da Nazaré, em Abril de 2009

3. A EMODNET

É comumente aceite entre a comunidade de utilizadores de informação que existe um número significativo de dados do Mar, obtidos ao longo dos mais recentes anos por entidades de índole diversa, públicas e privadas, dados esses muitas vezes inacessíveis pelas mais variadas razões. Acresce ainda que existem extensas áreas do Mar com deficiente cobertura de observação, resultante ou da simples inexistência de sensores ou de inadequadas metodologias de observação.

A Política Marítima Integrada para a União Europeia (PMIUE) tais como as Declarações de Galway (2004) e Aberdeen (2007) que a antecederam, salientaram como prioritário o desenvolvimento de sistemas integrados de observação do Mar. A PMIUE concretiza a resposta a essa necessidade com o estabelecimento de uma Rede Europeia de Observação e Dados Marinhos, a EMODNET (acrónimo de “European Marine Observation and Data Network”). Esta pretende ser uma rede de sistemas de observação do Mar (existentes ou a criar), interligados por uma estrutura

de gestão de dados, cobrindo todas as águas de jurisdição europeia e servindo o maior número de utilizadores.

A EMODNET tem como objectivos: construir e integrar sistemas de observação *in situ* e sistemas de observação remota; harmonizar diferentes metodologias de gestão de dados sob comuns protocolos, formatos e métodos de controlo de qualidade; garantir que os dados possam ser consistentemente distribuídos aos utilizadores para efeitos de interpretação, avaliação ambiental e modelação.

O sistema é composto por vários módulos, que se interligam: Sensores (de temperatura, salinidade, turbidez, oxigénio, ...) e Plataformas (bóias, amarrações, “gliders”, AUVs, ...), Observações (a partir de sistemas automáticos, cruzeiros de navios ou sistemas remotos), Sistemas de Comunicação (para transferir os dados preferencialmente em tempo real), Gestão de Dados (controlo de qualidade e armazenamento dos dados) e Sistemas de Informação (baseados na “Web” para analisar e distribuir os dados).

O principal desafio da EMODNET, que se pretende que funcione como um sistema de sistemas, é garantir um processo de harmonização entre todos os sistemas aderentes, que assegure a interoperacionalidade entre eles. A Directiva INSPIRE será a fonte dessa harmonização pretendida, implicando a existência de uma política de dados comum e a utilização de protocolos também comuns para os procedimentos de controlo de qualidade, formato dos metadados e de troca de dados. A experiência existente no projecto SeaDataNet (do 6º Programa-Quadro Europeu) pode ser largamente explorada para a implementação da EMODNET.

A informação coligida na EMODNET deverá servir para melhorar o mapeamento das águas jurisdicionais dos países membros da União Europeia bem como contribuir para a produção do Atlas Europeu dos Mares (cuja versão beta foi recentemente disponibilizada).

Actualmente a EMODNET encontra-se em fase de desenvolvimento das chamadas “acções preparatórias”. Estas destinam-se a implementar protótipos/projectos-piloto que demonstrem a validade do conceito, existindo seis grandes áreas temáticas: hidrografia/batimetria, física, química, geologia, biologia e habitats. Cada uma delas implementará um portal, que proporcionará acesso público a dados referentes a um conjunto seleccionado de regiões do mar Europeu. Esses dados estarão validados com o adequado controlo de qualidade e disponíveis num formato “standard”. O portal identificará também as zonas com deficiente ou inexistente cobertura. Restam importantes questões por definir como seja o modelo de financiamento adequado, apontando-se contudo a

necessidade de responsabilizar conjuntamente os Estados Membros e a União Europeia para o efeito. O objectivo da União Europeia é evoluir estes projectos-piloto para uma EMODNET definitiva, a iniciar no período 2011-2013 e sustentada no tempo. Até lá (2010-2011) espera-se operacionalizar as “acções preparatórias” de modo a colher o necessário retorno dos utilizadores, que possibilite um melhor desenho final da rede.

4. SERÁ O MONIZEE UMA POSSÍVEL RESPOSTA PORTUGUESA À EMODNET?

Não é ainda conhecida uma estratégia, a nível nacional, para a EMODNET. Na Comissão Europeia tem-se notado um especial enfoque na gestão dos dados já existentes em detrimento de uma melhor cobertura observacional, que tem lacunas importantes no espaço e no tempo. Tal posição tem sido contestada pelo EUROGOOS, salientando a necessidade de investimento nas capacidades de observação. Isso assume primordial relevância em vastas áreas atlânticas como a ZEE Portuguesa. Mesmo sendo o MONIZEE um projecto anterior ao aparecimento da EMODNET, poder-se-á perguntar se responde total ou parcialmente aos requisitos da EMODNET. A resposta é positiva, pelas seguintes razões:

- a) Têm uma estrutura semelhante, baseada no conceito de Oceanografia Operacional. O actual MONIZEE residente no IH integra, desde já, significativas capacidades de observação bem como de gestão de dados, num modelo semelhante à EMODNET. A maior diferença reside no facto do MONIZEE incluir no seu “core” a componente previsional, remetida para os utilizadores na EMODNET;
- b) Parte relevante da componente observacional do MONIZEE integra o conjunto de redes do IBIROOS, garantindo padrões comuns com outras redes europeias;
- c) O sistema de gestão de dados do MONIZEE está moldado, desde já, segundo a Directiva INSPIRE, seguindo protocolos e formatos resultantes da participação do IH no projecto europeu SeaDataNet.

Face à multiplicidade de sistemas de observação/monitorização e de gestão de dados do ambiente marinho, é de crer que a futura EMODNET Europeia aposte mais em Sistemas de Informação comuns a vários institutos/países em detrimento de tentar a difícil tarefa de uniformizar sistemas de gestão de dados, ou de gerir conjuntamente sistemas de observação.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento futuro de um projecto como o MONIZEE deverá garantir a rentabilização de sinergias entre instituições / capacidades operacionais / know-how técnico e científico; deverá também prosseguir uma abordagem multidisciplinar, induzindo substancial economia de recursos (por exemplo, as bóias multiparámetro servindo um largo espectro de utilizadores).

A EMODNET constitui-se como uma peça fundamental para garantir que a Directiva-Quadro “Estratégia Marinha” atinja o objectivo de um bom estado ambiental do meio marinho, para as águas europeias, em 2020. Importa pois apostar nela como uma ferramenta decisiva para Portugal cumprir os requisitos desta Directiva-Quadro, actualmente em fase de transposição para a lei Portuguesa.

O actual MONIZEE, face às suas características estruturais, poderá constituir-se, numa primeira fase, como um excelente meio para que Portugal integre, desde logo, a EMODNET Europeia, que se espera ser operacionalizada no período 2011-2013. Claro que isso deverá ser feito sem prejuízo de uma evolução mais estruturada (através do consórcio de I&D Oceanos?) integrada numa estratégia nacional para esta área.

O IH está a acompanhar os desenvolvimentos iniciais da EMODNET na Europa, participando, por exemplo, numa parceria a nível europeu (através do EUROGOOS) na “preparatory action” de Física (ainda em fase de concurso). Face à sua missão tem também acompanhado de perto a “preparatory action” da Hidrografia/Batimetria, já em fase de execução.

BIBLIOGRAFIA

- http://ec.europa.eu/maritimeaffairs/emodnet_en.html#1
 Marine Board / ESF and EUROGOOS (2009). EMODNET, the European Marine Observation and Data Network.
- Soares, C. Ventura (2009). A Monitorização e a Investigação Científica do Ambiente Marinho em Portugal - A Contribuição do Instituto Hidrográfico, *Revista de Marinha N° 952, Outubro/Novembro 2009*, Lisboa.
- Soares, C. Ventura (2010). A I&D no Espaço Marítimo Português: a perspectiva do Instituto Hidrográfico, *8º Encontro de Utilizadores da ESRI Portugal, EUE 2010*, Lisboa.
- Soares, C. Ventura (2010). Monitorização Ambiental do Meio Marinho: Desafios e Oportunidades, *Seminário “A Engenharia na Marinha”*, Ordem dos Engenheiros, Lisboa.

Modelling the barotropic tide along the West-Iberian Coast: New approach and first results

Luis Quaresma ¹ and Annick Pichon ²

(1) INSTITUTO HIDROGRÁFICO. Divisão de Oceanografia, Rua das Trinas, n.49 1249-093 Lisboa, Portugal. luis.quaresma@hidrografico.pt

(2) SHOM. HOM/REC, 13 rue du Chatellier 29200 Brest, France.

Abstract: A barotropic tide circulation model, covering the West-Iberia region, was constructed and validated. HYCOM model is used, in a pure isopycnal mode, to simulate 2D tidal gravity waves propagation along this continental margin and over nearby topographic features. A new bathymetric DTM was build and used to improve the tidal wave solution over the shelf. Data from several tide gauges and some current profilers (regularly spaced along the domain) are used to parameterize and validate the barotropic solution. This paper aims to present the concept approach of the developed work and illustrate it with some results.

Key words: Barotropic, Tide, Numerical Model, HYCOM, West-Iberia.

1. INTRODUCTION

The present study explores the use of an isopycnal vertical coordinate model to study and predict the barotropic tidal solution over a wide West-Iberian region, extending from Morocco coast to the Bay of Biscay and from Gibraltar Strait to nearby seamounts (Gorringe ridge and Galicia bank).

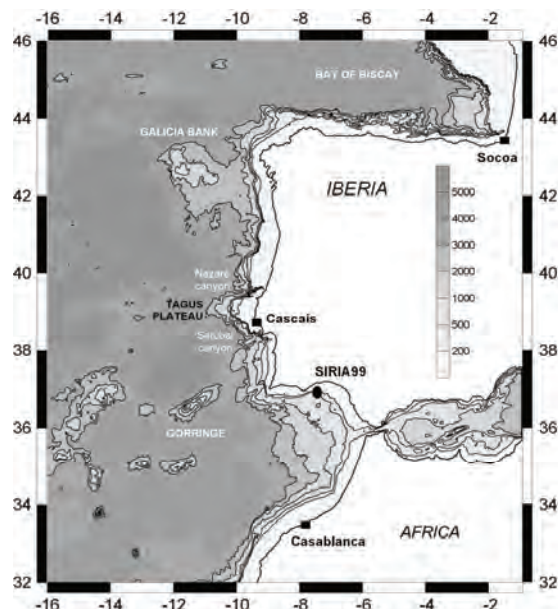


Fig. 1 West-Iberia numerical model domain. Squares indicate tide-gauge position and circle ADCP position

Despite its straight shoreline, the West-Iberian shelf is quite complex, shaped by two main submarine canyons (Nazaré and Setúbal), which are separated by a large promontory (Tagus Plateau). These topographic accidents divide a wider northern shelf, bordered by a steeper slope, from a southern sloping narrow shelf.

Many authors have dedicated work to the tidal modelling of this continental margin. Among them it is important to point out studies performed by Fanjul et al. (1997), who applied a 3D Z-coordinate model (HAMSOM), with a variable grid size scheme, forced at the open boundaries by the first TOPEX/POSEIDON-derived harmonic constants. An extensive model results validation was performed, mainly by tide-gauge data. This study presents the propagation of tide harmonics as Kelvin waves, from south to north, with amplitudes increasing toward the coast. Important along-shore spatial variability of current velocity is put in evidence. Sauvaget et al. (2000) used TELEMAC-2D to model the tidal spatial structure, zoomed at the Northern Portuguese shelf. A special attention was made to M2 and K1 constituents, revealing the generation of diurnal shelf trapped waves. Fortunato et al. (2002) dedicated a full article to discuss this phenomena, by using a finite element model (ADCIRC). This study pointed the Tagus Plateau as responsible for most of this trapped waves generation. More recent, Marta-Almeida et Dubert (2006) applied the ROMS model to the same region, aiming to characterize the structure of the principal constituents (M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1 and Q1). This study reinforces the strong topographic effect of the Tagus Plateau in the reshape of the diurnal constituents solution (intensifying both surface elevation and current magnitude, as well as modulating its phases).

2. METHODS

2.1 Model set-up

The HYCOM (Hybrid Coordinate Ocean Model) is used to simulate the 2D tidal propagation along the West-Iberian domain. The model is configured in a pure isopycnal mode, well adapted to gravity waves

modeling. Different tidal constituent solutions (taken from global tide models) are forced at the four open boundaries. The model (Bleck & Boudra, 1981) radiate these waves by resolving both momentum and continuity hydrostatic primitive equations, integrated over the rotating viscous ocean water column (as an unique isopycnal, free surface layer). The 1 arc-minute ARAWAKA-C grid resolution (~1.8 km) is chosen for a good representation of the topographic shelf features (as submarine canyons, steep slopes, sea-mounts and islands).

2.2 Bathymetry

Regional tide model accuracy is often limited by bottom topography errors, mostly evident over the shelf and in shallow water regions. In order to overcome this issue a new bathymetric DTM of the West-Iberia domain was build (WIBM2009). Accurate databases, detained by both Portuguese and French Hydrographic Offices, were assembled with ETOPO1 global relief model. By gathering this information, it was possible to improve from previous works, the bathymetric information along this continental margin, where topographic accidents and complex coastline coexist in shallow-water regions.

2.3 Tidal Forcing

The new generation of Global Ocean Tide Solutions have their origin in performing hydrodynamic models. Some of them assimilate significant amount of valuable data (like satellite altimetry, insitu current records, coastal and deep-ocean tide-gauges time-series). The present work explores the use of both TPXO7.2 and MOG2D tidal solutions. The first is the most recent solution of the OTIS model (Egbert et al., 1994), that best fits the Laplace Tidal equations to the along track average data from TOPEX/Poseidon and Jason altimetry (since 2002 until present). MOG2D (2D Gravity Waves model) is a purely hydrodynamic solution of a barotropic, non-linear, time stepping model governing the classical shallow water continuity and momentum equations (Lynch et Gray, 1979; adapted by Greeberg et Lyard). In the present work the principal tide constituents are forced at the same time along the model open boundaries. HYCOM model solutions, outputted inside the domain and resulting from different tidal forcing (TPXO7.2 vs MOG2D) are analysed and compared with tide-gauge data.

2.4 Data Analysis

In order to parameterize the model and validate its results, valuable insitu data was made available from the Portuguese Marine National Laboratory HIDROGRÁFICO (tide-gauge and current profile records) and from French National Institutions as SHOM (tide-gauge records) and IFREMER (current

profile records). The model outputs and insitu data analysis is developed by classical harmonic analysis, using the open source tool T_TIDE (Pawlowicz et al., 2002), following the principle of work repetitiveness (by other authors) and coherent results comparison. Lateral, eddy and bottom viscosity parameterization was carried out in order to reduce the generation of tidal residual currents. This numerical artifact can be quantified as the residual variability from the complete tide harmonics extraction from model outputs.

3. RESULTS

One-year model run was carried out in order to output hourly both sea-surface height and 2D current velocity, at every 3x3 grid points (attaining a 3 arc-minutes spatial resolution, approx. 5km). Harmonic analysis is performed to each output time series. The assembling of these results reveals the spatial mapping of the sea-surface elevation and velocity structure, of each constituent. The four semi-diurnal constituents evidence similar structure, differencing from each other in magnitude and phase. The diurnal constituents differ from the previous ones, but their structure rest similar within this sub-inertial group, Fig.2 puts in evidence this difference (M2 and K1 illustrate the typical SSH and velocity tide structure from each group). A zoom is made to the West-Iberian margin.

4. VALIDATION

4.1 Sea Surface Height

Tidal sea-level amplitude and phase are validated by harmonic analysis of tide gauge data, placed along the study domain, and compared with nearest grid point model output. Insitu data selection is based on their location, time-series length and availability. Leixões, Peniche, Cascais and Sines were picked to represent the regional variability of the principle tide constituent wave solutions along the west-coast (see cap.3). Casablanca and Socoa (Saint-Jean-de-luz) are chosen to represent the near open boundary tidal solution (south and north respectively). Table1 shows, as example, the validation results from 3 of these available tide-gauges.

4.2 Tidal currents

The barotropic tidal velocities are validated by current profile time-series, recorded at the Iberia continental platform. Tidal current ellipses are determined from 2D model solution by least-square harmonic analysis. These ellipses are compared with similar analysis performed to insitu data. As an example Fig.3 shows the validation of the two most energetic modelled tidal ellipses (M2 and S2) with an ADCP time series, recorded at the Southern Portuguese shelf in position 37° 02.0'N / 007° 33.9'W, from 27 JUL to 07 SEP 1999 (see Fig.1).

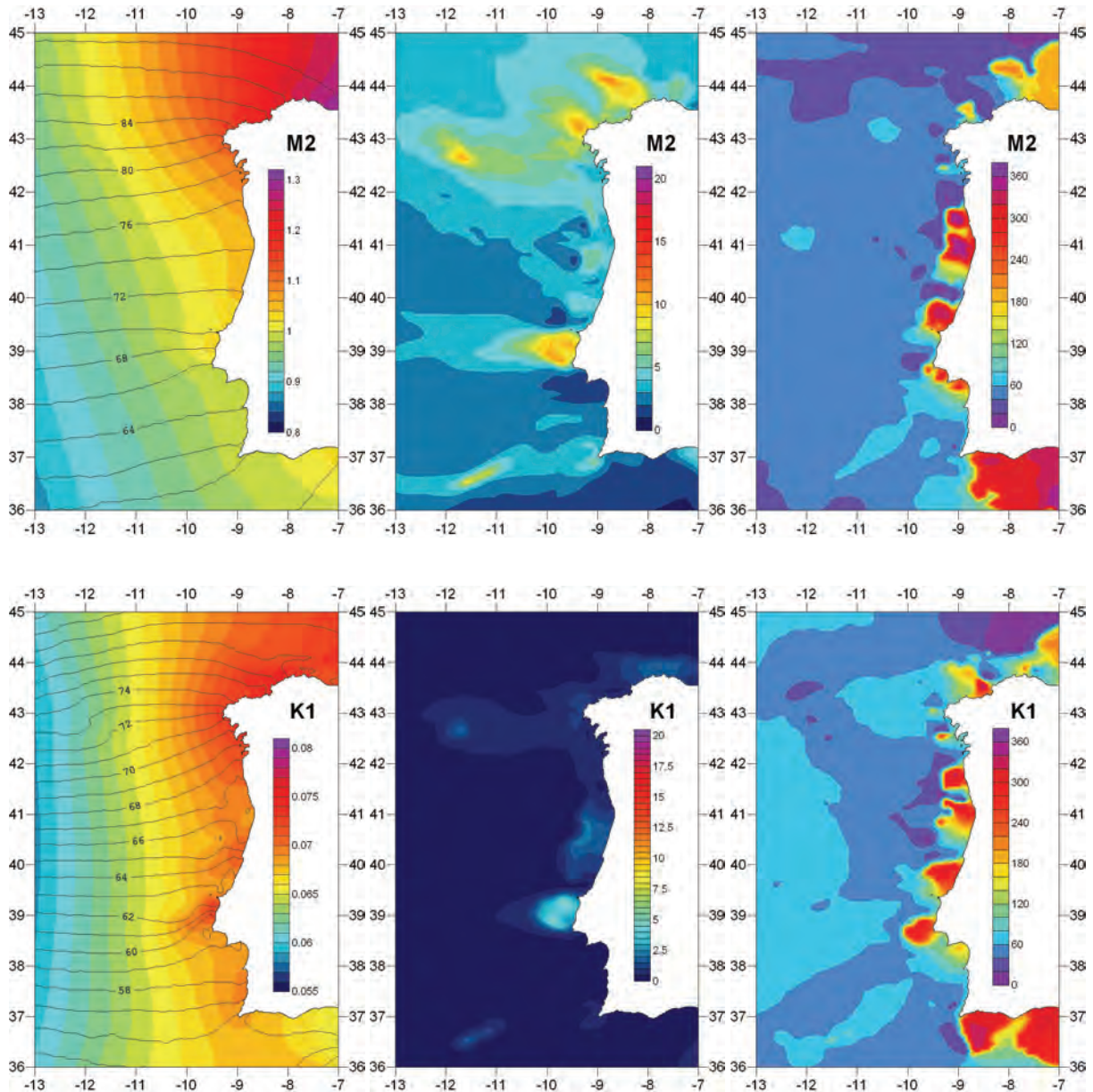


Fig.2 M2 (semi-diurnal) and K1 (diurnal) sea-surface height and velocity structure: A) Colormap shows the wave amplitude (m) and contour lines the Greenwich phase lag (degrees); B) celerity (cm/s) and C) the Greenwich phase lag (degrees).

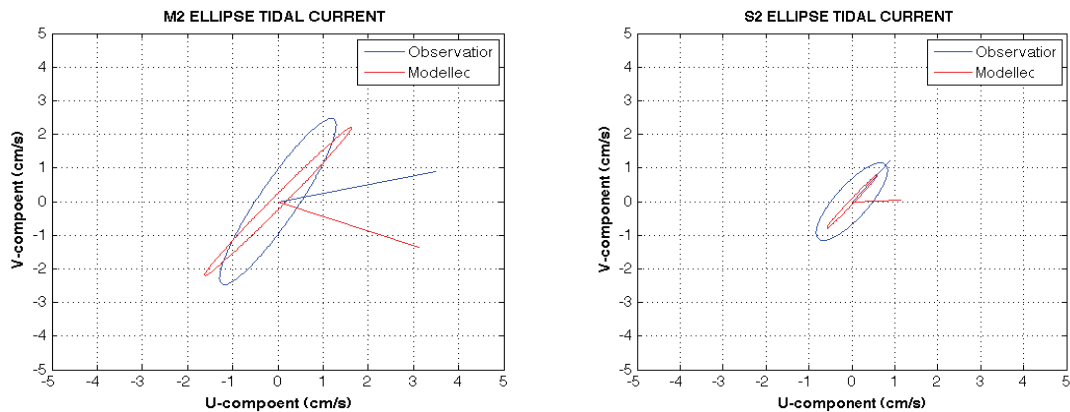


Fig.3 M2 and S2 tidal current ellipse model validation by ADCP record (SIRIA99 IH project). Axis represent the phase (°)

5. DISCUSSION

HYCOM was successfully adapted as a barotropic tidal hydrodynamic regional model. The new TPXO 7.2 seems to be a good global source for the tidal constituents solutions forced at the outer boundaries, even if M2, S2 and N2 evidence more accurate solution with MOG2D. Both tide sea-level and velocity was validated with *insitu data* at different grid points, along the study domain. Future work focuses the ensemble of other important tidal constituents (2N2, NU2, MU2, L2, T2) in order to perform a coherent characterization of the tidal circulation over the Iberian domain. Finally, as a hydrographic application, this model can be used for SSH tidal reductions of survey soundings and to filter barotropic tidal currents from oceanographic current profile records.

6. ACKNOWLEDGEMENTS

The present work is developed in the aim of Luis Quesada PhD work, taking place at SHOM (French *Service Hydrographique et Océanographique de la Marine*), followed by UBO (French *Université de Bretagne Occidentale*) and HIDROGRÁFICO (Portuguese *Instituto Hidrográfico*) and co-supported by FCT (Portuguese *Fundação para a Ciência e Tecnologia*).

REFERENCES

- Egbert, G., Bennett, A., Foreman, M., 1994. TOPEX/ POSEIDON tides estimated using a global inverse model. *Journal of Geophysical Research* 99, 24821–24852.
- Fanjul, E., Gómez, B., Sánchez-Arévalo, I., 1997. A description of the tides in the Eastern North Atlantic. *Progress in Oceanography*, 40, 217-244.
- Fortunato, A., Pinto, L., Oliveira, A., Ferreira, J., 2002. Tidally generated shelf waves off the western Iberian coast. *Continental Shelf Research*, 22, 1935-1950.
- Lynch D.R., Gray W.G., 1979. A wave equation model for finite element tidal computation, *Computers and Fluids*, 7-868, 7-228.
- Marta-Almeida, M., Dubert, J., 2006. The structure of tides in the western Iberian region. *Continental Shelf Research* 26, 385–400.
- Pawlowicz, R., Beardsley, B., Lentz, S., 2002. Classic tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE. *Computers and Geosciences* 28, 929–937.
- Sauvaget, P., David, E., Guedes Soares, C., 2000. Modelling tidal currents on the coast of Portugal. *Coastal Engineering*, 40, 393-409.

Harmonics name	period (hours)	Tide gauge			Model				Model Accuracy						
		amplitude (cm)	error (cm)	phase (°)	error (°)	amplitude (cm)	error (cm)	phase (°)	error (°)	amplitude (cm)	phase (°)	cum. (cm)	cum. (°)		
SAINT JEAN-DE LUZ															
Q1	26,867	2,27	0,11	267,27	2,99	2,07	0,00	266,76	0,05	-0,20	-8,70	0,12	-0,51	-2,28	3,04
O1	25,820	7,02	0,11	318,97	0,95	6,16	0,00	321,29	0,02	-0,86	-12,29	0,11	2,32	9,98	0,97
P1	24,067	1,93	0,12	54,84	2,78	2,20	0,00	72,66	0,06	0,27	13,92	0,12	17,82	71,48	2,84
K1	23,935	6,19	0,11	69,49	1,13	7,42	0,00	78,43	0,01	1,23	19,89	0,11	8,94	35,66	1,14
N2	12,658	28,12	0,36	73,31	0,76	29,28	0,00	70,93	0,01	1,16	4,13	0,36	-2,38	-5,02	0,77
M2	12,421	132,04	0,41	94,03	0,17	138,70	0,00	91,65	0,00	6,67	5,05	0,41	-2,38	-4,93	0,17
S2	12,000	45,96	0,43	126,34	0,51	46,90	0,00	121,53	0,00	0,93	2,03	0,43	-4,81	-9,62	0,51
K2	11,967	12,88	0,47	126,14	2,27	13,74	0,00	118,47	0,01	0,86	6,69	0,47	-7,67	-15,30	2,28
CASCAIS															
Q1	26,867	2,06	0,06	262,30	1,71	1,85	0,00	257,56	0,05	-0,21	-10,25	0,06	-4,74	-21,23	1,76
O1	25,820	5,93	0,06	314,84	0,61	5,82	0,00	312,84	0,02	-0,10	-1,75	0,07	-2,00	-8,61	0,63
P1	24,067	2,16	0,08	44,03	2,07	1,98	0,00	54,19	0,06	-0,19	-8,62	0,08	10,16	40,75	2,13
K1	23,935	6,93	0,06	54,13	0,51	6,79	0,00	59,72	0,02	-0,14	-1,99	0,06	5,59	22,30	0,53
N2	12,658	21,20	0,13	46,95	0,34	21,28	0,00	47,44	0,01	0,08	0,36	0,13	0,49	1,03	0,35
M2	12,421	99,18	0,14	64,11	0,08	99,02	0,00	65,81	0,00	-0,16	-0,16	0,14	1,70	3,52	0,08
S2	12,000	34,91	0,13	90,71	0,22	34,18	0,00	91,99	0,00	-0,72	-2,07	0,14	1,28	2,56	0,22
K2	11,967	9,73	0,10	86,90	0,54	9,69	0,00	90,66	0,01	-0,04	-0,43	0,10	3,76	7,50	0,55
CASABLANCA															
Q1	26,867	1,70	0,28	253,43	9,03	1,84	0,00	254,28	0,05	0,14	8,25	0,29	0,85	3,81	9,08
O1	25,820	5,83	0,33	309,93	2,55	5,96	0,00	311,07	0,02	0,13	2,25	0,33	1,14	4,91	2,57
P1	24,067	2,04	0,23	38,72	7,24	2,12	0,00	48,31	0,05	0,07	3,58	0,23	9,59	38,47	7,29
K1	23,935	6,76	0,26	48,15	2,16	7,18	0,00	53,82	0,01	0,41	6,11	0,26	5,67	22,62	2,17
N2	12,658	20,86	1,11	37,92	3,24	21,60	0,00	39,21	0,00	0,74	3,56	1,11	1,29	2,72	3,24
M2	12,421	98,99	1,08	55,86	0,73	100,76	0,00	56,78	0,00	1,77	1,79	1,08	0,92	1,90	0,73
S2	12,000	35,39	1,27	80,84	1,94	35,42	0,00	82,21	0,00	0,02	0,06	1,27	1,37	2,74	1,94
K2	11,967	9,75	1,67	76,52	9,14	9,84	0,00	81,28	0,01	0,09	0,88	1,67	4,76	9,49	9,15

Table.1 Model accuracy determined by amplitude (cm) and phase (°) difference between *insitu* observations and model outputs. Classical harmonic analysis is performed to 3 tide-gauges (see Fig.1). Errors are function of record/output noise-level, giving confidence intervals for constituent's estimations. Shadows show less accurate perditions

Previsão da agitação marítima em situações de temporal à entrada do estuário do Tejo

L. Rusu, M. Bernardino, P. Pilar e C. Guedes Soares

Centro de Engenharia e Tecnologia Naval (CENTEC), Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal

lrusu@mar.ist.utl.pt, mariana.bernardino@mar.ist.utl.pt, pilar@mar.ist.utl.pt, guedess@mar.ist.utl.pt

Resumo: O objectivo do presente trabalho é avaliar o desempenho em situações de temporal do sistema de previsão da agitação marítima que se encontra operacional no Centro de Engenharia e Tecnologia Naval (CENTEC). O sistema está baseado em modelos de agitação marítima, WAM (Wave Analyses Model) para a área de geração e SWAN (Simulating WAVes Nearshore) para a área de transformação, junto à costa, forçados pelos modelos atmosféricos, GFS (Global Forecast System) e respectivamente MM5 (Mesoscale Meteorological Model). As previsões são atualizadas diariamente para 4 dias, com uma resolução temporal de 6 horas. A avaliação dos resultados do sistema de previsão foi realizada através da comparação das previsões dos parâmetros de ondas com medições realizadas pela bóia ondógrafo posicionada à entrada do estuário do Tejo, dados que são disponibilizados na Internet pela Administração do Porto de Lisboa.

Palavras-chave: modelos numéricos, previsão, estuário do Tejo, Porto de Lisboa

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento das condições de agitação marítima ao longo da costa Portuguesa é um assunto que tem tido importância crescente nos últimos anos devido ao aumento das actividades marítimas. A caracterização destas condições é realizada em tempo real por bóias ondógrafos colocadas em pontos estratégicos da costa, geralmente junto a portos. Os dados recolhidos servem objectivos imediatos relacionados com a actividade portuária e marítima, e para validar ou calibrar as simulações realizadas utilizando modelos numéricos.

Para o planeamento das actividades portuárias é preciso de conhecer o estado de mar com alguns dias de avanço, surgindo deste modo a necessidade de implementar sistemas de previsão baseados em modelos numéricos. Adicionalmente, estes sistemas permitem conhecer as condições de mar em qualquer ponto de uma dada área, fornecendo assim uma cobertura geográfica bem mais ampla que as bóias.

O aperfeiçoamento dos modelos numéricos e o desenvolvimento da capacidade de cálculo veio tornar viável a utilização mais generalizada dos modelos numéricos de previsão até junto à costa, visto que a maioria das actividades marítimas são desenvolvidas nas áreas costeiras.

Um sistema operacional que tem como objectivo final fornecer previsões de alta resolução nas áreas portuárias foi implementado no Centro de Engenharia e Tecnologia Naval (CENTEC) no âmbito do projecto MARPORT que terminou em Outubro de 2008. Na fase inicial, o sistema foi instalado para as áreas centradas dos portos de Sines e Leixões (Bernardino *et al.* 2009) e presentemente

está a ser desenvolvido de modo a incluir novas áreas de interesse.

Neste trabalho é avaliado o desempenho do sistema de previsão implementado à entrada do estuário do Tejo, com ênfase em situações de temporal, uma vez que são estas as condições de agitação marítima em que existe maior interesse em obter previsões de melhor qualidade.

Um melhor conhecimento do clima de agitação marítima nesta área tem ainda um valor acrescentado pelo facto de ela representar a principal ligação do Porto de Lisboa ao oceano Atlântico.

2. OS MODELOS DO SISTEMA DE PREVISÃO

2.1 Modelo atmosférico

A previsão meteorológica à escala local é realizada com o modelo MM5 (Mesoscale Meteorological Model) o qual é um modelo de terceira geração, de área limitada, não hidrostático, com um sistema de coordenadas sigma, adequado para simular ou prever a circulação atmosférica de mesoescala e microescala (Dudhia *et al.* 2000; Grell *et al.* 1994). No modelo podem ser utilizadas múltiplas grelhas aninhadas (a relação entre as resoluções espaciais das grelhas deverá ser sempre de 3:1), que correm simultaneamente com uma interacção em dois sentidos.

A implementação do modelo MM5 na área do estuário do Tejo já foi validada no estudo de Rusu *et al.* (2009) quando foram utilizadas 4 níveis de grelhas. No seguimento das conclusões deste estudo relativamente ao facto que as simulações em grelha mais fina (de resolução 1.37 km) não produzem resultados necessariamente de melhor qualidade, na presente implementação foram utilizadas apenas três

grelhas, a mais fina tendo uma resolução espacial de 4.1 km. A grelha mais larga possui uma resolução de 38 km e faz a interface entre o modelo global e o regional. A resolução temporal dos campos de vento produzidos pelo MM5 é de 6 horas.

2.2 Modelos de ondas

A metodologia adoptada consiste em utilizar os resultados obtidos pelo modelo WAM (WAMDI Group, 1988) em águas profundas como condições de fronteira para o modelo SWAN (Booij *et al.* 1999) que é aplicado para a determinação das condições junto à costa.

O modelo WAM utilizado é uma versão do WAM ciclo 4, modificado por Gómez e Carretero (1997), de modo a ser possível utilizar grelhas encaixadas nas duas direcções (ou seja, *two-way nesting*), integrando a equação básica de transporte no mesmo passo de tempo para todos os pontos, e definindo o espaçamento de modo a depender da localização do ponto na malha. A implementação e validação do modelo WAM na Costa Portuguesa foram realizadas por Pilar *et al.* (2008), as definições do modelo WAM sendo apresentadas na Tabela I.

Tabela I. Definições do modelo WAM.

Grelhas	Larga 1	Larga 2	Média
Resolução Δx (°)	2°	1°	0.5°
Resolução Δy (°)	2°	1°	0.5°
No. de pts em x	43	55	67
No. de pts em y	29	49	73
Vento	Campos de vento GFS/NCEP com resolução 1°x1° e a cada 6h		
Gelo	Campos de gelo GFS/NCEP com resolução 1°x1° e a cada 6h		
Δt (s)	300		
n° freq	25		
n° dir	24		

O acoplamento entre o modelo de geração WAM e o modelo de transformação SWAN realiza-se numa área que alcança toda a parte Oeste da Península Ibérica. Na última grelha do modelo WAM geraram-se condições de fronteira para o modelo SWAN com uma resolução temporal de uma hora e com intervalos de 0.5°. O sistema foi aplicado e validado ao longo de toda costa de Portugal Continental, demonstrando uma boa qualidade das simulações, quer na zona Norte de Portugal, quer na zona Centro e Sul de Portugal (Rusu *et al.* 2008).

Para obter uma representação real dos efeitos da batimetria sobre as características das ondas que se propagam nas áreas costeiras, o modelo SWAN foi implementado em três níveis de grelhas encaixadas sendo as características apresentadas na Tabela 2, bem com as parametrizações da implementação do modelo. As várias áreas de aplicação do modelo SWAN estão representadas na Figura 1.

Tabela II - Parametrização do modelo SWAN

Grelha	Larga	Média	Fina
Resolução Δx (°)	0.05°	0.02°	0.002°
Resolução Δy (°)	0.1°	0.02°	0.002°
No. de pontos em x	101	125	181
No. de pontos em y	101	91	91
Batimetria	Resolução igual à grelha computacional		
Condições de fronteira	WAM	SWAN larga	SWAN média
Forçamento	Vento aos 10m produzidos pelo modelo MM5		
Modo computacional	Não estacionário		
Discretização temporal	20 min		
Esquemas numéricos	S&L	BSBT	BSBT
Geração das ondas	Formulação Janssen - coeficiente de crescimento activado		
Fricção de fundo	Formulação JONSWAP		

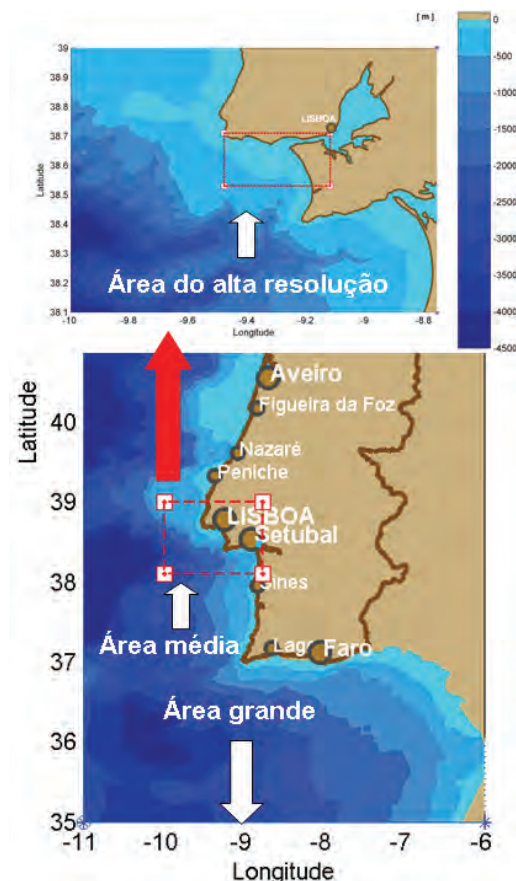


Figura 1 – As áreas de aplicação do modelo SWAN

3. AVALIAÇÃO DAS PREVISÕES DE AGITAÇÃO MARÍTIMA

O sistema de previsão da agitação marítima está a fornecer diariamente informação sobre o campo da agitação marítima (altura significativa e direcção média) na costa Portuguesa, com uma resolução

temporal de 6 horas. Além disso, fornece também séries temporais das previsões a 4 dias dos parâmetros das ondas.

Visto que as previsões diárias têm um alcance de 4 dias, a avaliação dos resultados será realizada para cada dia de previsão, obtendo assim uma visão da qualidade das previsões em função da distância temporal. O esquema ilustrativo da relação existente entre os resultados das previsões e das medições é apresentado na Figura 2.

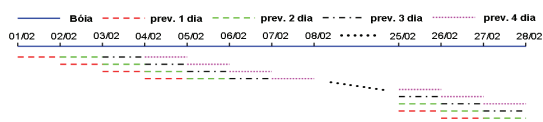


Figura 2 – Esquema ilustrativo da relação existente entre as previsões e observações

Para avaliar os resultados das previsões de agitação marítima na entrada do estuário do Tejo foram comparadas as séries temporais das previsões dos parâmetros das ondas, com os dados de agitação marítima medidos pela bóia de Lisboa e disponibilizados através do site do Porto de Lisboa. Foi considerado o intervalo desde 4 até 28 de Fevereiro de 2010, pois neste período ocorreram várias situações de temporal com alturas significativas acima de 4.5 m, e valor médio de 2.90 m. Uma vez que as medições são horárias (com algumas falhas em situações em que não foi possível recolher os dados), também as séries temporais das previsões realizadas na área de alta resolução foram amostradas com a mesma frequência temporal.

Através da comparação directa das series temporais de altura significativa medida e simulada, representada na Figura 3, observa-se que em geral as previsões acompanham bem as observações. Nota-se que pontualmente surgem algumas diferenças mais elevadas no caso das previsões a 3 e 4 dias.

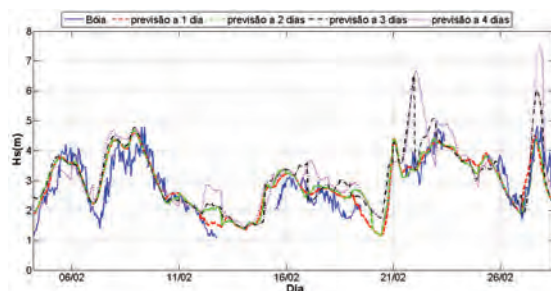


Figura 3 – Comparação das series temporais de altura significativa medida e simulada em Fevereiro de 2010.

A análise qualitativa dos resultados foi realizada através do cálculo de alguns parâmetros estatísticos como o viés (*Bias*), o erro quadrático médio (*RMSE*), o índice da dispersão (*SI*) e o coeficiente da correlação (*r*), calculados com as formulas standard para a altura significativa (*Hs*), para o período médio

(*Tm*) e a direcção média (*Dir*) sendo os resultados apresentados na Tabela III.

Tabela III. Resultados estatísticos.

n=409	Bias	RMSE	SI	r	previsão
<i>Hs</i> (m)	-0.144	0.476	0.164	0.854	1 dia
	-0.166	0.518	0.178	0.826	2 dias
	-0.345	0.726	0.250	0.758	3 dias
	-0.489	0.976	0.336	0.669	4 dias
<i>Tm</i> (s)	-0.672	1.525	0.189	0.755	1 dia
	-0.801	1.544	0.192	0.779	2 dias
	-0.716	1.781	0.221	0.644	3 dias
	-0.977	1.889	0.234	0.670	4 dias
<i>Dir</i> (°)	2.538	10.750	0.042	0.861	1 dia
	3.245	10.681	0.041	0.866	2 dias
	3.340	14.208	0.055	0.739	3 dias
	3.109	18.359	0.071	0.543	4 dias

Observa-se que o viés calculado para *Hs* e *Tm* tem valores negativos, o que indica que o modelo tem tendência de sobrestimar estes parâmetros de onda. Os valores dos parâmetros estatísticos indicam que a qualidade dos resultados da previsão diminui à medida que aumenta a distância temporal à data em que foi feita a previsão.

Observa-se que no caso da altura significativa e da direcção média existe uma melhor correlação entre as observações e simulações, em comparação com os resultados obtidos para o período médio. Isso pode ser explicado pelo facto que as simulações terem sido realizadas sem considerar os correntes de maré, que na entrada do estuário do Tejo possuem valores bastante elevados. Nesta situação os parâmetros de ondas são sujeitos as modificações devido às interacções entre ondas e correntes, o mais afectado sendo o período médio (Wolf e Prandle, 1999; Rusu e Guedes Soares, 2007).

Da análise dos campos de altura significativa e direcção média das ondas da área que alcança toda a Península Ibérica destacou-se o facto de em todas as situações de temporal que ocorreram no período analisado, a direcção da ondulação foi de Oeste ou Sudoeste. Devido à posição geográfica, a entrada do estuário encontra-se mais exposta aos estados do mar provenientes destas direcções, sendo abrigada dos estados do mar provenientes de Noroeste que são dominantes na costa oeste de Portugal (Costa *et al.* 2001).

A distribuição espacial da ondulação para o dia 27 de Fevereiro às 12h, quando ocorreu uma situação de temporal, está representada na Figura 4. Verifica-se ondulação de Sudoeste com valores acima de 6 m ao largo da costa portuguesa, o máximo da altura significativa atinge 6.72 m. Os estados do mar são uma combinação de ondulação e vagas geradas pelo vento forte que atingem uma magnitude de 18.7 m/s. A Figura 5 mostra os campos de altura significativa simulados na área de alta resolução.

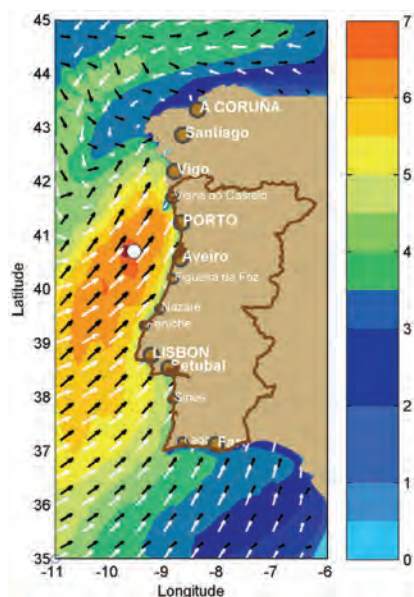


Figura 4 – Campos de altura significativa e direcção média (setas pretas) e direcção do vento (setas brancas) previstos para 2010/02/27-12h.

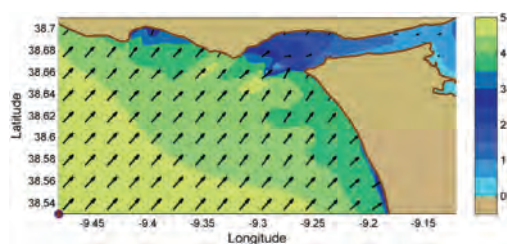


Figura 5 – Área de alta resolução, campos de altura significativa e direcção média previstos para 2010/02/27-12h.

4. CONCLUSÕES

O sistema de previsão da agitação marítima do CENTEC foi implementado numa nova área que abrange a entrada do estuário do Tejo, mostrando um bom desempenho em situações de temporal.

Foram realizadas comparações das séries temporais de previsões a diferentes alcances com os dados medidos por uma bóia direccional. Tanto a comparação directa como os resultados estatísticos mostram que o sistema fornece previsões fidedignas, com uma degradação razoável da qualidade à medida que as previsões são mais afastadas.

Agradecimentos

O presente trabalho foi feito no âmbito do projecto NEARPORT (Desenvolvimento de um sistema operacional de previsão em tempo real da agitação marítima para os portos portugueses) que é financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (PTDC/ECM/64373/2006).

A primeira e terceira autora foram financiadas pela Fundação para a Ciência e Tecnologia através de bolsas de pós doutoramento (SFRH/BPD/65553

/2009) e de doutoramento (SFRH/BD/48313/2008), respectivamente.

REFERÊNCIAS

- Bernardino, M., Rusu, L., Silva, D., Bento, A., Pilar, P., e Guedes Soares, C. (2009). Avaliação do desempenho do sistema de previsão da agitação marítima implementado para os portos de Sines e Leixões. *6ª Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, Funchal, 19p.
- Booij, N., Ris, R.C., e Holthuijsen, L.H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions, 1, Model description and validation. *J. Geophys. Res.*, 104, 7649–7666.
- Costa, M., Silva, R., e Vitorino, J. (2001). Contribuição para o estudo do clima de agitação marítima na costa portuguesa, *2ª Jornadas de Engenharia Costeira e Portuária*, Sines, 20 p.
- Dudhia, J., Gill, D., Kuo, Y.R., Bourgeois, A., Wang, W., Bruyere, C., Wilson, J., e Kelly, S. (2000). PSU/NCAR Mesoscale Modeling System. MM5 Modeling System Version 3. NCAR Tech. Notes.
- Grell, G.A., Dudhia, J., e Stauffer, D.R. (1994). A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale modelling system (MM5). Tech. Note NCAR/TN-398+STR, NCAR.
- Gómez Lahoz, M., e Carretero Albiach, J. C. (1997). A Two-Way Nesting Procedure for the WAM Model: Application to the Spanish Coast. *J. Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 119, 20-24.
- Pilar, P., Guedes Soares, C., e Carretero, J.C. (2008). 44-year wave hindcast for the North East Atlantic European coast. *Coastal Engineering*, 55(11), 861-71.
- Rusu, L., e Guedes Soares, C. (2007). Modelling of the wave-current interactions in the Tagus Estuary. *Maritime Industry, Ocean Engineering and Coastal Resources*, C. Guedes Soares and P Kolev (eds), Francis & Taylor London, 801-810.
- Rusu, L., Pilar, P., e Guedes Soares, C. (2008). Hindcast of the wave conditions along the west Iberian coast. *Coastal Engineering*, 55(11), 906-919.
- Rusu, L., Bernardino, M., e Guedes Soares, C. (2009). Influence of Wind Resolution on the Prediction of Waves Generated in an Estuary. *Journal of Coastal Research*, SI 56, 1419- 1423.
- WAMDI Group. (1988). The WAM Model - A Third Generation Ocean Wave Prediction Model, *J. Phys. Oceanogr.*, 18, 1775-1810.
- Wolf, J., e Prandle, D. (1999). Some observations of wave-current interaction. *Coastal Engineering*, 37, 471-485.

Sistema de previsão em tempo real para a circulação estuarina e costeira

A. Oliveira (1), A.B. Fortunato (1), A.M. Baptista (2), P. Turner (2), G. Jesus (1), M. Rodrigues (1), N.A. Ribeiro (1), A. Mendes (1), J.P. Fernandes (1), A. Azevedo (1), N. Bruneau (1), G. Dodet (1)

(1) Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa. aoliveira@lneec.pt

(2) Center for Coastal Margin Observation & Prediction (CMOP), Oregon Health & Science University, 20000 NW Walker Road, Beaverton, OR 97006, U.S.A.

Resumo: A simulação e a previsão da dinâmica das zonas costeiras são essenciais para avaliar os impactos das acções antropogénicas nestas áreas e apoiar a sua gestão sustentável. Os sistemas de previsão em tempo real, que fazem previsões a escalas de tempo curtas através da integração de modelos numéricos e de dados, são ferramentas de grande valia para estes objectivos. O LNEC e o Center for Coastal Margin Observation & Prediction (CMOP, E.U.A.) desenvolveram um sistema de previsão em tempo real aplicável em toda a costa portuguesa, baseado no sistema genérico do CMOP e no desenvolvimento conjunto de modelos matemáticos de elevada performance e resolução espacial optimizada. Esta comunicação apresenta os resultados desta investigação, aplicada à Ria de Aveiro, e as perspectivas de aplicação futura nas áreas da qualidade da água e ecologia estuarina.

Palavras chave: oceanografia operacional, circulação estuarina e costeira, modelos matemáticos, poluição

1. INTRODUÇÃO

A simulação e a previsão da dinâmica de estuários e zonas costeiras são essenciais para avaliar os impactos sociais, ecológicos e económicos das acções antropogénicas e das alterações climáticas, e para apoiar a gestão sustentada destas zonas. A pressão crescente sobre os gestores da zona costeira, criada por várias directivas europeias (Directiva Quadro da Água, Convenção de Oskar, Directiva da Estratégia Marinha), tem fomentado o desenvolvimento de sistemas de previsão em tempo real. Estes sistemas fazem previsões a escalas de tempo curtas, através da integração de modelos e dados de campo.

O LNEC e o CMOP desenvolveram um sistema de previsão em tempo real aplicável a toda a costa Portuguesa – RDFS, *Rapid Deployment Forecast System* – baseado no sistema genérico de Baptista (2006) e que integra os modelos hidrodinâmicos *open-source* SELFE e ELCIRC, www.stccmop.org/knowledge_transfer/software. A Ria de Aveiro foi escolhida para a implementação do sistema devido aos seus problemas ambientais, à sua importância económica e ao potencial conflito entre os seus usos. As cargas poluentes agrícolas e industriais são elevadas, e a sua acumulação na laguna é agravada pelos elevados tempos de residência. Consequências incluem *blooms* de algas tóxicas, eutrofização e a degradação de habitats costeiros. O desenvolvimento de um RDFS focado nos riscos de poluição fornecerá informação precisa e

actualizada a gestores e cientistas, melhorando assim a compreensão e a gestão da Ria de Aveiro, em particular para a gestão de acidentes. Este artigo descreve a arquitectura do sistema e o sistema de modelos integrado, a aplicação à Ria de Aveiro e perspectivas futuras.

2. SISTEMA DE PREVISÃO EM TEMPO REAL

2.1 Aspectos tecnológicos

Os componentes do RDFS são integrados usando várias tecnologias, como o Perl. A estrutura do RDFS é constituída por um conjunto de *scripts* que são replicados para cada aplicação. Estes *scripts* preparam e lançam as previsões, interagindo com um servidor de base de dados *PostgreSQL* para obter a informação específica da previsão, assim como informação sobre fontes de dados para condições de fronteira. Os *scripts* principais são executados a partir do *crontab* (Fig. 1), dado tratar-se de um processo diário.

A preparação do processo consiste na criação do ambiente: usando informação da base de dados alteram-se os parâmetros iniciais da simulação, os quais são guardados para simulações futuras. O lançamento das simulações envolve a execução dos modelos, o que pode ocorrer num *cluster* ou no servidor do RDFS.

Depois, outro conjunto de *scripts* em *Perl* processa os resultados, compara-os com dados e gera produtos através de *software* de visualização como o *VisTrails* ou a biblioteca *matplotlib*. O utilizador pode visualizar estes produtos e interagir com os resultados através da interface

do RDFS (Fig. 2a). Esta interface é uma aplicação do Drupal, um sistema de gestão de conteúdos em PHP para aceder a meta-dados e produtos.

A interface do RDFS também suporta o *UNM Mapserver* para SIG e o *OpenGIS Web Mapping Service* para visualizar os resultados dos modelos. A integração destas ferramentas permite a geração de produtos (animações) e a possibilidade de fazer procuras nos resultados. A interface está também ligada ao servidor da base de dados e ao módulo *PostGIS*, o que permite aceder à componente espacial da informação.

A actual arquitectura física do RDFS é definida por vários servidores Linux, agrupados em torno de um servidor central de ficheiros. Este servidor garante o arquivo dos resultados dos modelos, e o acesso aos resultados e às ferramentas para gerir as previsões.

2.2 Sistema de modelos

O RDFS integra actualmente dois modelos hidrodinâmicos tridimensionais baroclínicos para

aplicação a problemas desde o rio até ao oceano profundo. Estes modelos são baseados em malhas não estruturadas, permitindo a representação adequada de linhas de costa complexas e refinamentos localizados.

O modelo ELCIRC é parte do sistema de modelos MORSYS2D (Fortunato *et al.*, 2010), no qual está acoplado ao modelo de agitação marítima SWAN, permitindo assim simular a circulação devida às ondas e as marés.

O modelo SELFE constitui o *core* hidrodinâmico de um sistema de modelos ecológico (Rodrigues *et al.*, 2009), de derrames de hidrocarbonetos (Azevedo *et al.*, 2009) e de morfodinâmica. Este sistema foi já aplicado a vários locais da costa Portuguesa (Plataforma Ibérica Atlântica, estuários do Tejo e do Guadiana, Ria de Aveiro e Ria Formosa, lagoas de Óbidos, de Santo André e de Albufeira e Ribeira de Aljezur).

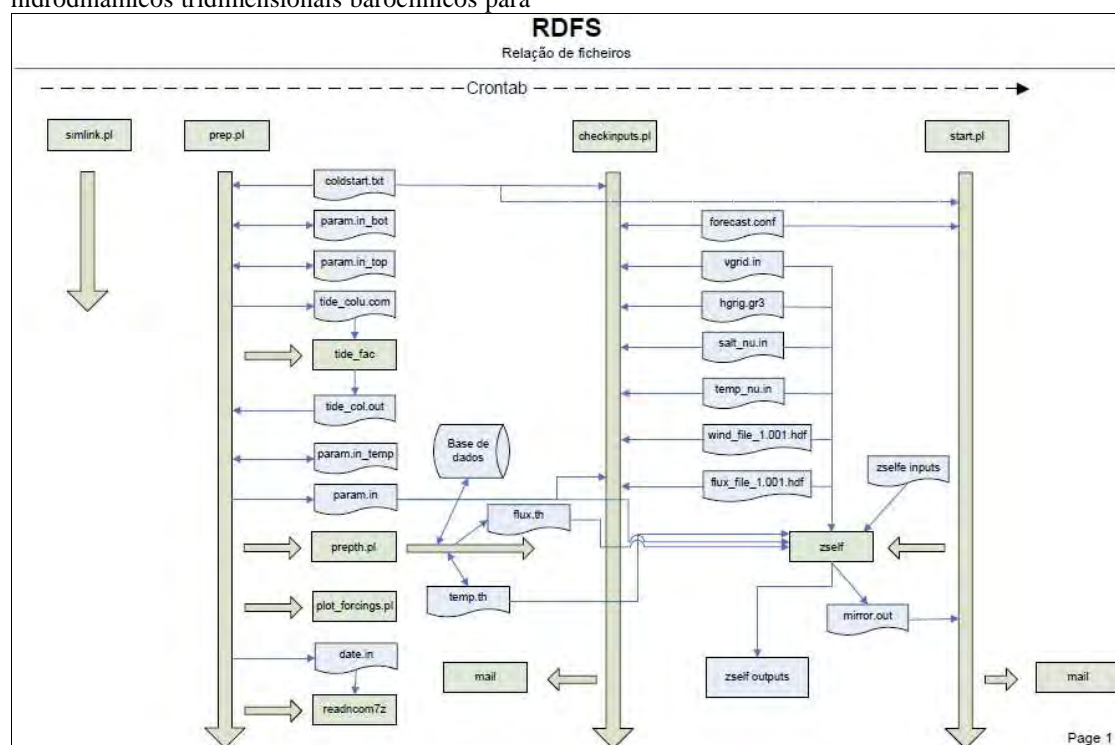


Fig. 1. Esquema de funcionamento do sistema de previsão em tempo real (RDFS).

2.3 Aspectos operacionais

Nas aplicações à costa portuguesa, o RDFS pode ser forçado pelo modelo regional de maré de Fortunato *et al.* (2002) e pelos caudais fluviais provenientes do SNIRH. Quando as estações automáticas do SNIRH estão indisponíveis, as simulações são forçadas por resultados de análise climatológica para os caudais e para as temperaturas dos cursos fluviais. A condição de fronteira oceânica de

temperatura pode também ser obtida por climatologia ou através de extrapolação das medições das bóias do Instituto Hidrográfico. Para cada aplicação específica são escolhidas as melhores fontes de informação. As simulações são executadas automaticamente, para o próprio dia e para o seguinte, sendo a geração de produtos pré-definidos também automática. Estes produtos são usados para alimentar a interface referida anteriormente.

3. APLICAÇÃO À RIA DE AVEIRO

3.1 Set-up da aplicação

O sistema RDFS tem estado a ser aplicado à Ria de Aveiro desde 2007, tendo vindo a sofrer melhorias progressivas a nível dos processos físicos e da discretização espacial. Esta aplicação compreendeu duas fases: na 1ª fase (2007) foram simuladas marés barotrópicas utilizando o modelo ELCIRC em modo bidimensional, com uma malha de 19000 nós; na 2ª fase (2008-2010) foi aplicado o modelo SELFE (Fig. 2a) com 7 níveis verticais e a mesma malha horizontal. Na aplicação mais recente, as simulações são também forçadas por maré e gradientes de densidade (Fig. 2b), sendo os caudais fluviais estimados nas várias fronteiras com base em dados do SNIRH.



a)

Fig. 2. Sistema RDFS para a Ria de Aveiro: a) Aplicação barotrópica 3D, b) Aplicação baroclínica 3D.

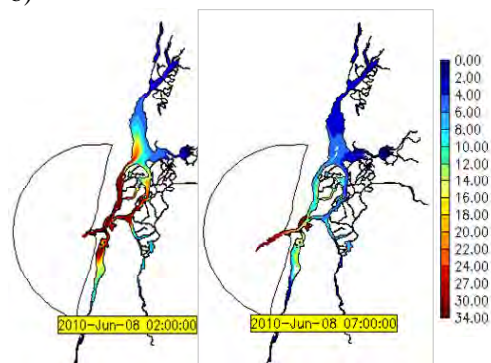
4. PERSPECTIVAS FUTURAS

Está em curso a integração de um modelo regional de agitação marítima e das previsões de circulação resultantes do acoplamento entre ondas e correntes no RDFS, com base na aplicação do WW3 descrita em Dodet *et al.* (2010) e no sistema de modelos MORSYS2D (Fig. 4). Para além destas melhorias, a expansão dos actuais sistemas de previsão em tempo real para problemas de qualidade da água é parte essencial de sistemas de alerta precoce para acidentes de poluição na costa Portuguesa. Esta evolução dos RDFS é limitada por três tipos de factores: 1) recursos computacionais necessários para a aplicação de modelos de qualidade da água; 2) disponibilidade de dados em tempo real de quantidades relevantes para a validação destes modelos e 3) conhecimento adequado dos processos físicos, químicos e biológicos e suas interações. O LNEC, em estreita colaboração com vários parceiros, está a desenvolver um conjunto de modelos detalhados e avançados para vários problemas de qualidade da água (derrames de petróleo – Azevedo *et al.*, 2009, contaminação fecal e eutrofização – Rodrigues

4.1 Validação da aplicação do RDFS

Dada a ausência de dados em tempo real para o sistema de estudo, foi realizada uma campanha de campo para validação desta aplicação. Nos dias 28 e 29 de Janeiro de 2010, foram medidos níveis em quatro locais ao longo do braço de Mira (Navio-museu, Barco e pontes da Vagueira e do Areão) durante 24 horas. Na véspera da campanha, as previsões para estes locais foram processadas a partir do RDFS, tendo sido parte da informação disponível ao longo da campanha. A comparação entre as previsões e as medições mostrou-se aceitável, mas com um atraso da maré crescente para montante (Fig 3b-c). A disponibilidade posterior de uma batimetria actualizada (2008) mostrou que este erro se devia à desactualização da batimetria de 1987/88 usada no RDFS (Fig 3d).

b)



et al., 2010), que serão incorporados no RDFS no futuro. Estes modelos, que são baseados no SELFE - modelo hidrodinâmico preciso e eficiente para aplicações multi-escala - tratam as interações entre processos por acoplamento forte entre módulos, e tiram partido de recursos de elevada performance existentes no LNEC através de paradigmas de paralelização (Costa *et al.*, 2009), permitindo produzir previsões em tempo útil para muitos problemas.

A integração dos RDFS com dados *online* de satélites (e.g., os futuros satélites da família Sentinel, que substituirão o ENVISAT em 2011), com dados de campo de novos e sofisticados sensores - *Saturn Observation Network*, www.stccmop.org/datamart/observatio_n_network - é a via mais atractiva para validar as previsões de qualidade da água. Tirando partido da integração preliminar entre os resultados de modelos e o tratamento semi-automático de imagens SAR, Azevedo (2010), o LNEC irá, em parceria com várias instituições, investigar o acoplamento entre o RDFS e estas ferramentas, visando desenvolver um protótipo de um sistema de alerta precoce para derrames de hidrocarbonetos na costa portuguesa.

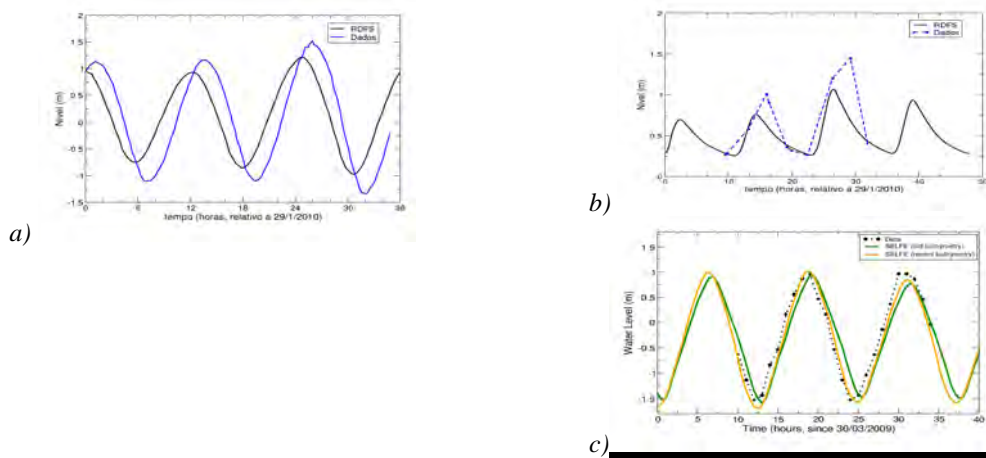


Fig. 3. Validação do RDFS. a) comparação dados-previsão na estação do Navio-Museu; b) comparação dados-previsão na estação da ponte do Areão; c) comparação de níveis utilizando a batimetria de 1987-88 e a batimetria de 2008 no Barco (fundeado junto à Costa Nova).

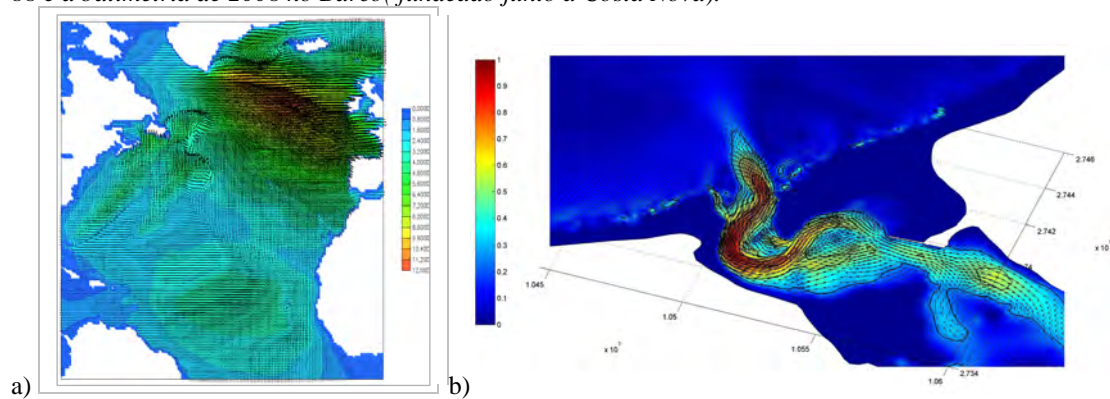


Fig. 4. a) Simulação de tempestade no Atlântico Norte usando o modelo regional WW3; b) acoplamento do modelo de agitação SWAN e do modelo hidrodinâmico ELCIRC na embocadura da Lagoa de Óbidos.

Agradecimentos

Este trabalho foi co-financiado pela FCT, projecto G-Cast (GRID/GRI/81733/2006) e pela FLAD, projecto *Towards a nowcast-forecast system for estuarine and coastal water quality*. A 6ª autora foi co-financiada pela FCT SFRH/BD/41033/2007.

REFERÊNCIAS

- Azevedo, A., A. Oliveira, A.B. Fortunato, X. Bertin (2009). Application of an Eulerian-Lagrangian oil spill modeling system to the Prestige accident: trajectory analysis, *Journal of Coastal Research*, SI56, 777-781
- Azevedo, A.. (2010). Sistema integrado de modelação para apoio à prevenção e mitigação de acidentes de hidrocarbonetos em estuários e orla costeira, Tese de Doutoramento, FCUL, em preparação.
- Baptista, A.M. (2006). CORIE: the first decade of a coastal-margin collaborative observatory. *Oceans'06*, Boston, MA.
- Costa, M, A. Oliveira, M. Rodrigues e A. Azevedo (2009). Application of Parallel, High-Performance Computing in Coastal

Environmental Modeling: Circulation and Ecological Dynamics in the Portuguese Coast, 3rd Ibergrid, 375-386.

- Dodet, G., X. Bertin e R. Taborde (2010). Wave climate variability in the North-East Atlantic Ocean over the last six decades, *Ocean Modelling*, 31/3-4, 120-131.
- Fortunato, A.B., L. Pinto, A. Oliveira e J.S. Ferreira (2002). Tidally generated Shelf Waves off the Western Iberian Coast, *Cont. Shelf Research*, 22/14: 1935-1950.
- Fortunato, A.B, A. Oliveira, X. Bertin, N. Bruneau, A. Nahon, M. Guerreiro, M. Costa, L. Pinto (2010). Simulação numérica da morfodinâmica de embocaduras, Actas da 1as Jornadas de Eng. Hidrográfica, CD.
- Rodrigues, M., A. Oliveira, H. Queiroga, A.B. Fortunato e Y.J. Zhang (2009). Three-Dimensional Modeling of the Lower Trophic Levels in the Ria de Aveiro (Portugal), *Ecol. Modell.*, 220, 1274-1290.
- Rodrigues, M., A. Oliveira, M. Guerreiro, A.B. Fortunato e H. Queiroga, Water and ecological quality in the Aljezur coastal stream (Portugal), Book of Abstracts, JONSMOD 2010, Delft, Holanda.

The Nazaré Canyon real-time observatory (W Portugal)

I. Martins (1), J. Vitorino (1) e S. Almeida (1)

(1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas 49, 1249-093 Lisboa, Portugal. marina.martins@hidrografico.pt.

Resumo: Desde 2002 que o Instituto Hidrográfico (IHPT) tem vindo a desenvolver um programa de monitorização do Canhão da Nazaré, o maior canhão submarino da margem continental europeia. Neste artigo descreve-se a implementação de um sistema de monitorização em tempo-real do Canhão da Nazaré, conduzida no quadro do projecto MONICAN (MONItoring of the Nazare CANYon area), financiado pelo programa *EEA Grants*. Este sistema de monitorização integra, como objectos centrais, duas plataformas multiparamétricas e a disponibilização gratuita dos dados em tempo real, através de um portal de Internet. No sentido de validar os sistemas recentemente instalados, e testar a capacidade de conduzir observações regulares na área do canhão da Nazaré, conduziram-se experiências inovadoras utilizando sensores de baixo custo em navios de oportunidade. Esta capacidade de monitorização, por parte do IHPT, nesta área do canhão da Nazaré, será reforçada brevemente em campanhas futuras e novos desenvolvimentos de técnicas de monitorização e validação.

Key words: real time monitoring, Nazare Canyon, multi-parametric platforms, public data dissemination

1. INTRODUCTION

The Nazare Canyon is the largest submarine canyon of Europe, with a length of more than 270km and extending from abyssal depths of 5000m to a few hundreds of meters from shore, where it attains 150m depth. It inserts in an area of particular importance, in what concerns environmental, economical and social issues, marked by important fisheries activities, the existence of the Berlengas Islands Natural Reserve and important routes of marine traffic offshore. Recently, the area has emerged as key for the implementation of artificial reefs for fish growth protection, oil prospection and wave energy extraction. All these aspects turn vital the correct understanding and the continuous monitoring of the oceanographic process that take place in the Nazare Canyon area. Here we describe the beginning of the implementation, by the Portuguese Hydrographic Office (IH-PT), of a real-time observatory of the oceanographic conditions affecting Nazare Canyon area. This challenge was preceded by a continuous effort of in situ bio-geo-chemical and physical observations of the area, conducted by IHPT since 2002 in the framework of the contribution of this institute to major European projects, such as EUROSTRATAFORM (2002-2005), HERMES (2005-2009) and HERMIONE (2009-2012). These contributions comprise a program of observations using long term moorings covering the entire water column, from inshore to offshore of the canyon axis, which was complemented by multi-disciplinary surveys conducted in a yearly basis.

2. MONICAN SYSTEM – REAL-TIME MONITORING

The building of real-time monitoring capacities started in 2008, in the framework of project MONICAN (MONItoring of Nazare CANYon), financed through the European EEA Grants program. The project extends from 2008 to 2011 and

its central goal aims the implementation of a real-time monitoring system which integrates an array of multi-parametric platforms, one coastal meteorological station and two coastal tide gauges stations (Figure 1). Additional measuring platforms and observational actions are also being conducted in association with the development of the MONICAN system.

The MONICAN project also includes the development of operational forecasting capacities for the Nazare Canyon area, with the implementation of several numerical models that could simulate and forecast the dominant processes. The monitoring system is, then, intended to provide real-time data to feed the assimilation schemes implemented in those models.

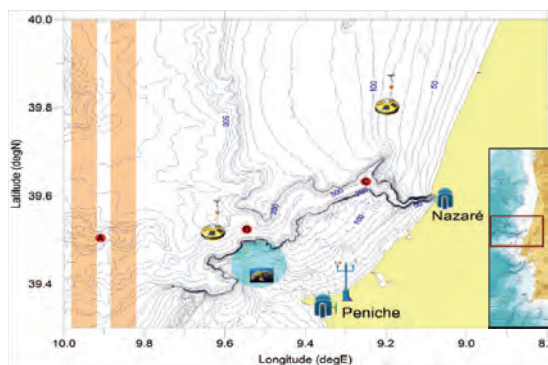


Fig. 1. Zoom of the bathymetric map of Monican area. Yellow buoys () mark the location of the MONICAN multi-parametric platforms array, the symbol () indicates the coastal meteorological station and coastal tide gauge stations are marked with (). Red dots () indicates the long-term currentmeter moorings with insertion of the location of Berlengas Natural Reserve area in blue (). Routes of maritime traffic ().

2.1 Multi-parametric buoys

Two meteo-oceanographic Oceanor WAVESCAN buoys were deployed offshore Nazare as part of the MONICAN system. These platforms collect

directional wave data as well as meteorological, oceanographic and water quality parameters. They are powered by solar panels and re-chargeable batteries.

One of buoys (deep buoy, 39° 30' 37.8''N, 009° 38' 03.6''W) was deployed in April 2009, at a position located over the middle section of the canyon, by a water depth of 2000m. The second buoy (shallow buoy, was deployed in March 2010 at the mid shelf north of the canyon, by 80m depth (39° 45' N 009° 11.5' W).

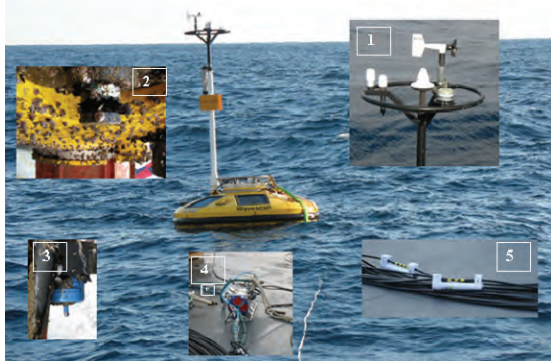


Fig. 2. Deep MONICAN WaveScan buoy. The inserts show details of the sensors installed on the buoy. (1) meteorological sensors and INMARSAT antenna, (2) chlorophyll sensors after a 8 month deployment, (3) surface thermistor, (4) 300 kHz ADCP, (5) inductive thermistor chain.

The WAVESCAN buoys pre-process the raw data collected by the different sensors that are available for real time transmission. The communication is provided by a two-way INMARSAT-C satellite link, which allows the reception of the data from the buoy. The complete raw and pre-processed data sets are stored on the buoy hard disk, and can be downloaded during the period of maintenance. Both buoys are equipped with GPS (Global Positioning System). The buoy's position is transmitted as part of the data string and a watch circle can be established around the buoy's deployment position and monitored.

The buoys have several options regarding sensors and equipment (Figure 2). The core sensor is a solid state inertial motion sensor – WaveSense (Ocean) They are also equipped with a mast that supports meteorological sensors and communication antennae. Both buoys are equipped with similar meteorological sensors, which include a digital barometer (Vaisala, PTB330A) for atmospheric pressure measurement, a relative humidity and air temperature sensor (Vaisala, HMP45A) based on a capacitive thin film polymer sensor. An analog wind speed/direction sensor (Young 04106 JRMA) is installed in the deep buoy while in the shallow buoy the option was an ultrasonic wind speed and direction sensor (Young 85106).

Concerning to the oceanographic parameters, both buoys are equipped with a downward looking 300 kHz acoustic Doppler profiler (Workhorse Sentinel

RDI), installed at 7m depth, which provides current data in the first 100m of the water column. Both ADCPs are configured for self recording. In addition, current speed, direction and error velocity are sent in real time for a total of 7 ADCP bins.

The ADCP data collected from the first period of deployment of the deep MONICAN buoy are illustrate on Figure 3 and is consistent in a 100m of water column. The percent good confirms that the mooring is stable and that the movements of the buoy on the surface don't influence significantly the optimal angle for the ADCP measurements.

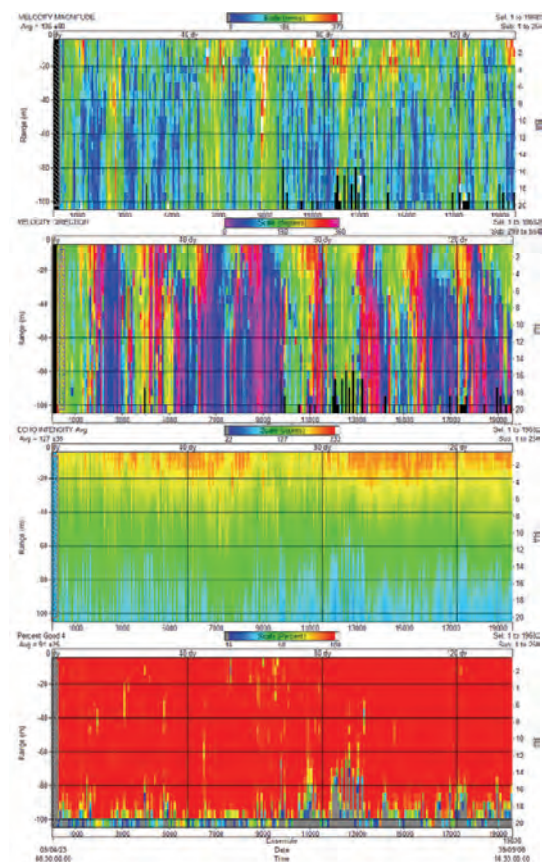


Fig. 3. ADCP data collected from the first period of deployment of the deep MONICAN buoy. From top to bottom: current speed, current direction, echo intensity and percentage of good data with a 4 beam solution.

Sea surface temperature (1m depth) is measured in each buoy using an Aanderaa 4060A temperature sensor. In the deep buoy, in addition, an inductive thermistor chain (Sea-Bird, SBE 39IM. Figure 2) is used to measure water temperatures at 4 different depths. The measuring levels were selected to be 10m, 50m, 100m and 200m, but these can be easily changed during the period of buoy maintenance.

Water quality sensors installed in the buoys include dissolved O₂ sensors (Royce, 96A) and Chlorophyll-a optical sensors (MiniTracka II HB176 on the deep buoy and Unilux on the shallow buoy, both from Chelsea Instruments). The shallow buoy also includes a turbidity sensor (Unilux, Chelsea

Instruments), which allows to monitor the evolution of the surface nepheloid layer. In the deep buoy this sensor was replaced by a hydrocarbon sensor (Nereides OILSPY 1606) that detects the presence of floating hydrocarbons using a polymer membrane (Figure 2). Equipped with this sensor, the deep MONICAN buoy can act as an alert system to oil spill accidents. This is of vital importance in an area that is located between major maritime routes and the Berlengas Marine Reserve.

The system is in operation since April 2009, with the deployment of the deep buoy. Regular maintenance periods are conducted after about 6 months of deployment for both buoys. The two MONICAN buoys installed offshore Nazare provide a flexible platform, particularly suited for the installation of different additional sensors which can be easily installed during the periods of buoy maintenance.

2.2 Coastal Meteorological Station

The MONICAN system also includes one coastal meteorological station (AWS 2700, Aanderaa), installed at Ferrel (39° 23' 16''N, 009° 17' 30''W). This station is operated by IH since July 1984 in a continuous basis. The station provides wind speed and direction, atmospheric pressure, air temperature, relative humidity and solar radiation. The meteorological data collected at this station is sent in real-time to IH using a GSM communication.

2.3 Tide Gauge Stations

Two tide gauges are also included in the MONICAN real-time system. One of the stations is already installed at Peniche (39° 21' 12.7'' N, 009° 22' 02.7'' W). The second will be soon installed at Nazare. Both stations are based on radar tide gauges and data transmission by GPRS.

2.4 Other monitoring actions

Complementary to the implementation of the MONICAN array of monitoring platforms, other less conventional platform and strategies are being developed and tested. Among these, IH is presently exploring the use of low cost sensors in monitoring actions that can be conducted on regular basis and with the use of ships of opportunity or non-dedicated surveys. This comprises the use of towed chains of sensors or the deployment of low cost moorings for monitoring the water column or near bottom conditions in ocean and nearshore environments. The low cost sensors being used are DST Star-Oddi thermistors and CTDs. They are small sensors with an internal logger memory and battery that allows the easy and fast deployment without special support platforms.

2.5 Data Management and Public Dissemination

The data collected from the multi-parametric buoys is sent via Inmarsat-C satellite to IHPT, where it is loaded on an Oracle database. The real-time data stream sent by each buoy comprises the relative

humidity; air temperature; atmospheric pressure; wind speed; gust and direction; sea surface temperature, significant wave height; period and maximum wave height; mean period and mean wave direction, peak and energy period, oxygen and chlorophyll-a concentrations at near surface (1m), and current speed, direction and error at 7 depths measured by the near surface ADCP. In addition, the deep MONICAN buoy also sends in real-time the sub-surface temperature data collected at 10m, 50m, 100m and 200m water depth and an index for the presence of hydrocarbons at the surface. The shallow MONICAN buoy, instead, sends turbidity data from the sensor installed at 1m depth.

From the experience of the first eleven months of deployment of the deep MONICAN buoy, we can say that the reception of data is quite good, with losses in real time on the order of 2% of data. These gaps can be restored after the maintenance periods, every six months, when all the data is recovered from the buoys data loggers.

The complete data set collected by the buoys is made available to the general public through a web portal (<http://monican.hidrografico.pt>). Here data can be retrieved or visualized for the distribution of a specific parameter for the last day, week or month. An evaluation of the performance of the sensors installed on the buoys is presently being conducted by comparing the buoy measurements with observations available at other stations or conducted during oceanographic surveys. In the very near future, all data included in the MONICAN web portal for public access will be quality controlled. The data validation will be done taking into consideration the characteristics of each parameter, the checking within acceptable values for this geographic area, the differences between consecutive values and the stability during a few hours.

3. CANYON UNDER SURVEILLANCE

The real-time observations collected by the MONICAN platforms are providing a continuous monitoring of the changing oceanographic conditions and associated forcing mechanisms in the Nazare Canyon area. The real-time data collected during the first period of deployment of the deep MONICAN buoy (Figure 4) illustrates the marked seasonal variability that affects the conditions in this area well exposed to the North Atlantic influence.

From the beginning of May until the end of June, it shows the decay of wave conditions towards the low energy summer regime and the corresponding building of the seasonal surface stratification, in response to solar heat input and weak vertical mixing. From end of October the real time observations revealed the transition to the highly energetic winter regime, characterized by successive storm events, (maximum wave heights frequently exceeding 10m) which, in combination with surface heat loss, promote the erosion of the stratification

and the development of a thick winter mixed layer, which by January extends to one hundred meters depth.

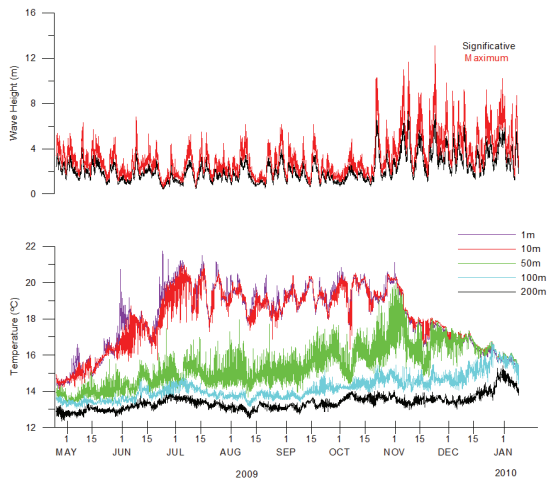


Fig. 4. Time series of wave height (upper panel) and temperature in the upper 200m depth (lower panel) measured at the deep MONICAN buoy, from April 2009 to March 2010.

In articulation with the real-time monitoring effort, strategies for monitoring the canyon area of influence using ships of opportunity are also presently being developed and tested. The tests already conducted, aimed not only to evaluate the capacities of the systems in the rapid survey of such a complex area but also to provide data sets that can be used to evaluate the performance of the sensors installed in the real-time platforms. In a recent experiment, conducted on the 11th March 2010, a 100m long chain was equipped with 7 DST sensors (nominal depths 5, 10, 20, 30, 50, 75 and 100m) with a 20s sampling period and towed along a triangular transect that enclosed the deep MONICAN buoy (Figure 5).

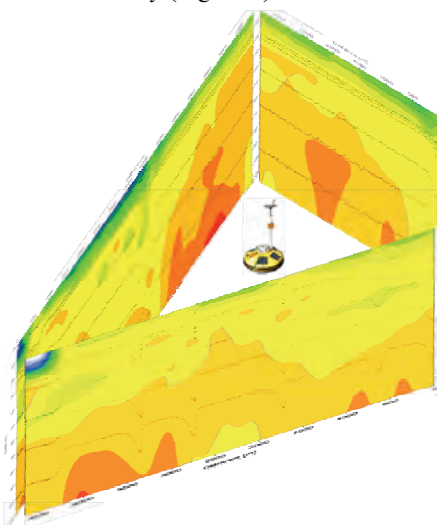


Fig. 5. Temperature sections from DST temperature sensors along a triangular transect enclosing the deep MONICAN buoy.

The data from the thermistors was complemented with CTD casts taken at the vertices of the triangle

and both sets were compared with the real-time data collected by the thermistors installed on the buoy and along the inductive cable (Figure 6). The experiment proved the very good consistency between the different data sets. Despite the small dimension of the observed area, it exhibited strong spatial variability since it was located in the transition between oceanic waters and shelf waters with a marked low salinity and temperature signals over the first 10-20m depth (Figure 5).

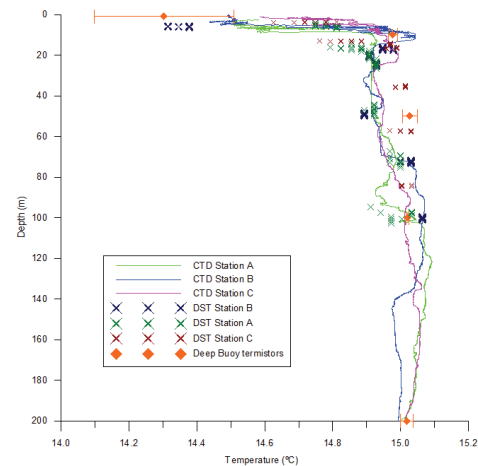


Fig. 6. Temperature profiles from CTD, temperature dispersion from DST sensors in each CTD station and average temperature from buoy thermistors.

4. FINAL CONSIDERATIONS

In this contribution we provided a brief overview of the monitoring system presently installed and maintained by Instituto Hidrografico in the Nazare Canyon's area, which emerges as the first step of implementation of a Nazare Canyon Observatory. The developments planned to be conducted by IH in the near future will include the articulation of the IH long-term moorings with the real-time MONICAN system, particularly in what concerns the use of the MONICAN real-time transmission capacities to integrate data collected at near bottom depths inside the canyon by the IH moorings. An HF radar coastal station will be installed in the Nazare area, between 2010 and 2012, in the framework of a national funded project SIMOC (Coastal Currents Operational Monitoring System), recently approved. In the first stage, this station will be operated for a period of about six months, during which the data collected will be used to feed the data assimilation models implemented under the MONICAN project. After the evaluation of results, this station could be maintained for a longer period and integrate the Nazare Canyon Observatory.

Acknowledgments

The MONICAN (PT0042-GAE-00037-E-V1 – EEA FM) project is financed by EEA Financial Mechanism.

Aplicação de uma metodologia Lagrangeana de identificação de tempestades para avaliar a vulnerabilidade de duas rotas no Atlântico Norte

M. Bernardino (1, 2), J. Queirós (1), C. Guedes Soares (1)

(1) CENTEC - Centro de Engenharia e Tecnologia Naval, IST, Portugal.
(mariana.bernardino@mar.ist.utl.pt)

(2) IM - Instituto de Meteorologia, Portugal

Resumo: O objectivo do presente trabalho é avaliar a vulnerabilidade de duas rotas marítimas que atravessam o Atlântico Norte, entre a Europa e os EUA, a situações de tempestade. Para a caracterização das situações de extremas em particular de tempestades, é usual utilizar uma metodologia Euleriana em que se avaliam as apenas as condições locais da agitação marítima, no entanto, uma abordagem Lagrangeana do mesmo fenómeno permite realizar um acompanhamento das características de cada tempestade desde a sua formação até à dissipação. Foram identificadas e caracterizadas as tempestades formadas no Atlântico Norte durante um período de 10 anos, entre 1958 e 1967 utilizando uma metodologia Lagrangeana. Cada tempestade identificada durante este período, foi caracterizada utilizando vários parâmetros físicos e em particular foi possível determinar a sua trajectória e evolução dessas mesmas características ao longo do tempo. Foi assim possível identificar quais as tempestades que afectaram cada uma das rotas, bem como quais os troços das rotas mais vulneráveis. Realizou-se também uma avaliação das tempestades em causa quer a nível inter-anual como da sua distribuição sazonal.

Palavras chave: tempestades, rotas, Atlântico norte, agitação marítima

1. INTRODUÇÃO

A abordagem clássica para análise estatística das tempestades no oceano é uma análise Euleriana das séries temporais da altura significativa num determinado local. Os dados analisados tanto podem ser observações como resultados de modelos. O tipo de informação obtida nesta abordagem é essencialmente a frequência dos eventos, a sua duração e intensidade, sendo posteriormente obtidas estimativas das condições extremas no local em causa.

A disponibilidade de bases de dados com informação espacial das características da agitação marítima durante períodos de tempo de várias décadas, obtidos de previsões de larga escala ou de reanálises permite o acompanhamento da evolução temporal no espaço e no tempo das tempestades geradas à escala oceânica. Usando estes dados é possível estudar a evolução espacial das tempestades, ou seja, fornecer uma descrição Lagrangeana das suas características.

Os navios cruzam o oceano em rotas pré-estabelecidas que são escolhidas de forma a minimizar o perigo e os custos financeiros. Uma rota mais segura tentará evitar estados de mar muito energéticos, áreas com alta probabilidade de tempestades. A abordagem Euleriana permite apenas obter informação à escala local sobre a frequência das tempestades, duração e intensidade, mas nunca informação sobre a sobre a evolução espaço-

temporal das suas características; permite descrever a situação de tempestade, naquele momento, mas não informa quando e onde esta foi gerada, nem quais as características da sua trajectória. Esta informação poderá no entanto ser útil, por exemplo, para definir rotas de navios que evitem áreas onde seja frequente a geração de tempestades ou mesmo onde as tempestades atinjam a sua fase mais activa. Uma comparação entre as abordagens Euleriana e Lagrangeana foi apresentada por Bernardino *et al.* (2008).

O objectivo do trabalho apresentado é avaliar a vulnerabilidade de duas rotas marítimas, entre a Europa e os Estados Unidos, a situações de tempestade, utilizando uma metodologia Lagrangeana para caracterização destas últimas.

2. METODOLOGIA LAGRANGEANA DE IDENTIFICAÇÃO DE TEMPESTADES

Uma tempestade pode ser considerada como um acontecimento no espaço e no tempo em que a altura significativa se eleva acima de um determinado nível crítico pré-definido.

A metodologia usualmente utilizada (Petruaskas e Aagaard, 1971), é uma metodologia Euleriana baseada na análise conjunta da variabilidade do campo da altura significativa $h(x,y,t)$, num conjunto de pontos (x_i, y_i) em simultâneo. Esta abordagem resulta numa análise conjunta das séries temporais multivariadas de intensidades ou durações de

tempestades em cada ponto. Em teoria, a análise conjunta das durações das tempestades, permitiria identificar a mesma tempestade em vários locais, mas na prática uma vez que as próprias características das tempestades se vão modificando ao longo do tempo, o processo de identificação dos pontos que são afectados por uma mesma tempestade é muito difícil (figura 1).

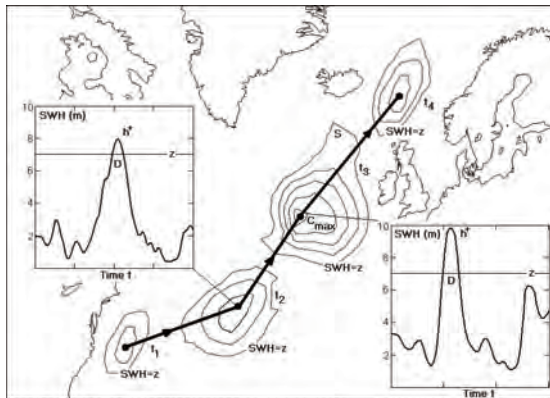


Fig.1. Caracterização de uma tempestade nas abordagens Euleriana e Lagrangeana

Um processo alternativo para identificar e seguir uma tempestade ao longo da sua trajetória, avaliando as modificações das suas características ao longo do tempo foi descrito por Bernardino *et al.* (2008). Este método utiliza uma abordagem Lagrangeana que toma em consideração a dinâmica das tempestades, considerando-as estruturas espaciais a evoluir num campo tridimensional (figura 1).

A área afectada por uma tempestade é definida em cada instante t pelo conjunto de pontos no espaço que obedecem à condição:

$$\Omega(t) = \{(x, y) : h(x, y, t) > z\}$$

Em que $h(x, y, t)$ representa o campo da altura significativa e z o nível crítico utilizado para a definição de tempestade.

A disponibilidade de bases de dados meteoceânicos, de boa qualidade, produzidos através de processos de reanálise, permite o estudo da evolução espaço-temporal dos campos da altura significativa ao longo de várias décadas. Aplicando a metodologia Lagrangeana a estes campos é possível identificar o pulso estocástico acima de um determinado nível z definido por:

$$W(x, y, t) = \begin{cases} h(x, y, t) - z, & (x, y) \in \Omega(t), \\ 0, & [(x, y) \notin \Omega(t)] \text{ or } [t \notin [0, D]] \end{cases}$$

para cada instante t tal que $0 \leq t \leq D$ onde D é a duração total da tempestade.

Este pulso dinâmico depende de um conjunto de parâmetros que caracterizam a forma espacial da tempestade. Entre outras potencialidades, esta metodologia permite seguir uma tempestade ao

longo da sua trajetória desde a sua formação até à dissipação. É possível também caracterizá-la em cada instante em termos de intensidade, área de influência, velocidade de propagação, mas também em relação a características da própria tempestade enquanto entidade dinâmica, tais como tempo de vida, cumprimento da trajetória, entre outras. Em particular, identificar quais as tempestades que durante um determinado período afectam um região particular do oceano e consequentemente quais as regiões onde um navio terá maior probabilidade de encontrar situações de tempestade.

3. AS ROTAS

A determinação das rotas ao longo das quais os navios cruzam os oceanos tem como um dos principais objectivos a minimização do risco. Uma rota mais segura será aquela onde os estados de mar muito energéticos são evitados, i.e., áreas onde a probabilidade de ocorrência de tempestades é mais elevada.

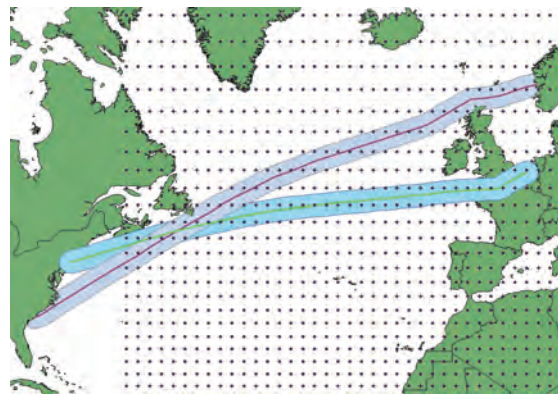


Fig.2. Representação das rotas marítimas entre a Holanda e os Estados Unidos (rota A) e a Noruega e os Estados Unidos (rota B), bem como a localização dos pontos do domínio espacial utilizado.

No presente trabalho, são comparadas duas rotas que atravessam o Atlântico norte entre a Europa e os Estados Unidos. A rota A liga a Holanda aos Estados Unidos e a rota B liga a Noruega aos Estados Unidos, como se pode observar na figura 2.

4. VULNERABILIDADE DAS ROTAS AO ESTADO DO MAR

Para a identificação e caracterização das tempestades foi escolhido o período entre 1957 e 1967 e foram analisados os campos da altura significativa da base de dados produzida no âmbito do projecto HIPOCAS (Guedes Soares, 2008 e Pilar *et al.*, 2008). Foi utilizada uma grelha com uma resolução espacial de $2^\circ \times 2^\circ$ e temporal de 3 horas, cobrindo o Atlântico norte e que se encontra representada na figura 2. A metodologia Lagrangeana de identificação de tempestades foi aplicada utilizando-se um nível crítico de 7 metros e foram identificadas todas as tempestades geradas no

Atlântico norte com uma duração mínima de 12 horas.

Com o objectivo de analisar a vulnerabilidade das rotas apresentadas às tempestades, foi realizada uma verificação da intercepção entre as trajectórias das tempestades e as duas rotas marítimas. Procedeu-se de seguida a uma avaliação espaço temporal dos resultados obtidos para cada rota.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendo com objectivo avaliar qual das duas rotas seria mais atingida por situações de tempestade e como é que esta situação se distribui quer sazonalmente, quer ao longo do período em estudo, foram contabilizadas o número de intercepções das tempestades identificadas com as duas rotas.

Em relação à variação sazonal, podemos verificar que em ambos os casos a maioria das tempestades que afectam as rotas o fazem durante o Outono e o Inverno (figuras 3 e 4).

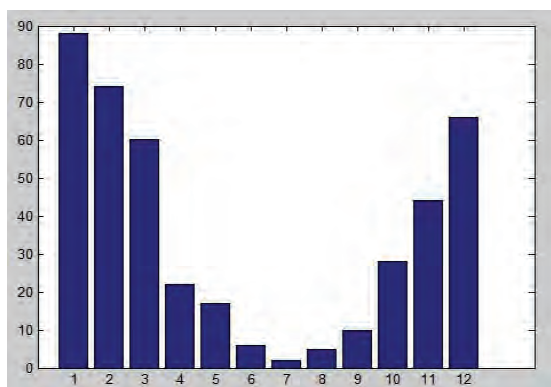


Fig. 3. Distribuição sazonal das tempestades que afectaram a rota A durante o período 1957-1967.

Observa-se também que a rota B é mais atingida por tempestades dos que a rota A, excepto nos meses de Verão (Junho, Julho e Agosto) em que não se observam praticamente tempestades nesta última.

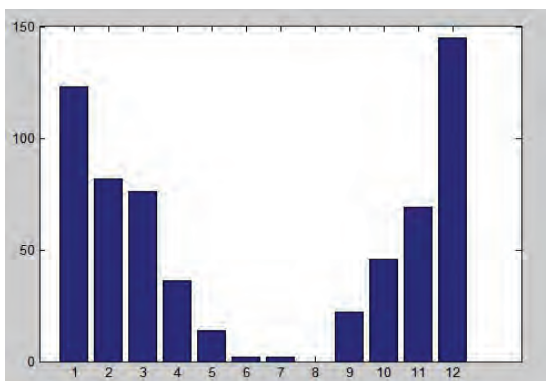


Fig. 4. Distribuição sazonal das tempestades que afectaram a rota B, durante o período 1957-1967.

Os meses de Dezembro e Janeiro são os mais activos, e em particular o durante o mês de

Dezembro a rota B é afectada pelo dobro de tempestades do que a rota A. Deve notar-se que esta rota é particularmente atingida por tempestades durante os meses de Dezembro e Janeiro, observando-se aí em média mais de 10 tempestades por mês.

A distribuição das tempestades ao longo do período em estudo numa base anual foi também investigada. Observando as figuras 5 e 6, verificamos que o número de tempestades tem uma grande variabilidade inter-anual com anos como 1961 em que se observaram apenas 8 tempestades na rota A e 12 na rota B e os anos de 1959, 1965 e 1967 com valores acima das 40 tempestades anuais na rota A e acima das 60 tempestades anuais na rota B.

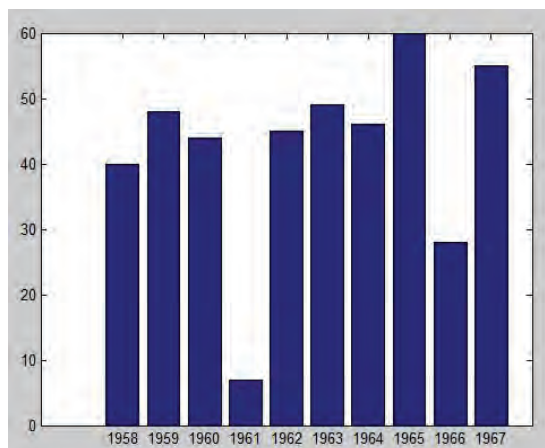


Fig. 5. Distribuição anual das tempestades que cruzaram a rota A, durante o período 1958-1967.

Para a rota A o ano mais severo foi o de 1965, enquanto, para a rota B foi o de 1997 (foi o segundo mais severo para a rota A).

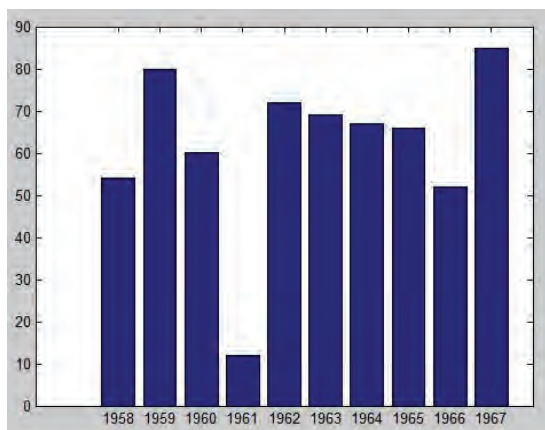


Fig. 6. Distribuição anual das tempestades que cruzaram a rota B, durante o período 1958-1967.

Pretendeu-se de seguida avaliar quais os troços de cada umas das rotas mais perigosos, ou seja aqueles onde a frequência de intercepção com uma tempestade é maior.

Para isso cada uma das rotas foi dividida em 12 troços com base na longitude e foi identificado o

local onde cada tempestade cruzou cada rota. As frequências absolutas destas intercepções estão representadas nas figuras 7 e 8.

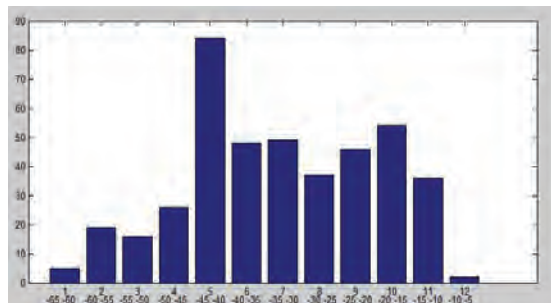


Fig. 7. Frequência absoluta de tempestades que cruzam a rota A, durante o período 1958-1967, em cada troço da rota.

Podemos observar que no que diz respeito à rota A, o troço entre as longitudes 40° e 45° Oeste é aquele mais atingido pelas tempestades com mais de 80 tempestades no período de 10 anos. Os troços entre os 10° e os 40° Oeste são atingidos com uma média de 4 tempestades por ano por troço de 5° de longitude.

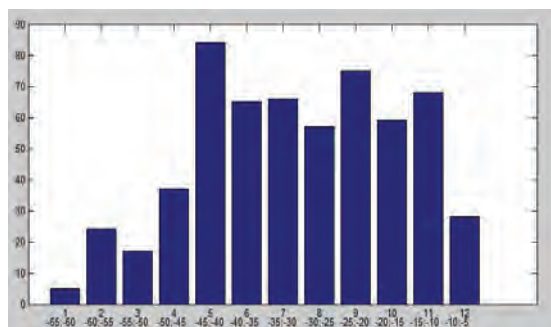


Fig. 8. Frequência absoluta de tempestades que cruzam a rota B, durante o período 1958-1967, em cada troço da rota.

A rota B como já se viu é mais fustigada por tempestades do que a rota A, e o troço entre as longitudes 40° e 45° Oeste é também o e mais atingido pelas tempestades com o mesmo número foi obtido para a rota A. É de notar, observando a figura 2 que as duas rotas se cruzam nesta zona, sendo por isso natural que as tempestades que afectam uma rota afectem a outra da mesma maneira. Para longitudes mais baixas, as rotas já estão muito afastadas e verificamos que apesar da distribuição relativa, troço por troço ser semelhante, os valores obtidos para a rota B são mais elevados e mais próximos do obtido para o troço 40° - 45° Oeste.

6. CONCLUSÕES

O objectivo deste trabalho foi a comparação da vulnerabilidade de duas rotas marítimas a situações de tempestade no Atlântico norte. Utilizando dados de reanálise dos campos de altura significativa, foi utilizada uma metodologia Lagrangeana para identificar e caracterizar as tempestades geradas durante um período de 10 anos entre 1958 e 1967 investigando-se

seguidamente a frequência de intercepção entre as trajectórias das tempestades e as duas rotas em causa. Em termos gerais podemos concluir que a rota B é mais vulnerável às tempestades pois é atingida por estas com maior frequência do que a rota A. Em termos de distribuição sazonal, ambas as rotas apresentam o mesmo tipo de distribuição com mais tempestades no período Outono-Inverno e um número muito reduzido durante o período de Verão. A Primavera apresenta valores intermédios. Em relação aos troços das rotas mais expostos a situação de tempestade foi possível identificar na rota A o troço compreendido entre as longitudes 40° e 45° Oeste, como o troço com a maior percentagem de incidências. Em relação à rota B, este troço também é o mais afectado, mas os valores são próximos dos obtidos nos troços compreendidos entre os 10° e os 40° Oeste. Assim em termos geral poderá concluir-se que a rota A será menos vulnerável a tempestades do que a rota B. Será interessante estender este estudo a um período de tempo mais alargado de modo a tirar conclusões estatísticas mais robustas.

Agradecimentos

Os primeiro e segundo autores foram financiados pela Fundação para a Ciência e Tecnologia através de uma de pós doutoramento (SFRH/BPD/41063/2007) e de uma bolsa integração na investigação, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- Bernardino, M., Boukhanovskyi, A. and Guedes Soares, C.,(2008). Alternative Approaches To Storm Statistics in The Ocean, Proceedings of the 27th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE'08), ASME, New York, 15-20 Junho, Estoril, Lisboa, Paper OMAE2008-58053.
- Guedes Soares, C.,(2008). Hindcast of Dynamic Processes of the Ocean and Coastal Areas of Europe, *Coastal Engineering*, 55, 825-826.
- Petruaskas, C. and Aagaard, P. M., (1971). Extrapolation of Historical Storm Data for Estimating Design Wave Heights. *J. Soc. Petroleum Engineering*, 11, 23-37.
- Pilar, P., Guedes Soares, C. and Carretero, J.C., (2008). 44-year wave hindcast for the North East Atlantic European coast, *Coastal Engineering*, 55, 861-871.

SIG, cartografia e gestão de dados do ambiente marinho

Segurança na Navegação: os SIG como Ferramenta de Suporte

Francisco Nobre (1); Vitor Carvalho (2)

(1) ESRI Portugal, Francisco.Nobre@ESRI-Portugal.pt

(2) ESRI Portugal; Vitor.Carvalho@ESRI-Portugal.pt

Resumo: Os problemas de segurança na navegação são inúmeros e em todos a localização das ameaças e dos ameaçados são uma preocupação directa das autoridades marítimas locais, nacionais e internacionais. O trabalho conjunto das várias entidades (autoridades portuárias, autoridades marítimas, guarda costeira, marinha, força aérea, entre outras) é essencial para se garantir um espaço de segurança à navegação.

Ferramentas como os SIG são elementos essenciais nas várias fases de trabalho de suporte à segurança no espaço marítimo, desde o suporte à localização de todos os intervenientes no espaço tridimensional de operações, ao planeamento de missões, ao acompanhamento de missões e à gestão de todos os meios de forma integrada. O SIG é a ferramenta por excelência para agregar os diversos níveis de informação (radares, AIS, imagens de satélite, informação meteorológica, informação oceanográfica, fotografia aérea, informação proveniente de aparelhos não tripulados, informação de sensores, informação de visualização directa, entre outras) e garantir um quadro operacional conjunto e integrado.

Este trabalho apresenta a visão dos autores neste processo.

1. INTRODUÇÃO

O mar é uma fonte de riqueza que tem sido, nos últimos anos muito negligenciada. A exploração dos recursos marinhos de que podemos citar:

- a pesca;
- a aquacultura;
- a exploração petrolífera;
- a exploração de recursos minerais;
- a exploração de recursos vegetais,

e a utilização do mar nas áreas da navegação e do lazer representam uma fonte de riqueza para cada nação e para a sociedade como um todo.

No entanto a própria natureza do mesmo implica para todos os seus utilizadores uma série de riscos elevados causados por condições naturais (meteorológicas e oceanográficas) e não naturais (desastres industriais, conflitos armados, ataques terroristas e piratas).

Desde sempre as notícias apresentaram uma série de eventos directamente conectados com a segurança ligada ao mar, e que dos tempos mais recentes podemos citar os ligados à pirataria no Estreito de Malaca ou no Golfo da Somália e aqueles que acontecem por causas acidentais (naturais ou humanas) como o problema causada pela plataforma petrolífera da BP no golfo do México ou o dos pescadores que se afundam devido ao mau tempo. Estes eventos mostram de uma forma muito clara a relação entre o mar e a economia e a necessidade premente que todos os intervenientes têm de conhecer a localização de cada entidade no mar e

identificar as ameaças que se podem colocar ao seu caminho.

2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Quando olhamos para o espaço aéreo civil verificamos que o grau de controlo sobre o mesmo é elevado. A cobertura radar e AIS das aeronaves no espaço aéreo é essencial para determinar a localização de cada elemento e definindo claramente os corredores de passagem que podem ser alterados pelos controladores aéreos de modo a manterem os níveis de segurança elevados no espaço aéreo. As leis marítimas não permitem um nível de controlo semelhante mas torna-se cada vez mais premente o conhecimento atempado da localização dos vários intervenientes no espaço marítimo, estando eles emersos ou imersos.

O reconhecimento de que em termos económicos o espaço marítimo representa uma componente não desprezável do valor global financeiro tem implicado um esforço de vários intervenientes no sentido de aumentar os níveis de segurança de cada interveniente, em que as condições de protecção do ambiente não podem ser deixadas de ser tidas em conta.

Nesse sentido a necessidade de se conhecerem em cada instante o posicionamento de todos os intervenientes tem vindo a ser consistentemente perseguida e um bom exemplo disso está na obrigação de todos os navios acima de 300 toneladas brutas em transportes internacionais e acima das 500 toneladas em transportes locais ou de transportes de passageiros terem obrigatoriamente de possuir um “*transponder*” de AIS (este contexto legal é imposto pela IMO desde Dezembro de 2004).

Este tipo de informação é, muitas vezes, publicada de forma livre criando, eventualmente, problemas adicionais no contexto da segurança. Por exemplo um site como o <http://www.marinetraffic.com/ais/> mostra informação como a representada nas figuras subsequentes:



Figura 1 - AIS Localização de Navios

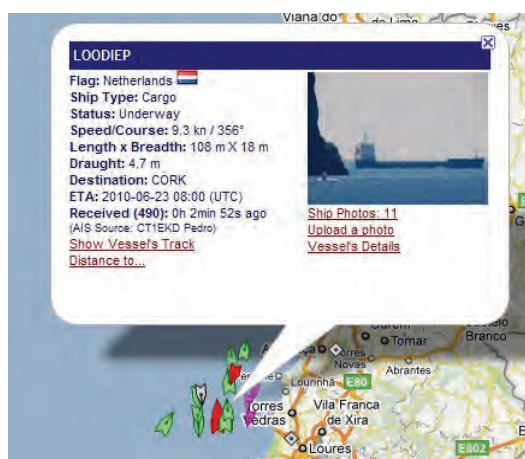


Figura 2 - Informação AIS

No entanto estes níveis de informação, mesmo que insuficientes pois muitos elementos não são ainda passíveis de ser referenciados, não estão todos integrados num sistema único que permita um quadro operacional onde todos os elementos sejam interligados de uma forma compreensível e visíveis numa visão conjunta.

É nesta componente que os SIG representam uma parcela imprescindível no suporte ao aumento dos contextos de segurança da navegação (comercial, de recreio, de competição).

3. OS SIG E O SEU USO NA RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

3.1 Monitorização de Embarcações e Outros Objectos no Oceano

Nos dias que correm e com o aumento massivo do acesso às tecnologias de informação cada vez mais pessoas conseguem visualizar num mapa relacionando o espaço representativo com a realidade que os rodeia. Para além disto o mercado de dispositivos que permitem determinar a posição espacial de um determinado objecto e garantir o envio dessas coordenadas para um centro de comando e controle está a aumentar com a consequente melhoria da qualidade desse posicionamento, com uma redução dos custos dos equipamentos e com o aumento da estabilidade e confiança sobre as estruturas de informação construídas. Juntando estas duas situações facilmente chegamos à conclusão que a forma mais clara para visualizar as posições dos mais variados objectos existentes no mar tais como navios, bóias, cabos submarinos, sensores, etc., será a sua integração num mesmo espaço em que visualmente se consigam relacionar todos eles em tempo real (ou quase real).

A localização de embarcações é importante em vários aspectos, por um lado para se ter em tempo real uma visualização do tráfego existente numa determinada região e com base nisso dar indicações que permitam ordenar esse mesmo tráfego em zonas muito congestionadas (note-se que hoje em dia essa orientação de tráfego não é, como no contexto da aviação civil, possível de ser mandado – o comandante da embarcação é para todos os efeitos o senhor absoluto dentro da mesma), por outro lado temos o cada vez mais importante elemento de “segurança” em que se torna imprescindível a obtenção da localização de tudo o que se encontra no oceano para facilmente se identificar determinada embarcação e se necessário enviar meios para efectuar alguma operação de fiscalização ou de socorro. A localização correcta e atempada das ameaças possíveis de elementos existentes no espaço de navegação e o envio de alertas atempados são uma das razões para se criar uma base de dados de obstáculos (bóias, cabos, elementos sobre o fundo oceânico, icebergs e outros) e garantir a sua manutenção actualizada.

Ao nível de actualização da informação podemos dividir os vários elementos em dois grupos:

- informação variável;
- informação quase estática.

O primeiro conjunto de informação implica uma alteração e acompanhamento constante e podemos considerar neste grupo as variáveis correspondentes às condições meteorológicas e oceanográficas, os posicionamentos de embarcações (utilizando o AIS por exemplo), o acompanhamento de obstáculos móveis (icebergs, destroços flutuantes, outros).

O segundo grupo contém os objectos que têm um posicionamento praticamente estacionário como bóias, faróis, estruturas portuárias, plataformas marítimas, entre outros.

Como é óbvio a informação dos posicionamentos de cada um destes elementos deverá ser transmitido e recebido de uma forma consistente com a estabilidade do seu posicionamento podendo causar complicações específicas com as comunicações a utilizar em termos de custo e de sistemas para o fazer. Não fosse o custo a utilização de comunicações satélite seria o ideal podendo-se recorrer em termos locais à informação via rádio e ou GSM em zonas mais próximas da área costeira em que o alcance é funcional.

Note-se que hoje em dia já várias entidades fazem este acompanhamento no contexto das embarcações para a área de influências das águas dentro da jurisdição europeia de uma forma consistente com alguns objectivos específicos de fiscalização. No entanto esse acompanhamento não é passível de ter um controle semelhante ao que existe no espaço aéreo devido à legislação existente em termos de controlo de navegação, com excepção para situações em que o perigo para as embarcações em águas territoriais seja evidente.

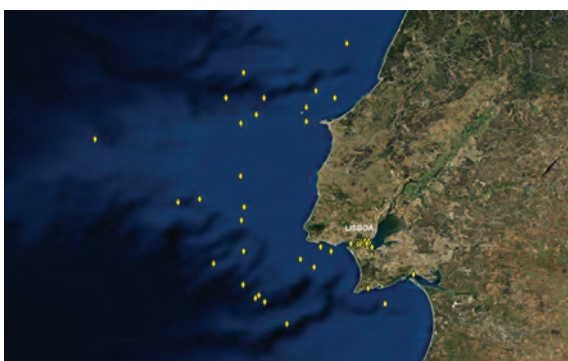


Figura 3 - Posições AIS de Embarcações

3.2 Planeamento de Missões

Na área de planeamento, os SIGs disponibilizam uma visão global do que pode acontecer durante um evento ou uma missão bastando juntar um determinado tipo de informação tais como o histórico de informação recolhida em tempo real e a partir dela através de ferramentas de

geoprocessamento criar novas camadas de informação por exemplo com a intensidade de tráfego marítimo numa determinada área ou uma especificidade num determinado sensor. Juntando a informação calculada com a cartografia náutica, com fotografias aéreas, com imagens radar, com previsões meteorológicas e com previsões oceanográficas pode construir-se um quadro espaço-temporal do que se poderá passar, podendo-se testar diversos cenários de tráfego e, como tal, constituindo-se uma excelente ferramenta de apoio ao planeamento.

Os SIGs conseguem também integrar camadas de informação terrestre com camadas de informação marítima, o que trás vantagens no planeamento de missões, simulação de acidentes ou qualquer outro cenário que se passe junto da costa ou em algum porto, podendo mesmo aceitar serviços disponibilizados por entidades com interesses essencialmente terrestres. Resumindo os SIGs potenciam a interoperabilidade entre entidades com áreas de acção bastante diferenciadas permitindo que a qualquer momento qualquer entidade possa planejar uma determinada missão com um suporte bastante vasto de informação.



Figura 4 - Porto de Lisboa (tráfego)

3.3 Gestão Emergências

Numa situação de emergência, o decisor necessita de ter junto a si o maior número de informação possível acerca do que está a decorrer no teatro de operações. Com o SIG e os dispositivos capazes de enviar a sua geoposição ou determinada informação específica, consegue-se disponibilizar um *dashboard* em que o decisor poderá consultar a posição de embarcações ou outros elementos.

Numa situação em que é necessário responder a uma ocorrência em tempo real é essencial ter a localização dos vários intervenientes em cada instante bem como completar todo o cenário, o que pode ser conseguido juntando-se elementos como imagens de satélite, imagens de sensores colocados em veículos não tripulados aéreos (ente outros),

imagens radar, entre outras, o mais recente possível. Além das imagens e da localização dos vários intervenientes é também importante juntar a essa informação as previsões meteorológicas tais como a intensidade do vento, a pressão atmosférica, a precipitação e a temperatura para as próximas horas ou dias bem como as previsões oceanográficas tais como o período, a amplitude e a direcção das ondas. Toda a informação referida anteriormente pode ser processada de modo a criar, a partir daí, quadros de tomada de decisão em que a interpretação seja clara. Para exemplificar podemos ter o caso de um navio em apuros num determinado local em que o sistema, tomando por base as condições meteorológicas, oceanográficas e a própria localização do navio nos diga que para determinado meio de apoio não estão reunidas as condições de segurança adequadas à sua utilização.

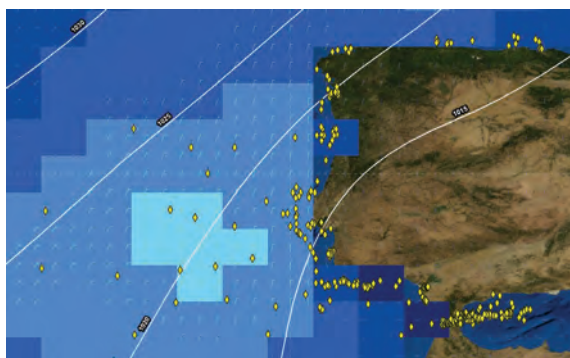


Figura 5 - Navegação na Costa Peninsular e Condições Meteorológicas

A utilização de um quadro operacional conjunto em que a informação sobre o local do incidente é reunida de uma forma consistente e em que as várias forças de suporte e de salvamento se podem posicionar de modo a fazerem face ao incidente de modo a suportar as entidades afectadas e a resolverem a situação é, pois, uma das componentes disponibilizadas pelo centro de fusão de dados que é um SIG.

4. CONCLUSÕES

A utilização de ferramentas SIG é essencial para garantir-se a criação de um quadro operacional conjunto de suporte à tomada de decisão desde a fase de planeamento de uma missão no mar, até ao suporte ao desenrolar de uma operação de resgate e salvamento. O conhecimento das condições globais de posicionamento de navios e obstáculos (naturais ou não) é uma das componentes essenciais ao planeamento da segurança da navegação e pode ser facilitada pela utilização do centro de fusão de dados que é um SIG.

Os projectos em que as nossas ferramentas e pessoas estão envolvidas ao nível da Marinha, da EMSA e da NATO são exemplos de utilização dos SIG na segurança da navegação.

BIBLIOGRAFIA

IMO Resolution MSC.74(69), Annex 3, Recommendation on Performance Standards for an Universal Shipborne Automatic Identification Systems (AIS)

IMO Resolution A.917(22), Guidelines for the onboard operational use of a Shipborne Automatic Identification Systems (AIS).

IMO Safety of Navigation Circular.227, Guidelines for the installation of a Shipborne Automatic Identification Systems (AIS)

IALA GUIDELINES ON THE AUTOMATIC IDENTIFICATION SYSTEM (AIS) VOLUME 1
 o Part I - Operational Issues, Edition 1.3
 o Part II - Technical Issues, Edition 1.1

IALA Technical Clarifications on Recommendation ITU-R M.1371-1

IEC 61993-2 Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems - Automatic identification systems (AIS) - Part 2: Class A shipborne equipment of the universal automatic identification system (AIS) - Operational and performance requirements, methods of test and required test results

ITU Recommendation M.1371 - Technical characteristics for a universal shipborne automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile band

<http://www.imo.org/safety>

<http://www.marinetraffic.com/ais/>

ACRÓNIMOS

EMSA – European Maritime Safety Agency

IMO – International Maritime Organization

NATO – North Atlantic Treaty Organization

Optimização de um sistema de informação geográfica para a zona costeira portuguesa

O. Filgueiras (1), J. Pais-Barbosa (2), A. C. Teodoro (2)

(1) Departamento de Matemática, Faculdade de Ciências da UP, octavio.fil@gmail.com

(2) Centro de Investigação em Ciências Geo-Espaciais, Faculdade de Ciências da UP

Resumo: O estudo da morfologia costeira necessita de um sistema que permita o armazenamento, visualização e análise de diferentes tipos de dados (*raster*, vectorial e alfanuméricos) resultantes de vários estudos relacionados com a hidromorfologia da zona costeira portuguesa e que se encontram armazenados em ambiente SIG. Contudo, este SIG necessita de uma reestruturação/actualização, sendo necessário optimizá-lo com o objectivo de armazenar, consultar e actualizar os diversos tipos de dados de uma forma simples e eficaz. Deste modo, está a ser desenvolvida uma nova estrutura de base de dados, bem como a criação de um conjunto de interfaces gráficas que permitirão optimizar o armazenamento, a consulta e a visualização dos mesmos. Está também a ser desenvolvida uma aplicação com a descrição e conceitos teóricos dos diferentes elementos morfológicos presentes na base de dados, e uma aplicação *websig* que irá permitir a visualização e consulta dos dados existentes e uma actualização contínua.

Palavras chave: SIG, hidromorfologia, base de dados geográfica, *websig*

1. INTRODUÇÃO

A zona costeira é, uma zona de interligação entre a terra e o mar, constituindo uma fronteira sujeita a contínuas alterações morfodinâmicas, modeladas por processos de origem terrestre e marinha. Apresenta uma grande variabilidade temporal e espacial, comportando-se como um sistema ambiental instável, desde o passado remoto até aos nossos dias, em função de uma série de processos geológicos terrestres e marinhos, muitos dos quais são fundamentalmente controlados por factores meteorológicos (Silva *et al.*, 2004).

Cerca de 70% do total da população nacional habita na zona costeira e, de acordo com os censos de 2001, é nos distritos litorais que a densidade populacional tem sofrido aumentos mais significativos. Deste modo, torna-se necessário planear as frentes urbanas costeiras, para que as acções do mar e os processos erosivos não ponham em risco vidas humanas e a perda de habitats seja minimizado (Teodoro *et al.*, 2002).

Devido à sua característica de contínuas alterações morfodinâmicas, caracterizadas por rápidas mudanças a curto prazo (dias e semanas), torna-se difícil de prever e controlar a médio prazo (períodos de meses ou anos) as alterações do seu relevo e constituição, tornando-se um dos sistemas mais problemáticos para os gestores ambientais e engenheiros civis (Raper *et al.*, 2003).

Tendo em consideração que o conhecimento sobre a zona costeira, no que diz respeito à interacção dos diversos processos físicos, em

particular na zona de transformação da agitação (empolamento, rebentação, espraiamento e refluxo) é reduzido, quando comparado com outras áreas, em especial as emersas, foi desenvolvido um projecto cujo objectivo era apresentar uma perspectiva interdisciplinar, no âmbito da geomorfologia e hidrodinâmica costeiras e das Tecnologias de Informação Geográfica (TIG). Com base na utilização das TIG, nomeadamente os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e as técnicas de Detecção Remota (DR), identificaram-se, determinaram-se e tipificaram-se padrões morfológicos, morfodinâmicos e hidrodinâmicos, bem como verificou-se qual a sua evolução temporal (Pais-Barbosa, 2007).

Contudo, o SIG desenvolvido por Pais-Barbosa (2007) carece de algumas alterações de forma a melhorar o seu desempenho, especialmente no que diz respeito aos dados vectoriais. Posto isto, é objecto de estudo deste trabalho a reestruturação e/ou actualização do SIG desenvolvido, sendo necessário optimizá-lo com o objectivo de tornar o armazenamento, consulta e actualização dos diversos tipos de dados mais simples e eficaz.

A zona de estudo que serve de base para o desenvolvimento deste SIG localiza-se na costa Noroeste Portuguesa, mais especificamente no distrito de Aveiro. Situa-se na envolvente das restingas Norte e Sul do sistema lagunar da Ria de Aveiro, apresentando um comprimento linear total de aproximadamente 47 km. A zona de estudo foi dividida em três sectores:

- **Sector A** – De Esmoriz (esporão Sul de Paramos) até ao Furadouro (11,4 km);

- **Sector B** – Do Furadouro até à Torreira (13,3 km);
- **Sector C** – Do quebramar Sul da embocadura da Ria de Aveiro até à praia de Mira (22 km).

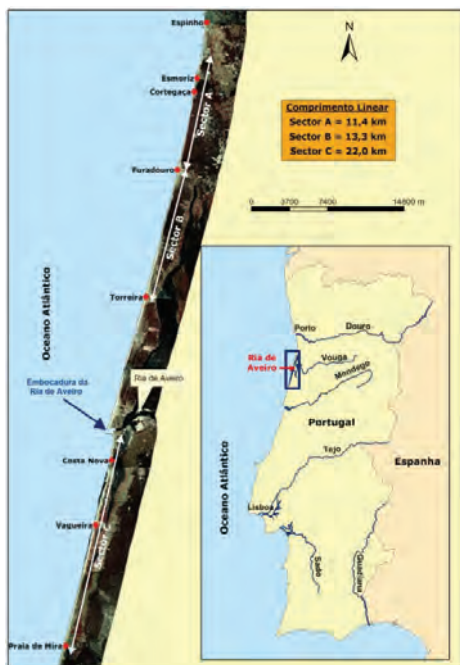


Fig. 1. Localização dos sectores em estudo.

Um dos motivos que levou a esta escolha prende-se com o facto de esta área ser uma das zonas mais críticas de Portugal, no que diz respeito ao processo erosivo costeiro, com elevadas taxas de recuo da linha de costa e um elevado grau de destruição da duna frontal (Pais-Barbosa, 2007).

2. ESQUEMA DO SIG

Na figura 2 encontra-se o esquema do SIG que está a ser desenvolvido e que pode ser dividido em três componentes distintas:

- informação base;
- armazenamento da informação base;
- acesso à informação (monoposto e *web*).

A informação que serve de *input* para o SIG não corresponde na íntegra aos dados originais, pois foi necessário proceder a um tratamento prévio da informação e que se encontra explicado na secção 3. A informação existente encontra-se dividida em dois grupos: dados *raster* e dados vectoriais.

Os dados foram armazenados em diferentes repositórios de informação conforme se tratem de dados *raster* ou vectoriais. Os dados vectoriais são importados para uma Base de Dados Geográfica (BDG), ao passo que os dados de imagens são armazenados numa unidade de armazenamento autónoma.

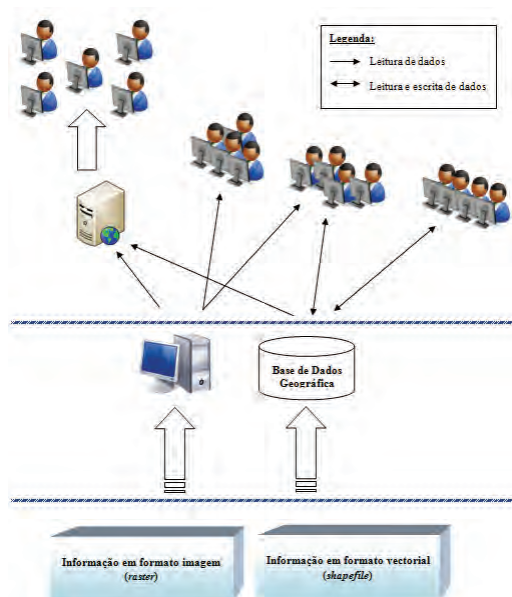


Fig. 2. Esquema do SIG.

O acesso à informação pode ser feito de duas formas: através de um *software* SIG monoposto ou através de um portal geográfico. A única restrição que existe relativamente ao *software* SIG monoposto prende-se com a capacidade deste conseguir conectar-se e ler os dados de uma BDG assente na tecnologia *PostgreSQL* (<http://www.postgresql.org/>, 2010) com *PostGIS* (<http://postgis.refractor.net/>, 2010).

3. TRATAMENTO DOS DADOS

Conforme referido, os dados estão divididos em duas grandes classes: *rasters* no formato *geo tiff* e vectoriais no formato *shapefile*.

Independentemente do tipo de dados, o sistema de coordenadas inicial era o Datum 73, tornando-se imprescindível a sua transformação para o sistema de coordenadas ETRS 89 (*European Terrestrial Reference System 89*), obedecendo à directiva INSPIRE que, entre outras regras, impõe que os dados geográficos para a região de Portugal se encontrem neste sistema (<http://inspire.jrc.ec.europa.eu/>, 2010).

3.1. Tratamento da Informação Raster

A informação *raster* encontra-se armazenada numa unidade de armazenamento organizada hierarquicamente por sectores, anos e meses. Os motivos que levaram à escolha deste tipo de armazenamento, e não de uma BDG, prendem-se essencialmente com questões de facilidade de acesso, actualização e transporte da informação. Posto isto, apenas foi necessário proceder à transformação do sistema de coordenadas de Datum 73 para ETRS89. De entre alguns

métodos estudados, optou-se pelo método de grelhas (Gonçalves, 2009), pois era aquele cujos resultados foram mais satisfatórios, obtendo-se erros médios quadráticos na ordem dos 4 centímetros (Fonseca, 2009). Paralelamente foram criadas grelhas que facilitam o acesso aos dados *raster*, utilizando a tecnologia *opensource* *FWTools* (<http://fwtools.maptools.org/>, 2010). Através destas grelhas (ficheiros *shapefiles*) cada quadrícula referencia uma imagem específica, o que maximiza a organização do catálogo de dados.

3.2. Tratamento da Informação Vectorial

A informação vectorial é a que mais elementos possui para consulta e armazenamento, encontrando-se armazenada numa BDG. Antes da sua importação para a BDG foi necessário proceder às seguintes operações: (1) correcção topológica e alfanumérica das *shapefiles*; e (2) reestruturação da BDG.

3.2.1. Correcção Topológica e Alfanumérica

Além do processo de transformação do sistema de coordenadas das *shapefiles*, utilizando o método de grelhas referido anteriormente (Gonçalves, 2009), certos elementos continham alguns erros.

A primeira etapa consistiu na união dos dados geográficos (*shapefiles*) com a respectiva informação alfanumérica (tabelas de Excel), obtendo-se um conjunto de *shapefiles* providas de toda informação alfanumérica relevante para o cumprimento dos objectivos do trabalho.

A escolha dos atributos de cada elemento foi baseada numa metodologia e num conjunto de critérios previamente definidos e cujo resultado foi a garantia de que todos os elementos do mesmo tema possuem os mesmos atributos.

No final foi necessário proceder à limpeza geométrica de alguns temas eliminando, sempre que necessário, registos que tinham sido resultado de erros de diversas origens.

3.2.2. Reestruturação da base de dados geográfica

Foi reestruturada uma BDG, denominada COastal MORphoDYnamics (COMODY), com o objectivo de armazenar a informação por temas e não por *shapefiles* como se encontrava anteriormente organizada.

A escolha do motor da base de dados estava dependente de alguns factores, tais como:

- **fiabilidade** – ao nível da performance e das operações que podem ser executadas;
- **facilidade de manuseamento** – interface gráfica amigável;
- **custo** - aquisição e manutenção do *software*.

Após vários estudos foi escolhido como BDG o *software opensource* PostgreSQL com a componente geográfica PostGIS.

3.2.3. Importação dos dados vectoriais

A importação dos dados vectoriais para a base de dados foi dividida em duas fases distintas e complementares: criação de uma tabela na BDG com o nome do tema em questão, importando de forma automática um elemento (*shapefile*) desse tema; e numa segunda fase apenas a importação dos elementos de um determinado tema para a respectiva tabela na BDG. A grande diferença entre estas duas fases prende-se com o facto de a primeira só poder ser utilizada antes do tema ser criado na BDG, ao passo que a segunda é utilizada sempre que é necessário adicionar um elemento novo a um tema previamente criado. Simultaneamente está a ser desenvolvida uma aplicação de *backoffice* que facilite ao utilizador a criação de novos temas e importação de elementos a temas existentes.

4. RESULTADOS

Tendo em consideração o facto de o universo de dados a tratar ser extenso, optou-se por criar um protótipo com alguns temas que, pelas suas características, melhor representam o universo em causa:

- Arribas de Erosão (tema de linhas);
- Barras Submersas (tema de polígonos);
- Correntes de Retorno (tema de pontos) divididas em:
 - Correntes de Retorno;
 - Correntes de Mini Retorno;
 - Correntes de Mini Retorno de Fraca Intensidade.

Na figura 3 encontra-se representada a BDG com os temas do protótipo carregados.

O acesso à BDG pode ser feito através de um *software* que tenha a capacidade de ler dados armazenados em PostgreSQL com componente geográfica em PostGIS tal como, por exemplo, o QuantumGIS (<http://qgis.org/>, 2010).

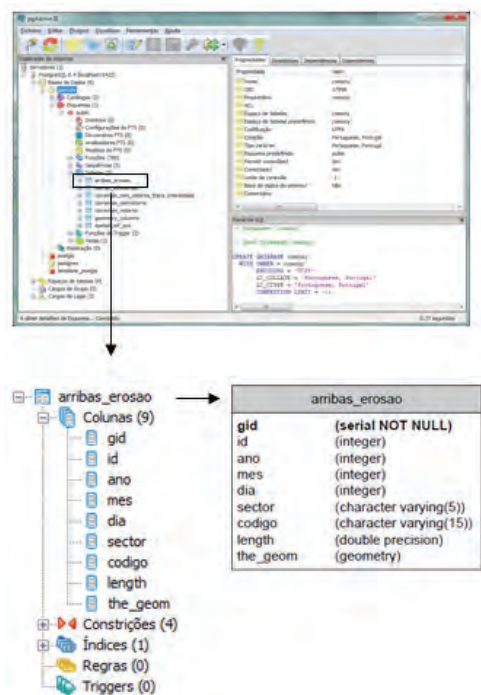


Fig. 3. Base de dados e catálogo de um dos temas.

5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A reestruturação/actualização do SIG desenvolvido para a zona costeira portuguesa visa otimizar o armazenamento, a consulta e a visualização dos dados que o compõem, facilitando não só o acesso a esses dados, mas também a sua actualização e manutenção. Além disso, e respondendo às directivas INSPIRE, todos os dados existentes foram convertidos para o sistema de coordenadas ETRS89. A BDG reestruturada encontra-se, neste momento, estabilizada, tendo sido construída de modo a que a informação possa ser acedida de forma simples e célere. Outro aspecto que foi tido em consideração está relacionado com os processos de actualização dos dados: a estrutura apresentada permite, de forma simples, a criação de novos temas geográficos, assim como a importação de elementos para temas já existentes e carregados na BDG.

O acesso aos dados geográficos é feito através de um software de SIG que tenha a capacidade de se conectar a uma BDG desenvolvida sobre a plataforma PostgreSQL/PostGIS, sendo um dos objectivos deste projecto a criação de um websig. Convém salientar que todo este SIG está a ser elaborado tendo em consideração os custos da solução (aquisição e manutenção de software de armazenamento e acesso a dados geográficos). As principais dificuldades sentidas até esta fase, estão relacionadas com a definição e estruturação dos atributos que cada tema geográfico deveria

conter e que teriam de obedecer ao objectivo do estudo em causa. Ultrapassado o problema, foi criado um catálogo de dados para cada tema, assim como um conjunto de pré-requisitos que estes têm de cumprir para que possam ser inseridos correctamente no SIG.

Este trabalho está a ser desenvolvido no âmbito de uma dissertação do 2º ciclo em Engenharia Matemática da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto e, além do objectivo já referido, pretende estabilizar o modelo de dados para o sector A da zona de estudo, automatizando alguns processos de manutenção da BDG e do próprio SIG.

REFERÊNCIAS

Fonseca, D., (2009). Aplicação de Sistemas de Informação Geográfica na área dos transportes – customização de softwares relativos à definição e conversão de sistemas de coordenadas usados em Portugal, Tese de Mestrado, FCUP.

Gonçalves, J.A. (2009). Conversões de sistemas de coordenadas nacionais para ETRS89 utilizando grelhas. *Actas da Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia (in press)* INSPIRE, European Commission, Inspire Directive. <http://inspire.jrc.ec.europa.eu/> (acedido em 30 de Maio de 2010).

Pais-Barbosa, J., (2007). Hidromorfologias e Hidroformas Costeiras Locais. Tese de Doutoramento, FEUP.

PostGIS, Spatial database extension for PostgreSQL. <http://postgis.refractor.net/> (acedido em 25 de Maio de 2010).

PostgreSQL, Data Base Management System. <http://www.postgresql.org/about/> (acedido em 25 de Maio de 2010).

QuantumGIS, Quantum GIS. <http://qgis.org/> (acedido em 25 Maio de 2010).

FWTools, Open Source GIS Binary Kit for Windows. <http://fwtools.maptools.org/> (acedido em 25 Maio de 2010)

Raper, J., Livingstone, D., Bristow, C., McCarthy, T., (2003). Constructing a geomorphological database of coastal change using GIS. *Coastal and Marine Geo-Information Systems*. Kluwer Academic Publishers, pp. 399-413.

Silva, C. G., Patchineelam, S. M., Neto, J. A., Ponzi, V. R., (2004). Ambientes de sedimentação costeira e processos morfodinâmicos atuantes na linha de costa. *Introdução à geologia marinha*. Editora Interciência Lda., 279p.

Teodoro, A. C., Marçal, A., Veloso-Gomes, F., (2002). A utilização de satélites de observação da terra para a monitorização das zonas costeiras. *Ingenium*, pp. 70-76.

Erosões e sedimentações no estuário do Sado. Geoprocessamento automático considerando a distribuição de contaminantes.

E. Carneiro (1), E. Dias (2) e A. Santos Ferreira (3)

(1) Administração dos Portos de Setúbal e Sesimbra, S.A. (ECARNEIRO@portodesetubal.pt)

(2) Doutoranda da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

(3) Instituto Portuário e dos Transportes Marítimos, I.P.

Resumo: A operação portuária é fortemente condicionada pela morfodinâmica estuarina, considerando os fenómenos de erosão e sedimentação, com a repercussão que os mesmos têm na manutenção de canais navegáveis.

No sentido de manter as condições de operacionalidade e de segurança, do porto, torna-se necessário proceder a dragagens de manutenção periódicas, as quais são sustentadas por um plano de monitorização. Como estudo de caso, foi seleccionado o estuário do Sado.

Acresce ainda que, sendo este estuário um ecossistema sensível, importa igualmente, para além dos efeitos morfodinâmicos, considerar a matriz de deposição de eventuais contaminantes, designadamente por metais pesados e outros nos termos da legislação em vigor.

Esta problemática será, neste estudo, analisada com base em dados topohidrográficos detalhados, com referenciação das alterações provocadas por dragagens de manutenção, análises físico-químicas de sedimentos, com recurso a geoprocessamento automático em ambiente SIG, identificando a distribuição espacial das zonas de erosão e deposição de sedimentos permitindo a delimitação das mesmas. De igual modo se procede para a identificação, e respectivas delimitações, das zonas que apresentem as diferentes tipologias de contaminação investigadas.

Deste modo pretende-se, por um lado, dar um contributo para a gestão e planeamento das dragagens de manutenção, e por outro lado, considerando igualmente os padrões de distribuição espacial da contaminação estudados, ajudar a definir o eventual destino dos produtos dragados.

Palavras chave: Dragagens, sedimentos, *Model Builder*, hidrodinâmica.

1. INTRODUÇÃO

O estuário do Sado é um dos mais importantes estuários portugueses, não só pelas suas dimensões, como também pela relevância das actividades sócio-económicas e variedade morfológica.

Toda a margem Norte na área estuarina, comporta intensa actividade humana, com usos de solo e densidades populacionais muito intensas (724 hab/km² – INE 2009), contribuem para uma elevada pressão antrópica, resultado do crescimento urbano e industrial, a que não é alheio o porto de Setúbal um dos mais importantes portos nacionais. Pela proximidade desta grande infra-estrutura - o porto marítimo - e pelo seu efeito polarizador, foram factores geradores da fixação de grandes estaleiros de construção e reparação naval (Lisnave); central termoeléctrica, indústrias de celulose (Inapa e Portucel), cimenteira (Secil e Cimpor); cluter automóvel (VW); indústrias químicas (Saptec e parque industrial); Metalomecânica pesada (Alston/ABB); tancagem de combustíveis (Tanquisado e eco-oil).

Pelas suas particulares condições de abrigo e pela amenidade do clima, há muito que se desenvolve uma intensa actividade piscatória e mais

recentemente (cerca de meio século), as actividades lúdicas, recreio náutico e turismo têm vindo a desenvolver-se de forma muito substantiva.

A nascente e a poente, encontram-se localizadas duas áreas com regime de protecção da natureza Reserva natural do Estuário do Sado – RNES e Parque Natural da Arrábida – PNA, que sendo áreas protegidas, implicam e obrigam a cuidados especiais e próprios dada a sua elevada sensibilidade ambiental.

A acessibilidade ao porto faz-se através de três canais, a saber: Barra, Norte e Sul, os quais por resultado dos processos hidrodinâmicos estão sujeitos a multi e variados fenómenos, entre os quais a erosão e acreção, facto que obriga a trabalhos de dragagem de manutenção periódicos de forma a garantir adequados calados operacionais.

2. O ESTUÁRIO DO SADO

No estuário do Sado ocorre um complexo aluvionar fluvio-marítimo, subjacente a formações plio-pleistocénicas. Este complexo é constituído por lodos e areias, enquanto as formações plio-pleistocénicas são de natureza areno-argilosa com níveis de seixo e cascalheiras (do estudo de caracterização geológica

realizado pela Divisão de Geotecnia da Direcção-Geral de Portos, em 27/06/91).

No estudo de caracterização geológica realizado pela Divisão de Geotecnia da Direcção-Geral de Portos, em 27/06/91 foram realizadas diversas sondagens geotécnicas executadas no canal Norte, na zona central do porto, concluiu que as sondagens executadas até profundidades da ordem de (-20 m a -26 m) ZH, “só atravessaram e atingiram aluviões depositados num ambiente estuarino, com uma componente marinha mais acentuada”, o que poderá ser interpretado como resultante do “poder da correntes de vazante que escavavam e dispersavam as aluviões fluviais, ou de dragagem que removeram as formações superficiais mais resistentes, correspondendo as existentes a formações superficiais mais antigas depositadas em fases anteriores do rio Sado”.

O relatório classifica as formações atravessadas da seguinte forma: “os aluviões são, na sua maioria, incoerentes. Predominam as areias finas e médias, mas em profundidade os elementos passam a mais grosseiras com o aparecimento de alguns níveis com seixos e calhaus rolados. As correntes estão representadas por um pequeno nível de silte na zona mais protegida de toda a área e por alguns níveis pouco representativos de argila, sem continuidade quase sempre a cotas inferiores a -20 m (ZH). Em compensação, nos níveis incoerentes, têm a presença de partículas de argila misturadas com as areias”.

O relatório concluiu ainda que superficialmente existe uma camada de areia mal calibrada com algum lodo e conchas, de possança variável e SPT muito baixos.

No que respeita aos aluviões incoerentes subjacentes verifica-se que “têm demonstrado comportamento geotécnico mais favorável do que seria de esperar neste tipo de solo. Sempre foi possível realizar SPT atingiram-se valores relativamente altos”.

No que se refere à caracterização dos índices de contaminação dos sedimentos são várias as campanhas de caracterização de sedimentos realizadas pela Universidade de Aveiro e IPIMAR, facto que tem vindo a permitir um conhecimento mais aprofundado do estuário, sendo este artigo um contributo para um conhecimento mais aprofundado e melhoria das práticas ambientais a realizar no decurso das operações de dragagem.

3. MÉTODOS E APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

3.1 Geoprocessamento automático para gestão de dragados

No âmbito de uma gestão ambiental integrada de dragagens em áreas portuárias (Paixão, 2000; Paixão, 2001; Dias, 2002; Dias, 2005) foi desenvolvida uma solução que visa estabelecer uma base comum de trabalho para a produção de

cartografia da qualidade ambiental de sedimentos de áreas portuárias, no âmbito das operações de dragagem e gestão ambiental dos materiais dragados.

O sistema de análise desenvolvido, denominado por MAZD Tools – Modelo Ambiental para Zonas de Dragagem, implementa o modelo conceptual de análise e classificação da qualidade dos sedimentos a dragar em áreas portuárias, de acordo com a legislação em vigor (Portaria 1750/2007, de 12 de Novembro), automatizando a produção de mapas (Silva, 2003), que incluem a conversão de diferentes formatos de dados, a geração de superfícies de contaminação por métodos de interpolação (Soares, 2000) das várias substâncias contaminantes, a classificação de sedimentos, o zonamento ambiental de áreas de dragagem e o cálculo de áreas e volumes de dragados para cada tipologia de sedimentos (neste caso 5 classes de contaminação). Este sistema foi desenvolvido recorrendo à aplicação Model Builder do software ArcGIS (ESRI, 2008a, 2008b) e, consiste num conjunto de ferramentas, que operam de forma sequencial no cálculo dos diversos componentes do modelo, permitindo a arquitectura de modelos num projecto, com o pressuposto de se obter uma ferramenta que funciona dentro do ArcToolbox. Assim, foram construídos seis modelos (M1 a M6), cada um deles com processos específicos de forma a obterem-se mapas de saída com a informação desejada e, que seguidamente se discriminam.

M1 – Modelo de conversão de entidades CAD em entidades vectoriais *shapefile*.

M2 – Modelo de cálculo de modelos digitais de profundidades (*tin e raster*).

M3 – Modelo de interpolação das substâncias contaminantes (método determinístico IDW).

M4 – Modelo de classificação de sedimentos (Portaria 1750/2007).

M5 – Modelo de zonamento ambiental dos sedimentos de áreas portuárias.

M6 – Modelo de cálculo de áreas e volumes de deposição e erosão/dragagem.

A título ilustrativo, apresentam-se nas Figuras 1 a 3 os modelos M2, M3 e M4.

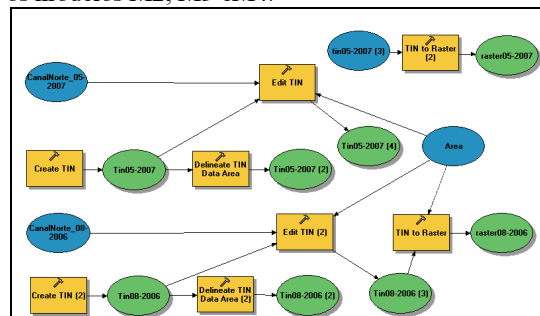


Figura 1. M2 – Modelo de cálculo de modelos digitais de profundidades.

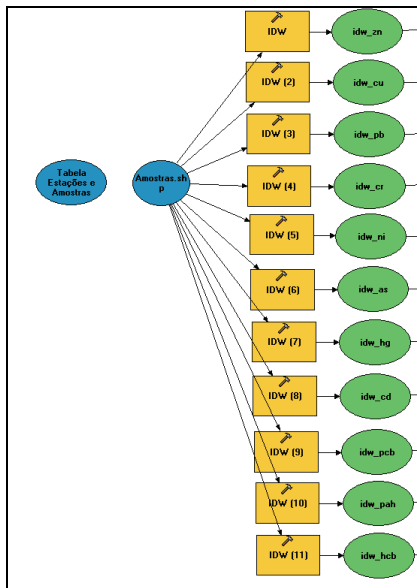


Figura 2. M3 – Modelo de interpolação das substâncias contaminantes.

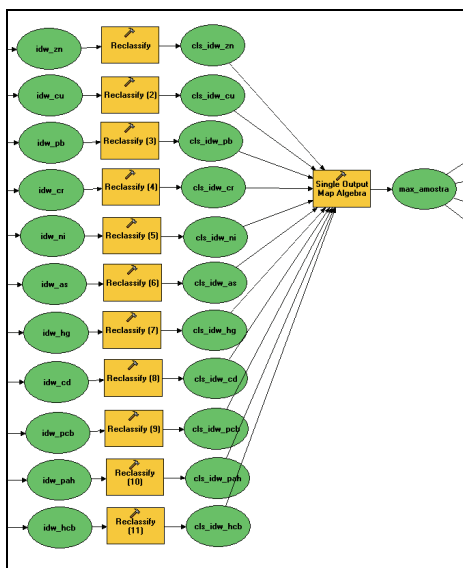


Figura 3. M4 – Modelo de Classificação de sedimentos.

3.2 Apresentação de resultados

Da implementação daqueles modelos, obtiveram-se os mapas de saída que são apresentados nas Figuras 4 a 8.

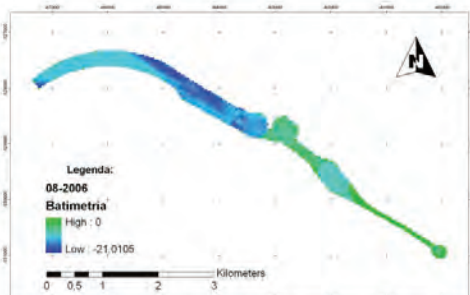


Figura 4. Mapa do modelo digital de altitudes (tin) obtido pelo M2.

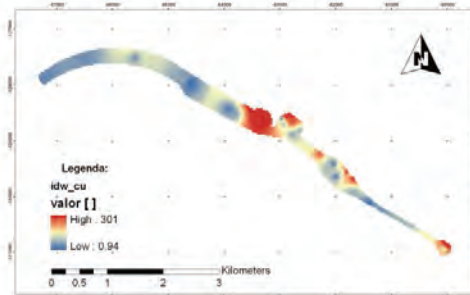


Figura 5. Mapa de interpolação das substâncias contaminantes (num total de 11 contaminantes apresenta-se o Cu), obtido pelo M3.

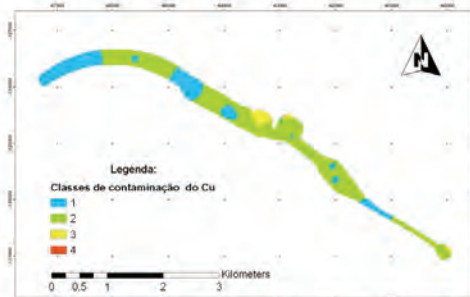


Figura 6. Mapa de classificação de cada substância química presente nos sedimentos (num total de 11 contaminantes apresenta-se o Cu), obtido pelo M4.

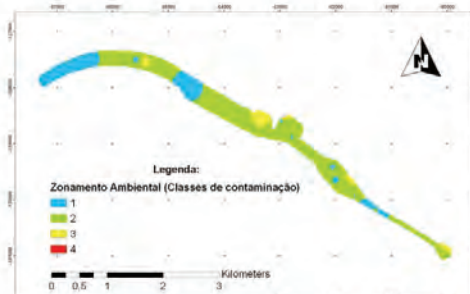


Figura 7. Mapa do zonamento ambiental dos sedimentos de áreas portuárias, obtido pelo M5.

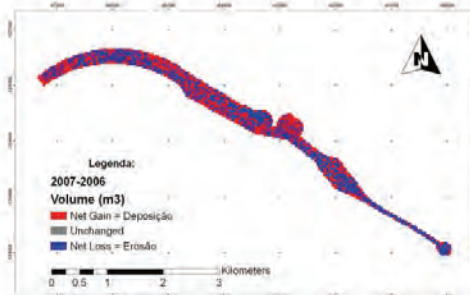


Figura 8. Mapa das áreas de erosão/ dragagem e deposição, obtido pelo M6.

4. HIDRODINÂMICA DO ESTUÁRIO

A erosão e deposição de sedimentos num estuário estão intimamente ligadas à sua hidrodinâmica (Santos-Ferreira, 2006). Assim, e pretendendo-se identificar a origem das fontes poluentes dos

sedimentos que se depositam neste estuário, importa desenvolver um estudo hidrodinâmico adequado.

Existem já diversos estudos, de vários autores, sobre a temática geral da hidrodinâmica do estuário do Rio Sado. No entanto, no âmbito destes estudos, está a ser implementado um novo modelo, baseado nos seguintes pressupostos:

- A construção de barragens em toda a bacia hidrográfica do Sado limitou os caudais ocorrentes, pelo que a hidrodinâmica estuarina é, essencialmente, determinada pela maré;
- As situações de cheia que podem ocorrer não são determinantes para a deposição de contaminantes nos sedimentos, com os padrões detectados neste estudo;
- As situações de cheia são determinantes para fenómenos pontuais de erosão e deposição de sedimentos que não se enquadram nos padrões correntes determinados.

Assim está a ser implementado um novo sistema hidrodinâmico do estuário, baseado no interface SMS, e que integre a hidrodinâmica, o transporte sólido e o transporte de contaminantes.

Com a calibração deste sistema espera vir a determinar-se a origem dos contaminantes e seu modo de transporte, bem como a origem e circulação dos sedimentos do estuário, contribuindo assim para uma gestão mais eficiente dos dragados no Porto de Setúbal.

5. CONCLUSÕES

O sistema de análise desenvolvido - MAZD Tools, considera-se adequado e responde às necessidades portuárias no que respeita a uma gestão ambiental integrada de dragagens. No entanto, salienta-se que existem limitações de processamento em domínio totalmente automático, que se deve ao actual estado de desenvolvimento da tecnologia Model Builder, pelo que é desejável o aperfeiçoamento da mesma, para que o geoprocessamento automático venha a ser utilizado pelo maior número de utilizadores dentro da comunidade portuária, ou que fora dela queiram adaptar este sistema a outras realidades.

Em paralelo, a modelação em curso, acoplando modelos hidrodinâmico, de transporte sólido, e de transporte de contaminantes, permitirá a breve prazo identificar as fontes poluidoras e, conseqüentemente, por acção directa sobre aquelas fontes, reduzir significativamente a contaminação dos sedimentos deste estuário.

REFERÊNCIAS

Brito, P.J.O. 2010, Impactes da elevação do nível médio do mar em ambientes costeiros: O caso do estuário do Sado. Tese de Doutoramento, U.Lisboa.

Dias, E., 2002 - O IMP e os Procedimentos Ambientais em Áreas de Administração Portuária, Revista MAR, Boletim do Instituto Marítimo-Portuário, 10, 46-49.

Dias, E., 2005 - Utilização de um sistema de informação geográfica na caracterização de áreas de dragagem. Dissertação de mestrado, ISEGI, UNL.

Hidromod: Estudo em modelo matemático do estuário do Sado, canais Norte e Barra; Silva, Adélio

Paixão, G.L., 2000 - Gestão Ambiental Integrada de Dragagens nas Zonas Costeiras e em Áreas Portuárias: Seminário EUROCOAST: Perspectiva de Gestão Integrada de Ambientes Costeiros (Coimbra, Portugal: Universidade de Coimbra)

Paixão, G.L., 2001 - Operações de Dragagem, Dragados e Procedimentos Ambientais (URL: <http://www.geocities.com/gpaixao/PIANC-ENG-COST-PORT-NOVA-OUT-2001-GILBERTO-PAIXAO.doc>, consulta em 20-06-2003).

Portaria n.º 1450/ 2007, de 12 de Novembro.

Santos-Ferreira, A.M.G. 2006. Impacte do plano do porto de Portimão na hidrodinâmica do estuário do Arade. Dissertação de Mestrado, Julho de 2006, IST, Lisboa.

Silva, A.P.F. 2003, Cartografia geotécnica e o sistema de informação Geo-Almada. Tese de Doutoramento (Geotecnia), FCT/UNL, Monte de Caparica, 2 vols.

Soares, A., 2000 - Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente (Lisboa: IST Press).

Tecnasol 1994, Reconhecimento geológico nos canais de navegação, Porto de Setúbal, Março

GeoDist – ferramenta de cálculos geodésicos no ArcGIS

F. G. Brandão (1), A. Campos (1), A. Navarro (2), A. Lobo (1) e a equipa da EMEPC

(1) Estrutura de Missão para a Extensão da Plataforma Continental (EMEPC) - fbrandao@emepc-portugal.org

(2) Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, LATTEX-IDL

Resumo: O *ArcGIS Desktop*, uma das aplicações mais utilizada pela Estrutura de Missão para a Extensão da Plataforma Continental (EMEPC), não dispunha até à versão 9.3 de uma ferramenta de permitisse efectuar cálculos geodésicos pelo que foi desenvolvida no seio da EMEPC uma ferramenta (*GeoDist*), que permitisse ultrapassar essa limitação, utilizando o algoritmo de Vincenty. A ferramenta desenvolvida foi validada por comparação com outras ferramentas já existentes (uma aplicação disponibilizada on-line pelos Serviços de Geociências Australianos, que utiliza o algoritmo de Vincenty, o *Geocap* e o *CARIS-LOTS*). No cálculo de distâncias, as diferenças máximas registadas situaram-se na ordem do centímetro. Na execução de *buffers*, a variação máxima de área foi de 4.11 E-1% no caso do *Geocap* e de 5.98 E-3% no caso do *CARIS-LOTS*. Como a versão 9.3 *ArcGIS Desktop* já permite o cálculo de distâncias geodésicas, foram comparados os seus resultados, com os obtidos com o *GeoDist*. As diferenças máximas foram de 4.4 E-4m e de 5.36 E-3% respectivamente para as distâncias e área de *buffers* geodésicos.

Palavras-chave: distância geodésica, *buffers*, algoritmo de Vincenty, *ArcGIS*

1. INTRODUÇÃO

Depois de entregue a proposta de extensão da plataforma continental de Portugal, a 11 de Maio de 2009 nas Nações Unidas, a Estrutura de Missão para a Extensão da Plataforma Continental (EMEPC) tem vindo a dar seguimento aos trabalhos que permitam o melhoramento da referida proposta. Devido à natureza destes trabalhos, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) assumem um papel essencial na sua execução, funcionando como ferramentas de cálculo, análise e interpretação da informação que Portugal tem ao seu dispor. Apesar de largamente difundido, o pacote aplicacional *ArcGIS* da *ESRI* não possuía, até à versão 9.3, uma ferramenta de cálculo de distâncias geodésicas. A necessidade de suprimir esta lacuna, levou ao desenvolvimento de uma ferramenta que desse resposta aos problemas directo e inverso da geodesia (utilizando o algoritmo de Vincenty) e ainda que permitisse traçar *buffers* geodésicos.

2. ENQUADRAMENTO

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projecto de extensão da plataforma continental de Portugal. Todos os critérios de extensão da plataforma continental, são directamente dependentes do cálculo de distâncias geodésicas, tal como estabelecido no artigo 76º da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar – “dado que de acordo com o artigo 76º as distâncias são calculadas ao longo do caminho mais curto, todas as distâncias são por definição geodésicas e tem de ser adoptada uma metodologia rigorosa para o cálculo do comprimento de uma geodésica” (Cook e Carleton, 2000).

Uma geodésica é a curva que corresponde à distância mais curta entre dois pontos na superfície do elipsóide de referência. A partir desta definição levantam-se dois problemas, que foram resolvidos neste trabalho:

Problema directo – dada a latitude e longitude geodésicas (φ_1, λ_1) de um ponto na superfície do elipsóide, em conjunto com o azimute inicial α_1 e a distância geodésica s , encontrar o ponto final (φ_2, λ_2) e o azimute inverso α_2 da geodésica em (φ_2, λ_2) ;

Problema inverso – dados dois pontos (φ_1, λ_1) e (φ_2, λ_2) na superfície do elipsóide, calcular a distância geodésica s entre eles, e o azimute directo α_1 e inverso α_2 da geodésica em (φ_1, λ_1) e (φ_2, λ_2) respectivamente (Thomas e Featherstone, 2005).

Para responder aos problemas acima expostos, utilizou-se o algoritmo desenvolvido por Thadeus Vincenty em 1975, onde as soluções directa e inversa de geodésicas no elipsóide, são obtidas por aplicação de equações iterativas. O algoritmo de Vincenty parece ganhar cada vez mais relevância, dados os actuais recursos computacionais, assumindo-se como método preferencial para o cálculo dos problemas directo e inverso. Trata-se de um método que adopta um procedimento iterativo, sendo o número de iterações reduzido (tipicamente 3 ou 4) e que não exige grande capacidade de processamento à máquina em que se implementa (Thomas e Featherstone, 2005).

3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do *GeoDist* foi utilizado o software *Visual Studio .Net* da *Microsoft*, que permite a programação de *ArcObjects* da *ESRI*.

A aplicação desenvolvida foi dividida em três módulos: *Vincenty's Direct Method*, *Vincenty's Direct Method – Multi-options* e *Vincenty's Inverse Method*. Os módulos que permitem resolver os problemas directo e inverso da geodesia têm um modo de funcionamento semelhante. Para funcionamento dos módulos é apenas necessário ter carregada no ArcGIS uma *layer* de pontos e saber o respectivo sistema de coordenadas. No módulo *Vincenty's Direct Method* o utilizador necessita de seleccionar um ponto, indicar o elipsóide correspondente ao sistema de coordenadas em que se encontram os dados, o azimute e a distância, devolvendo o programa o ponto destino e o azimute inverso. No módulo *Vincenty's Inverse Method*, o utilizador tem de seleccionar dois pontos, indicar o elipsóide correspondente ao sistema de coordenadas em que se encontram os dados e escolher as unidades de distância em que quer o resultado. O programa devolve a distância e os azimutes directo e inverso entre os dois pontos. Para o módulo *Vincenty's Direct Method – Multi-options*, várias questões tiveram que ser consideradas. Para explicar o modo de funcionamento deste módulo, imagine-se um ponto sobre o qual se quer gerar um *buffer*. Faz-se uso do método directo para o cálculo de “pontos destino” em torno do “ponto de origem” e com intervalos (em graus) constantes, à distância escolhida para a realização do *buffer*. Durante este processo foi garantido que o intervalo entre pontos e a sua quantidade resultasse num giro de 360°. No final, é feita a união dos pontos originados, o que resulta num polígono que representa o *buffer* pretendido, tal como ilustrado na figura 1.

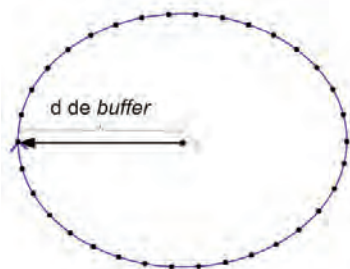


Fig. 1- Processo de realização de buffers.

Uma questão essencial tida em conta foi o facto de a união dos pontos destino ser feita por intermédio de segmentos de recta e não arcos, resultando numa limitação *y*. Para o trabalho em questão pretendeu-se ter um valor mínimo de *y*, usando para tal valores de θ o mais baixos possíveis. A quantificação dos valores de *y* obtidos encontram-se listados na tabela I. Apesar de à partida parecer aconselhável usar um θ o mais pequeno possível, de forma a minimizar esta limitação, foi constatado que esta prática teria grandes implicações em termos de desempenho computacional, no caso de haver uma grande quantidade de objectos para processar. Foram

calculadas as diferenças (*y*) (%) entre as distâncias de *buffer* aplicadas e o segmento de recta gerado, resultantes da adopção de distintos valores de θ sendo que no final optou-se pela utilização de $\theta = 0.5^\circ$ (720 azimutes).

Tab. I – Quantificação do valor de *y*.

Distância	n = 360 $\theta = 0,5^\circ$	n = 720 $\theta = 0,25^\circ$	n = 1440 $\theta = 0,125^\circ$
x = 12 MN	y ≈ 0.84 m	y ≈ 0.21 m	y ≈ 0.05 m
x = 24 MN	y ≈ 1.69 m	y ≈ 0.42 m	y ≈ 0.105 m
x = 60 MN	y ≈ 4.2 m	y ≈ 1.05 m	y ≈ 0.26 m
x = 200 MN	y ≈ 14.1 m	y ≈ 3.5 m	y ≈ 0.88 m
x = 350 MN	y ≈ 24.68 m	y ≈ 6.17 m	y ≈ 1.5 m

Este tipo de metodologia para traçar *buffers* não pode ser aplicada directamente a geometrias de linhas e polígono. A solução encontrada para contornar esta questão foi fragmentar, tanto as linhas como as fronteiras dos polígonos, em pontos. Optou-se por partir linhas em intervalos específicos para cada caso, tendo para tal, sido programada a seguinte fórmula:

$$N = (l/db) * cte \quad (\text{Equação 1})$$

onde **N** é o nº de pontos em que a linha é partida, **l** é o comprimento da linha/perímetro do polígono, **db** é a distância de *buffer* e **cte** é uma constante. A constante serviu de factor de ajuste da fórmula utilizada, e o seu valor foi obtido através de diversos ensaios que de seguida serão explicados. Atribuiu-se à constante os valores 1, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80 e 100. Para cada um destes valores geraram-se *buffers* de 350 MN, 200 MN, 24 MN e 12 MN para o Continente, para a linha de base recta do Continente e para as regiões autónomas, tendo posteriormente sido calculadas as respectivas áreas e elaborados gráficos, tais como o da figura 2.

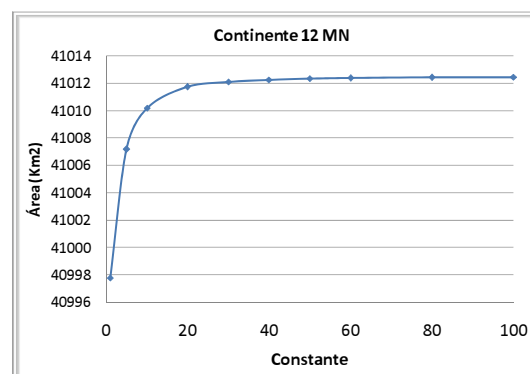


Fig. 2 – Comportamento do GeoDist de acordo com o valor da constante.

A partir destes gráficos facilmente se observou uma tendência de estabilização do valor da área obtida, com o aumento do valor da constante, concluindo-se que quanto maior o seu valor melhores seriam os resultados. Contudo esta prática teria grandes implicações ao nível do desempenho computacional, aumentando significativamente o tempo de execução das tarefas. Como tal, a solução adoptada foi obrigatoriamente de compromisso. Esse compromisso foi alcançado atribuindo à constante o valor de 50. Foram calculados os valores de variação que essa opção traria, no caso de a constante valer 100. As maiores variações foram de 1.55 E-3% e 1.32 E-3, sendo valores que nos pareceram como perfeitamente aceitáveis. Durante o processo de partição das linhas/polígonos, foi ainda assegurado que todos os vértices que unem os segmentos de recta fossem considerados. Outro aspecto que foi tido em conta foram as latitudes e longitudes singulares. Como é sabido, os valores de latitude e longitude têm de estar compreendidos entre -90° e 90° , e -180° e 180° respectivamente. Foi necessário salvaguardar estes intervalos de valores de modo a que quando a latitude fosse igual a 90° ou -90° o programa interpretasse o ponto como estando nos pólos e efectuasse a transição para o lado oposto da Terra. O mesmo tipo de atenção foi dada aos valores de longitude quando maiores ou menores que 180° e -180° respectivamente. Ao manter os valores dentro deste intervalo foi assegurado que o programa respeita o meridiano 180, efectuando nesse ponto a transição entre valores positivos (E) e negativos (W) de longitude.

4. RESULTADOS

Como já referido, os Serviços de Geociências Australianos (SGA) disponibilizam, on-line, a possibilidade de cálculo do problema directo e inverso da geodesia, utilizando o algoritmo de Vincenty. Fazendo uso desta ferramenta, o primeiro passo dado no processo de validação do *GeoDist* foi a comparação directa de resultados utilizando as duas aplicações.

O primeiro problema a ser testado foi o inverso pois permite a sua posterior utilização na validação dos resultados obtidos para o problema directo. Para esta validação procedeu-se à comparação da distância e azimutes entre quarenta pares de pontos. Como resultado, há a registar que dos quarenta pares de pontos, treze registaram a mesma distância, dezassete uma diferença de 1 E-3m e dez uma diferença de 2 E-3m. Quanto aos azimutes resultantes, observou-se uma concordância total nos valores obtidos.

Para validar o módulo de cálculo do problema directo foram seleccionados 40 pontos de origem. A cada um destes pontos foram associados um azimute e uma distância, de modo a se obter um ponto final de destino. Os pontos de origem foram

distribuídos aleatoriamente por todo o globo, as distâncias aplicadas variaram entre as 350 MN e os 20000 km e os azimutes “giraram” ao longo dos 360° . Utilizou-se o módulo de cálculo do problema inverso (já validado) para medir as distâncias entre os pontos de destino calculados com as duas ferramentas. A distância máxima entre os pontos obtidos foi de 8.00 E-3m, tendo-se registado ainda diferenças de 2.00 E-3m (15 pontos), 1.00 E-3m (23 pontos) e sete coincidentes. Os valores de variação de distâncias encontram-se listados na tabela II.

Tab. II – Variação em relação ao *GeoDist*, dos valores de distâncias medidas com a ferramenta dos SGA e *ArcGIS*.

	Medição de distâncias	
	Δ max (m)	Δ min (m)
SGA (Inverso)	2 E-3	0
SGA (Directo)	8 E-3	0
ArcGIS	4.4 E-4	0

Para a validação do trabalho realizado no módulo *Vincenty's Direct Method – Multi-options* foram comparados os resultados da realização de diversos *buffers*, com os obtidos com uso do *Geocap* e do *CARIS-LOTS*. Este processo de validação começou pela geração de variados *buffers* (para distâncias entre as 12MN e as 350MN) incidentes sobre Portugal (Continente, Madeira, Açores, Lisboa e linha de base recta do Continente). A comparação efectuada entre os resultados obtidos com as duas aplicações foi realizada tendo por base a área de cada polígono gerado. Como tal, uma vez obtidos os polígonos, o primeiro passo dado foi a sua projecção. Adoptou-se o elipsóide WGS84 e projecção de Mercator Transversa que é uma projecção conforme e adequada para a elaboração de mapas de regiões com um desenvolvimento predominante na direcção Norte-Sul (Casaca *et al.*, 2005). Para projectar os *buffers* de Portugal Continental adoptou-se o fuso 29, para a Madeira o fuso 28 e para os Açores o 26.

As diferenças entre as áreas de *buffers* a polígonos obtidas com o *GeoDist* e com o *Geocap* é bastante pequena sendo que a variação máxima é de 7.95 E-2%. Os resultados indicam também que, à medida que a distância aplicada ao *buffer* aumenta, essa mesma variação diminui. Este facto regista-se para todos os objectos analisados e chega mesmo, em três casos (Continente, Madeira e Lisboa), a inverter a tendência registada de a área de *buffer* obtida, ser superior quando se utiliza o *GeoDist*. Para confirmar este comportamento, foram comparados *buffers* aplicados apenas a um ponto. Estes poderão dizer mais acerca do funcionamento do algoritmo de cálculo de distâncias geodésicas uma vez que neste caso não existe mais nenhum factor a ter em conta na comparação (como os vértices onde é aplicado). Analisando os resultados deste processo, o que se pode dizer é que a

diferença de área dos *buffers* originados com o *GeoDist* e com o *Geocap* vai diminuindo à medida que a distância aplicada aumenta e a variação máxima registada foi de 4.11 E-1%. Os valores de variação de áreas de *buffers* encontram-se listados na tabela III.

Tab. III – Variação em relação ao *GeoDist*, dos valores de área de *buffers* obtidos com o *Geocap*, *CARIS-LOTS* e *ArcGIS*.

	Área de <i>buffers</i>	
	Δ max (%)	Δ min (%)
Geocap	4.11 E-1%.	1.04 E-4%.
CARIS-LOTS	5.98 E-3%.	8.4 0E-5%.
ArcGIS	5.36 E-3%.	1.59 E-4%.

Para a comparação de resultados com o *CARIS-LOTS*, realizaram-se variados *buffers* incidentes sobre Portugal (Continente, Madeira, Açores e linhas de base recta do Continente e Madeira - esta última desenhada apenas para efeitos de comparações). Os polígonos obtidos foram projectados e a sua área calculada (elipsóide WGS84, projecção de Mercator Transversa).

De um modo geral, o objecto que apresentou maiores diferenças de área (sem contar com os anteriores) foi o Continente, que no entanto apresentou um valor máximo de 1.59 E-1%, não podendo, deste modo, ser considerado como um resultado insatisfatório.

Optou-se por realizar testes comparativos utilizando duas linhas de base recta. A razão para esta opção prendeu-se com o facto de serem geometrias com muito poucos vértices e, como tal, ideais para comparar o algoritmo que foi implementado no *GeoDist*, com o utilizado pelo *CARIS-LOTS*. Este apresentou-se como o modo indicado para validar o primeiro, uma vez que funciona como uma roda, com raio igual à distância do *buffer*, que percorre o objecto em questão e marca a linha deixada pelo seu centro geométrico, sendo a melhor maneira de lidar com geometrias que apresentem segmentos de recta grandes. Os resultados obtidos foram bastante positivos uma vez que, considerando ambas as linhas de base recta, a máxima variação que se registou foi de 5.98 E-03%, valor que pode ser considerado como bastante baixo, e a mínima variação foi de 8.40 E-05%.

Por último foram efectuados testes comparativos entre o *GeoDist* e o *ArcGIS*. Para tal foram medidas distâncias entre quarenta pares de pontos espalhados pelo globo terrestre, sendo que a máxima diferença obtida entre resultados obtidos com as duas ferramentas foi de 4.4 E-4m, para uma distância de aprox. 19600km, existindo 16 pares de pontos cujas distâncias entre eles resultaram exactamente iguais.

Foram ainda realizados diversos *buffers* com o *ArcGIS* (apenas é possível realizar *buffers*

geodésicos a pontos) e com o *GeoDist*, tendo estes sido posteriormente projectados e as suas áreas calculadas. A diferença máxima em termos de valor de área obtida foi de 5.36 E-3%, sendo que a mínima foi de 1.59 E-4%, valores que foram considerados bastante satisfatórios (tabela II e tabela III).

5. CONCLUSÕES

A realização deste trabalho permitiu a inclusão, no pacote aplicacional *ArcGIS* de uma ferramenta capaz de realizar cálculos de distâncias geodésicas e, aplicar essa mesma ferramenta para estender as suas capacidades à execução de *buffers* (neste caso geodésicos). O desenvolvimento da metodologia que permitiu gerar estes *buffers* foi efectuado com bastante cautela, sempre tendo por premissa que a solução encontrada, aliasse rigor de resultados e eficácia de processamento. A solução encontrada foi a que pareceu aliar estes dois factores da melhor maneira.

Os resultados de todos os testes de validação realizados foram bastante positivos, resultando em valores de distâncias, azimutes e áreas de *buffers* bastante aproximados com os obtidos com recurso a outras ferramentas existentes no mercado. O *GeoDist* apresentou ainda uma vantagem significativa em relação à ferramenta disponibilizada pelo *ArcGIS*, que consiste no facto de permitir a realização de *buffers* em todos os tipos de geometria (pontos, linhas e polígonos). A utilização do algoritmo desenvolvido por Thadeu Vincenty prende-se com o facto de o mesmo ser relativamente simples de programar, necessitar apenas (normalmente) de 3 ou 4 iterações e de apresentar resultados muito satisfatórios quando comparado com outros algoritmos (Thomas e Featherstone, 2005).

REFERÊNCIAS

- Casaca, J., Matos, J. e Baio, M. (2005). *Topografia Geral*. Lidel.
- Cook, P. e Carleton, C. M. (2000). *Continental Shelf Limits. The Scientific and Legal Interface*. Oxford University Press.
- Matos, J. L. (2001). *Fundamentos de Informação Geográfica*. Lidel.
- Thomas, C. M. e Featherstone, W. E. (2005) Validation of Vincenty's Formulas for the Geodesic Using a New Fourth-Order Extension of Kivioja's Formula. *Journal of Surveying Engineering*, 131 (1), 20-26.
- Vincenty, T. (1975). Direct and inverse solutions of the geodesics on the ellipsoid with application of nested equations. *Survey Review*, 22 (176), 88-93.

Sistema de Informação Geográfica de Meteorologia e Oceanografia para Apoio Operacional

Ana Nobre (1), Miguel Bessa Pacheco (2)

(1) Instituto Hidrográfico; ana.nobre@hidrografico.pt.

(2) Marinha Portuguesa

Resumo: O presente trabalho teve como objectivo, desenvolver e implementar um Sistema de Informação Geográfica de Meteorologia e Oceanografia (SIGMETOC) para apoio ao planeamento de operações militares e cruzeiros científicos.

Deste modo, foi desenvolvida uma metodologia de produção de vários WEBSIG, os quais possibilitarão aos utilizadores a aquisição dos conhecimentos estatísticos, à escala global e com uma periodicidade mensal, das condições ambientais locais para a realização de operações militares navais.

Este sistema inclui uma vasta panóplia de dados de METOC, designadamente: velocidade do vento, vapor de água, precipitação, humidade relativa, altura significativa da ondulação e as variações horizontais (relativamente ao nível da superfície do mar) e verticais (i.e., ao longo da coluna de água) de temperatura, salinidade e velocidade de propagação do som na água (desde a superfície até à profundidade máxima de 5500 metros). Os dados utilizados são provenientes dos sistemas de Detecção Remota e do *World Ocean Atlas* de 2005.

Palavras-chave: Detecção Remota, Meteorologia, Oceanografia, operações *Rapid Environmental Assessment* (REA), Sistemas de Informação Geográfica (SIG), SIG distribuídos na Internet (WEBSIG).

1. INTRODUÇÃO

Os Oceanos, enquanto elemento constituinte do sistema terrestre, cobrem um total de 71% da sua superfície, desempenhando uma função importante como fonte de recursos económicos, via de comunicação, espaço de lazer e, entre outras actividades, teatro de operações militares. Para além disso, protagonizam um relevante papel no sistema climático global, reflectindo uma forte interacção oceano – atmosfera.

Tal interacção é objecto de reflexão de Pinto de Abreu (2003), o qual destaca que “A massa total e a capacidade térmica dos oceanos são, respectivamente, duas ordens de grandeza e quatro vezes maior que a da atmosfera. As escalas temporais dos fenómenos no oceano são, logo, bastante, maiores, do que na atmosfera. Dada a inércia térmica e mecânica dos oceanos, estes actuam primariamente como estabilizadores amortecendo e controlando a variabilidade da atmosfera. No entanto, a variabilidade do oceano pode contribuir para a criação de variabilidade atmosférica”.

Para além do referido, outro facto a reter são que as condições de METeorologia e OCeanografia (METOC) condicionam a realização de operações militares navais, terrestres e aéreas. As suas consequências podem reflectir-se ao nível do bem-estar dos recursos humanos e degradação do normal funcionamento de plataformas, armas e sensores diversos (Pacheco e Martinho, 2005, p. 86).

Actualmente, o estudo de METOC com vista à aplicação em operações militares tem sido uma das principais preocupações da *North Atlantic Treaty Organization* (NATO). No entanto, nem sempre é possível aceder a informação actualizada sobre o oceano. Deste modo, foi desenvolvida uma metodologia designada por *Rapid Environmental Assessment* (REA), a qual visa apoiar, operacionalmente e taticamente, os comandos operacionais e unidades navais no mar, permitindo a consolidação da informação ambiental num intervalo de tempo compatível com a condução de operações navais (Onofre, 2001). As actividades REA visam, assim, o objectivo de prever o impacto das condições ambientais nos recursos humanos, plataformas, sensores e armas, prevenindo e evitando, assim, situações de perda de eficiência e/ou eficácia militar e simultaneamente auxiliar na tomada de decisão operacional e táctica. Para o caso específico das operações militares navais, este conceito materializa-se no fornecimento de produtos de informação em três fases distintas de operações (Pacheco e Martinho, 2005, p.86).

Relativamente à primeira fase, esta compreende uma recolha de dados estatísticos, com uma antecedência da ordem dos 3 meses antes das acções no mar, os quais permitem descrever a componente ambiental das áreas geográficas onde as operações se irão realizar. Esta apresenta-se como um momento fundamental no planeamento das mesmas e na avaliação da logística necessária a implementar com vista ao alcance dos objectivos militares.

No que diz respeito à segunda etapa, esta compreende uma recolha de informação *in situ*, a qual se destina a lançar modelos oceanográficos de assimilação com os dados reais, produzindo, por sua vez, previsões de superior rigor a curto prazo.

Finalmente a terceira fase, a qual consiste na produção de previsões de diversos parâmetros, a curto e médio prazos, através da corrida de modelos com assimilação de dados adquiridos *in situ*. Esta aquisição, realizada pelo navio REA, é executada fundamentalmente através de sondas CTD (*Conductivity, Temperature and Depth*), que permitem a obtenção de perfis de temperatura e salinidade, entre outros, desde a superfície da coluna de água até uma profundidade de interesse operacional (Pacheco e Martinho, 2005) sendo de especial aplicação na luta anti-submarina.

O Instituto Hidrográfico (IH) tem desempenhado, ao longo dos últimos anos, um importante papel no fornecimento de informação ambiental METOC no âmbito da primeira etapa do REA. No entanto, em casos de grande falta de informação, esta etapa pode atingir os seis meses de duração (Onofre, 2001).

Deste modo, o trabalho que aqui se apresenta resulta da necessidade sentida pelo IH em conjugar, numa única interface e a uma escala global, a totalidade da informação considerada fundamental para a realização da caracterização das condições ambientais estatísticas que as forças podem esperar no terreno. Dadas as capacidades dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) em integrar, armazenar, processar, visualizar e analisar uma vasta panóplia de dados geo-espaciais, foi tida como natural a sua adopção enquanto ferramenta de suporte à realização da tarefa aqui proposta.

Os SIG são, aliás, considerados como uma poderosa tecnologia no âmbito de operações militares. Esta afirmação suportada por autores tais como Dykes e Hancock (2002) e Fleming *et al.* (2009) é reforçada pela ESRI® (*Environmental Systems Research Institute*) (1998) que enfatiza a importância dos SIG enquanto ferramenta de apoio à decisão no contexto de uma operação militar.

2. REQUISITOS TÉCNICOS

Neste projecto, foi utilizado o seguinte software:

- SIG ArcGIS® Desktop 9.3 que integra as aplicações ArcMap™, ArcToolbox™ e ArcCatalog™. De modo sucinto, enquanto a aplicação ArcMap™ facilita a análise e produção de mapas e a aplicação ArcToolbox™ contém ferramentas para conversão e processamento de dados, a aplicação ArcCatalog™ facilita o acesso e a gestão dos dados. Para além das referidas aplicações, foram utilizadas as extensões Military Analyst e Spatial Analyst.

- ArcGIS® Server 9.3, plataforma do fabricante ESRI®, que possibilita a eficiente partilha de informação geográfica através da Intranet e Internet.

Foram ainda programadas rotinas de processamento de dados através dos seguintes ambientes de desenvolvimento:

- Microsoft® Visual Basic 6.0 que é um ambiente de desenvolvimento integrado (*Integrated Development Environment - IDE*) a partir do qual é possível desenvolver, correr, testar e depurar as aplicações.

- A linguagem *open source* PHP (*Hypertext Preprocessor*), desenhada para o desenvolvimento de conteúdos dinâmicos na Internet e bastante popular entre os utilizadores, principalmente devido ao facto de a sua distribuição ser gratuita, funcionar em diferentes sistemas operativos e possuir um amplo suporte técnico. Salienta-se, ainda, a sua interacção com uma vasta variedade de BD, tais como: Microsoft® SQL Server, MySQL, Oracle, entre outras (PHP, 2009). No entanto, destaca-se que esta linguagem oferece funções específicas de ligação, leitura e consulta com o Sistema Gestor de Base de Dados Relacional (SGBDR) MySQL, o que torna a aplicação conjunta de PHP e MySQL expedita e eficiente.

No que diz respeito à identificação dos dados a utilizar, estes foram agrupados em cinco camadas temáticas: dados de base mundiais, ambientais, de meteorologia terrestre, de meteorologia marítima e de oceanografia (Tabela I).

Grupos Temáticos	Camadas Temáticas	Fontes
Dados de Base Mundiais	Limites políticos Cidades Mares Oceanos Lagos Rios Portos ZEE	Bases de Dados (BD) do IH
Dados Ambientais	Batimetria Vegetação Áreas protegidas Rotas Marítimas Toponímia de fundo Marégrafos Vulcões Dados históricos de ocorrência de tempestades, tsunamis e sismos	BD do IH e websites da NOAA e GEBCO
Dados de Meteorologia Terrestre	Amplitudes Térmicas Diárias Frequência de dias com geada Precipitação Frequência de precipitação	Instituto Oceanográfico Australiano ¹

¹ Dados adquiridos através do website <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/hrg.htm>

	Humidade relativa Insolação Velocidade do Vento Temperatura do Ar	
Dados de Meteorologia Marítima	Água líquida contida nas nuvens Taxa de precipitação Vapor de água Velocidade do vento	Instituto Oceanográfico Australiano (www.ssmi.com)
Dados de Oceanografia	Dados de Temperatura, Salinidade e Velocidade de propagação do som na água Agitação Marítima	Instituto Oceanográfico Australiano (<i>World Ocean Atlas 2005</i> ; dados provenientes de sistemas de Detecção Remota ²)

Tabela I – Dados adquiridos (e respectivas fontes)

3. EXPLORAÇÃO E DIFUSÃO DO SISTEMA

Relativamente à difusão dos produtos gerados, os vários WEBSIG encontram-se disponíveis através do portal de internet do IH (<http://www.hidrografico.pt/sigmatoc.php>). De forma a alcançar este objectivo, e fazendo uso do software Joomla!™, foi construída uma página Web em HTML a qual disponibiliza um breve texto de apresentação do sistema. Para além disso, a referida página inclui diversas hiperligações que possibilitam o acesso aos WEBSIG.

Assim, e caso um utilizador pretenda, durante o mês de Julho, desenvolver uma operação submarina ao largo da costa de Portugal Continental, poderá obter o conhecimento relativo aos dados de batimetria registados para a área geográfica pretendida, agitação marítima, variações horizontais de Salinidade e Temperatura e os perfis verticais de Temperatura, Velocidade de Propagação do Som na Água e Salinidade.

No que diz respeito aos perfis de Velocidade de Propagação do Som na Água, estes permitem obter o conhecimento das zonas de sombra acústica, ou seja, camadas onde os raios acústicos não penetram directamente e que estão associadas à existência de máximos valores de velocidade do som. Este facto possibilita a um submarino tornar-se invisível aos sonares colocados nos cascos dos navios de superfície. Idêntico panorama aplica-se às variações de Temperatura e Salinidade, as quais influenciam as propriedades acústicas da coluna de água e, conseqüentemente, condicionam a performance dos sensores acústicos.

Deste modo, e através da análise e inquirição das camadas temáticas integradas no WEBSIG

SIGMETOC – *Significant Wave Height, Maritime Meteorology and Vertical Hydrology*, o utilizador tem acesso a conhecimento científico sobre os valores estatísticos de agitação marítima, variações horizontais de Salinidade e Temperatura e os perfis verticais de Temperatura, Velocidade de Propagação do Som na Água e Salinidade.

Para visualizar os perfis pretendidos relativos às coordenadas geográficas de interesse, o utilizador apenas necessita de utilizar as ferramentas de identificação e hiperligação no ponto desejado do globo. Estas acções irão abrir uma página HTML, na qual deverá ser seleccionado o mês a analisar. Deste modo, o utilizador tem a possibilidade de aceder aos perfis verticais, bastando para isso utilizar o botão *Submit*. Note-se que os dados podem, igualmente, ser analisados através de uma tabela de dados, acessível através do botão *Select*, o qual disponibiliza os dados climatológicos que dão origem aos perfis (para além de outra informação estatística associada: média, desvio-padrão e número de observações).

Realce-se, ainda, a importância da informação presente nos WEBSIG para inúmeras operações navais (e.g. as anfíbias), as quais exigem um conhecimento consistente das condições meteorológicas terrestres registadas. Deste modo, e caso o utilizador necessite de planear uma operação deste tipo, o SIGMETOC coloca à sua disposição, para além dos dados oceanográficos referidos, uma alargada panóplia de dados meteorológicos terrestres, entre os quais o da insolação, precipitação, frequência de dias com precipitação, humidade relativa, velocidade do vento, frequência de dias com geada, temperatura média do ar e escala de temperaturas diárias. Para além destes, poderá, ainda, analisar dados relativos à vegetação, batimetria e áreas protegidas (Figura 1).

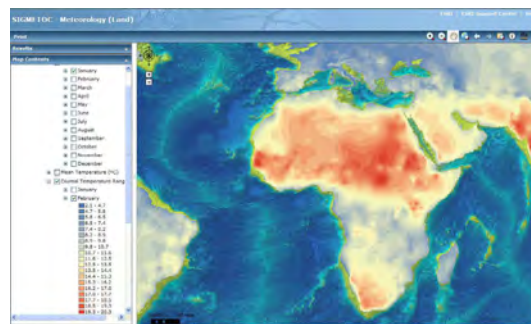


Figura 1 - WEBSIG de meteorologia terrestre que possibilita a análise da camada matricial escala de temperaturas diárias e ainda a camada batimetria

Desta forma se o utilizador, na primeira fase de actividades REA, conjugar toda a informação estatística disponibilizada no sistema, terá maior probabilidade de planear e de executar uma operação militar com sucesso.

Para além da sua utilização em operações militares, e dada a informação disponibilizada pelo sistema,

² Dados adquiridos no website <http://www.aviso.oceanobs.com/en/data/products/wind-waves-products/swh-and-sigma0-in-corrsh/index.html>

este poderá ser utilizado em operações de carácter civil, tais como o planeamento de cruzeiros científicos, realização de levantamento hidrográficos e o ensino de Ciências do Mar.

4. CONCLUSÕES

As condições meteorológicas e oceanográficas condicionam a realização de operações militares. Neste âmbito surgiu o conceito REA da NATO associado a operações militares que, numa primeira fase, fornece informação que permite ao decisor operacional avaliar, devidamente, um contexto e evitar situações de utilização ineficiente e/ou ineficaz de recursos operacionais. No entanto, o acesso e distribuição dos dados que propiciam tal conhecimento não se têm apresentado como tarefas simples. Deste modo, a utilização de SIG nesta área revela-se muito útil e eficiente, em virtude das suas capacidades em adquirir, organizar e disponibilizar informação GEOMETOC num cenário militar.

Deste modo, foi desenvolvido e implementado um sistema de informação geográfica, de âmbito global e com periodicidade mensal, de meteorologia e oceanografia para apoio à primeira fase de actividades REA.

O sistema apresenta-se, constituído por uma série de WEBSIG que facilitam o acesso, via portal de Internet do IH, a um total aproximado de mil camadas matriciais e vectoriais, armazenadas sob a estrutura *File Geodatabase*, referentes a informação de meteorologia (terrestre e marítima), oceanografia, ambiente e de enquadramento geográfico. O sistema disponibiliza, ainda, uma série de perfis verticais (ou seja, ao longo da coluna de água) dos parâmetros temperatura, salinidade e velocidade de propagação do som na água.

A aplicação que gera estes perfis foi desenvolvida mediante o recurso à linguagem de programação PHP e os dados que os originam foram armazenados numa BD no SGBDR MySQL.

Os principais resultados que o sistema desenvolvido e implementado disponibiliza são o de constituir uma ferramenta onde é possível a organização, visualização, análise e inquirição de uma panóplia alargada de camadas temáticas de meteorologia, oceanografia e ambiente, bem como a funcionalidade de consulta dos respectivos metadados.

Para além disso, o sistema desenvolvido apresenta as seguintes vantagens:

- A disponibilização do sistema de informação através de plataformas WEBSIG facilita o seu acesso por parte dos utilizadores que não necessitam de possuir licenças de software proprietário;
- Redução do tempo empregue em tarefas de pesquisa e de aquisição de informação METOC

pelos técnicos o que vai permitir que as respostas aos pedidos de dados efectuados pelos utilizadores sejam mais rápidas e eficientes. Deste modo, a fase de planeamento de operações pode ser desenvolvida num curto espaço de tempo;

- O sistema possui um conjunto de funcionalidades que permitem ao utilizador, independentemente dos seus conhecimentos em SIG, manipular, inquirir e analisar a informação ambiental;

- Possibilidade de produzir e imprimir mapas com a informação pretendida.

Em termos de limitações, saliente-se as restrições de disponibilização de dados raster através do software ArcGIS[®] Server, facto que exigiu a desmultiplicação da complexidade global através da produção de uma série de WEBSIG. Esta questão/desmultiplicação de produtos pode, contudo, ser ultrapassada no futuro mediante a eventual utilização da extensão ArcGIS[®] Image Server.

A disponibilização do sistema, exclusivamente através da internet, por razões de dimensão dos dados utilizados, e a impossibilidade de descarregar esses dados para utilização em sistemas independentes poderá constituir um problema de flexibilidade de utilização para alguns utilizadores.

Em termos de trabalhos futuros, apresenta-se como potencialmente interessante ampliar o seu âmbito através da inclusão de dados relativos ao sistema costeiro, bem como aumentar a variedade de dados oceanográficos (e.g., correntes) e meteorológicos (e.g., cobertura de nuvens).

REFERÊNCIAS

- Dykes, J.D., Hancock, T.E. (2002). Brokering Meteorological and Oceanographic Information in Support of Military Operations Using GISTechnology. (URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1192122&isnumber=26719>).
- ESRI (1998). The Role of Geographic Information Systems on the Electronic Battlefield. (Redlands,CA: ESRI).
- Fleming, S., Jordan, T., Madden, M., Usery, E.L., Welch, R. (2009). GIS applications for military operations in coastal zones. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 64, pp. 213-222.
- Onofie, M. (2001). Rapid Environmental Assessment. Anais do Instituto Hidrográfico, Nº 15, pp. 25-31.
- Pacheco, B., Martinho, S. (2005). Apoio Ambiental ao Exercício Lusíada 2006. Produtos e Inovações. Anais do Instituto Hidrográfico, NO1 8, pp. 85-94.
- PHP (2009). PHP Manual. (URL: <http://www.php.net/manual/en/>).

35 anos de levantamentos correntométricos

Sara Almeida (1) & João Mattos Caldas (2)

(1) Instituto Hidrográfico. (sara.almeida@hidrografico.pt)

(2) ex-Técnico do Instituto Hidrográfico

Resumo: A primeira missão do Instituto Hidrográfico com o objectivo de efectuar um levantamento correntométrico, e que originou dados existentes em arquivo, data de Julho de 1975.

A evolução dos equipamentos, os projectos que marcaram a história, as zonas mais estudadas, os levantamentos mais longos e alguns episódios marcantes do esforço no estudo das correntes por utilização de equipamentos submersos são abordados neste artigo.

Dos sensores mecânicos aos de medição por efeito Doppler, da leitura das fitas magnéticas à transmissão de dados em tempo real, da correcção manual de erros ao controle de qualidade automatizado, desde a primeira missão passaram 35 anos e ... Tudo mudou!

Palavras-chave: Oceanografia, correntes, gestão de dados

1. INTRODUÇÃO

Neste artigo pretendemos relatar os vários anos de levantamentos correntométricos, abordando os diferentes tipos de equipamentos utilizados, tendo por base os dados existente em arquivo digital.

Não foram por isso incluídos, os elementos históricos que ainda se encontram em suporte de papel e que dizem respeito a levantamentos efectuados antes de 1975 e relacionados fundamentalmente com correntes de maré. E também não estão considerados alguns registos de projectos em curso e outros, porque não se encontram encerrados em termos técnicos.

2. OS EQUIPAMENTOS VS A EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA

No Verão de 1975, respondendo a um pedido da Companhia Portuguesa de Electricidade, para a caracterização oceanográfica da zona de instalação da futura Central Nuclear de Peniche foi executada uma larga campanha de observações. Foi a inauguração da utilização de correntómetros de registo automático, os RCM4, como eram referenciados, tratavam-se de instrumentos com peças móveis e de codificação electro-mecânica em que os dados eram gravados em fita magnética.

Nos anos 80, o fabricante anunciou a descontinuidade na produção destes aparelhos, apoiando a transformação daqueles no modelo seguinte, o RCM7. Em 1989, começamos a utilizar estes equipamentos, com codificação digital que possuíam a grande vantagem da capacidade de arquivo interno numa unidade de memória sólida, removível e reusável. Com aproveitamento dos mesmos sensores havia, no entanto, uma maior fiabilidade nos resultados e uma grande poupança em termos de consumo de energia, o que predisponha para novas aplicações, visto os períodos de

dados válidos serem mais longos, por não serem interrompidos por processos electro-mecânicos.

Em 1990, com o objectivo de estudar os grandes fundos, adquiriram-se os primeiros correntómetros RCM8, que possuindo a mesma tecnologia, tinham capacidade para atingir os 6000 m de profundidade. A partir de 1997, introduziram-se os equipamentos baseados na técnica *Acoustic Doppler*, mas ainda com observação num único ponto, os RCM9. Apresentavam uma maior precisão, continuando a ser bastante amigáveis no manuseamento.

Um ano mais tarde, em 1998, passamos a utilizar também os perfiladores de corrente (ADCP). Aqui a diferença era o registo corresponder a um perfil vertical ao longo do tempo.

Com a tecnologia dos RCM9, mas vocacionados para grandes fundos, adquirimos os RCM11 em 2005.

Os equipamentos mais recentes, adquiridos em 2009, os SeaGuard, permitem uma configuração mais amigável, pois são pré-programados em ambiente *Windows* sendo a sua configuração possível através do monitor do próprio aparelho. São a evolução tecnológica do RCM9.

De 1975 até hoje, a evolução a nível tecnológico tem sido acompanhada passo a passo no Instituto Hidrográfico, proporcionando em termos gerais a obtenção de mais valias (Fig.1).

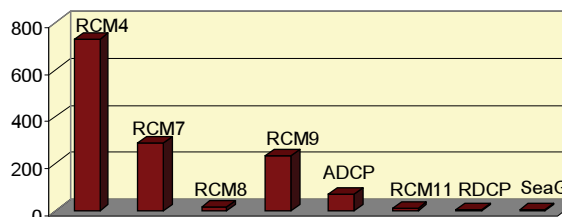


Fig. 1 - Distribuição das utilizações de equipamentos

No entanto, no campo atendendo às características específicas de cada missão, continuamos a usar todos estes modelos à excepção dos RCM4.

3. A ÁREA GEOGRÁFICA

A distribuição geográfica dos levantamentos ao longo destes anos não foi uniforme, pois nos primórdios não existia, *per si* o objectivo da monitorização.

Os levantamentos correntométricos decorriam muitas vezes no âmbito de prestação de serviços, sendo as zonas de estudo localizadas em áreas costeiras ao longo de todo o País, aquelas que foram alvo de maior cobertura (Fig. 2).

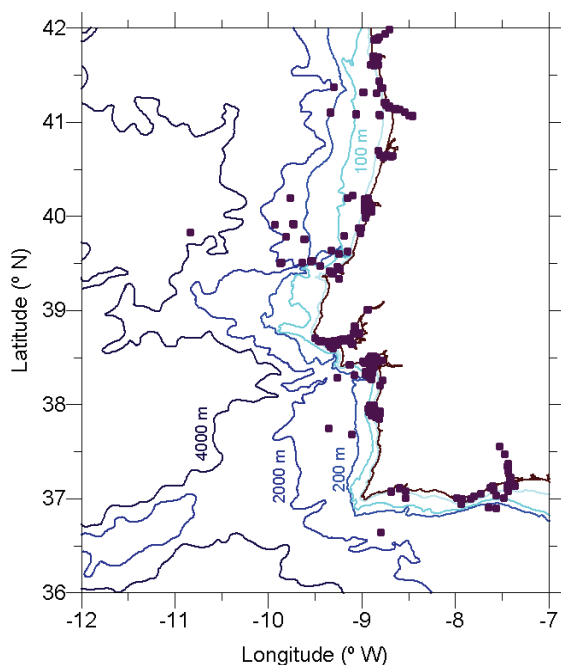


Fig. 2 - Distribuição dos levantamentos em Portugal Continental

As solicitações para a caracterização oceanográfica de suporte à construção das Centrais Termoelectricas de Sines, da Figueira da Foz (Lavos) ou de Setúbal foram as responsáveis pelo grande volume de estações concentradas naquelas zonas. E, como se pode verificar na Fig. 3, estas localizações aparecem entre as primeiras em que se realizaram maior número de observações: Sines (316 estações), Figueira da Foz (161 estações) ou Setúbal (132 estações). O caso de Lisboa (195 estações) decorre, por exemplo, dos pedidos de estudo para a Central de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos em S. João da Talha ou da Monitorização Ambiental do Emissário Submarino da Guia.

As pequenas missões feitas ao longo da Costa também são de referir, pois permitiram recolher elementos que possibilitaram a produção de informação correntométrica para integrar nas cartas náuticas e nos roteiros de navegação.

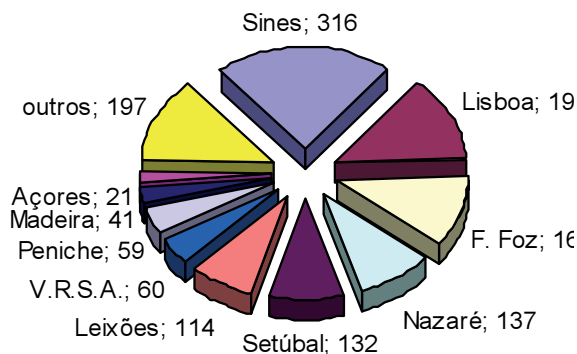


Fig. 3 - Número de estações por zona de estudo

4. OS PROJECTOS MARCANTES

Dos vários projectos que serviram de base aos levantamentos correntométricos, ficou na história o Euráfrica, pois foi caracterizado por ter o fundamento mais profundo, onde se mediram as correntes a 4970 m de fundo na zona da Nazaré, durante 150 dias e em Setúbal a 1830 m durante 105 dias.

Apoiados em projectos de Investigação & Desenvolvimento, financiados através de fundos europeus, o estudo da dinâmica oceânica e costeira começou a exigir períodos de observação mais longos, e assim, a partir de 1994 no projecto SEFOS (Shelf Edge Fisheries Oceanography Studies), retomados em 2002 no EUROSTRATAFORM (EUROpean margin STRATA FORMation) e continuados em 2010 no HERMIONE (Hotspot Ecosystem Research and Man's Impact ON European Seas), foram realizados vários levantamentos correntométricos em que alguns correspondem a períodos de observação superiores a 300 dias.

Projectos como o MONICAN (MONItoring of the Nazare CANyon) ou o RAIÁ (Observatório oceânico da margem ibérica), que utilizam plataformas para colheita de dados como as bóias multi-paramétricas, onde também estão integrados perfiladores acústicos de correntes (ADCP), trazem ao Instituto Hidrográfico a capacidade de monitorização em tempo real as zonas de Leixões e da Nazaré. Os dados estão agora acessíveis nos portais, horas depois de serem produzidos.

5. AS BAIXAS

Ao longo destes 35 anos estão documentados cerca de 75 correntómetros perdidos. É pouco.

Alguns são devido a acidentes, pois como estamos a trabalhar em áreas costeiras com muita actividade isso é perfeitamente natural. A zona Norte do Continente foi a mais problemática e áreas como Leixões, Figueira da Foz ou Peniche são as que nos trouxeram mais prejuízos. Nestas “baixas”, além das consequentes de intervenção humana, estão incluídas as dos problemas técnicos, como corrosões em amarrações, quer ao nível do cabo, quer das manilhas e mordentes, ou também situações de outra índole, por exemplo, quando não há resposta directa por parte dos libertadores acústicos e por isso, não se conseguem recuperar todos os instrumentos colocados nas amarrações.

Mas nem sempre, as “baixas” são definitivas. Ficou na história o aparelho que foi devolvido ao Instituto por pescadores, cinco anos depois de ter sido considerado perdido. O equipamento estava em boas condições e os dados foram recuperados. Ou, o caso do ADCP que foi avistado e recuperado por mergulhadores, quando acompanhavam novo fundeamento no local, meses depois.

5. O CONTROLE DE QUALIDADE

A validação dos dados recolhidos em cada missão é uma actividade primordial e também tem tido diferentes abordagens ao longo destes 35 anos de levantamentos correntométricos.

Listagens de valores que eram inspeccionadas visualmente é caricato, mas fez parte do trabalho realizado por alguns técnicos do Instituto Hidrográfico. Se nos primórdios essa tarefa era sobretudo “operador_dependente”, hoje em dia, há ferramentas que ajudam a superar os obstáculos e a esta modificação não é alheia, a evolução também a nível informático.

Em projectos como o MONICAN ou o RAIA a disponibilização de dados correntométricos provenientes do perfilador acústico, origina que a cada hora sejam disponibilizados os valores de velocidade e direcção da corrente e o erro associado para um conjunto de níveis de profundidade previamente definidos. Estes dados, após recepção no Hidrográfico, são submetidos automaticamente a um controle de qualidade que tem várias etapas: a dos valores aceitáveis, das variações entre registos sucessivos e a da estacionaridade nos registos após um período de x horas. Os dados horários, não sendo modificados, ficam assim associados a um conjunto de indicadores de

qualidade, que acompanham e marcam a validação efectuada.

Após a fase de manutenção das bóias, são recuperados os dados arquivados na memória interna dos ADCPs e são submetido a um procedimento equivalente aos dos outros equipamentos que são fundeados isoladamente, ou seja, os dados são processados e validados para serem finalmente integrados nas bases de dados do Instituto, garantindo uma homogeneidade de procedimentos.

6. INTEROPERABILIDADE

Face à diversidade de missões, foi preciso recolher todos os elementos provenientes dos vários levantamentos, de modo a integrá-los numa plataforma comum com capacidade de pesquisa, de forma a garantir a interoperabilidade.

A gestão de dados apresenta-se aqui com um papel relevante traduzido no desenvolvimento de várias tarefas: a passagem dos dados existentes em fita magnética para outro suporte digital; a conversão para unidades físicas de todos estes registos tendo em conta cada uma das calibrações utilizadas; a identificação das características principais de cada um dos equipamentos; e, a sua transformação em termos de um vocabulário comum.

Feita essa transformação é exequível a manipulação conjunta e de uma forma integrada, quer dos metadados quer dos dados correspondentes a cada observação, de forma a possibilitar uma resposta eficaz sempre que necessário.

8. O FUTURO está PRESENTE

35 anos de levantamentos correntométricos possibilitaram a criação de um espólio de dados que permitem o estudo evolutivo da dinâmica continental e que já contam hoje com cerca de 62 000 dias de observações.

Novos projectos com novas tecnologias se avizinham o que significa que este espólio de dados correntométricos irá continuar a ser incrementado ... justificando que os gestores de dados estejam presentes no futuro...

REFERÊNCIAS

- Almeida, Sara (2008). Catálogo de dados Oceanográficos. IH, Lisboa. 388 pp
- Caldas, Mattos, (2010). Amarrações Oceanográficas? Descrição prática. IH, Lisboa. 590 pp

- Anon. Current measurements in dynamic waters.
Aanderaa Data Instruments. Norway.
- Estudo da APDSI (2008) "Do Analógico ao Digital: o Trabalho na Sociedade do Conhecimento".
- Froysa, Kristin (2003) Explanations of the principles used in a single point acoustic current meters. Article nº AP 108
- Lowry, Roy (2006) Semantic interoperability: A Goal for Marine Data Management. ICES Science Conference.
- Relatório de actividades do Instituto Hidrográfico 1984 (1985). ISSN0870-0591
- Relatório de actividades do Instituto Hidrográfico 1990 (1991). ISSN0870-0591
- //www.aadi.no/, em 2010-Junho-02

Projecto CartGen - generalização cartográfica recorrendo a técnicas de inteligência artificial

TCor J. Travanca Lopes

Instituto Geográfico do Exército – Av. Dr. Alfredo Bensaúde 1849-014, Lisboa

(tlopes@igeoe.pt)

Resumo: A generalização cartográfica tem sido amplamente estudada ao longo dos últimos anos, tendo sido apresentadas inúmeras soluções algorítmicas e computacionais, para resolver problemas pontuais. A grande dificuldade inerente à automatização da generalização cartográfica reside na transposição computacional de um processo cognitivo, realizável pela mente humana, que analisa e decide em cada situação concreta com base no conhecimento adquirido ao longo de décadas de evolução e treino. Neste artigo será utilizado um novo algoritmo de simplificação e suavização de linhas, aplicado ao caso particular das curvas de nível, a escolha do parâmetro a utilizar neste algoritmo é baseada em técnicas de inteligência artificial. A metodologia aplicada inicia-se com a classificação das entidades cartográficas recorrendo aos seus parâmetros de forma (como por exemplo: dimensão fractal, comprimento, área, angularidade), a partir das quais se infere o valor da tensão a utilizar.

Palavras chave: inteligência artificial, generalização cartográfica, redes neuronais, árvores de decisão, classificação de linhas, contextualização da generalização

1. INTRODUÇÃO

Actualmente os processos mais utilizados em generalização cartográfica ainda são semiautomáticos, onde o cartógrafo controla todo o processo, ou seja, selecciona as entidades cartográficas a generalizar, escolhe o algoritmo e respectivos parâmetros a aplicar. Após estas operações é ainda o cartógrafo que efectua a última validação e correcções finais. É necessário ter uma visão holística de todo o processo, o que não é possível devido à forma como os dados são manipulados e armazenados em Bases de Dados, a forma como estas são pesquisadas e ainda a forma como os algoritmos transformam esses dados.

Têm sido apresentadas propostas de metodologias para abordar esta temática, como o paradigma associado aos agentes (Mackaness 2007), no entanto qualquer que seja a metodologia adoptada, as interacções com os dados serão efectuadas através de algoritmos e o funcionamento destes dependerá da forma como os dados estão armazenados nas Bases de Dados Geográficos.

Não é possível generalizar independentemente as curvas de nível e as linhas de água ou os pontos de cota, sem atender a um conjunto de regras designadas por leis de Brisson (Alves et al. 1984).

A dificuldade associada à contextualização da generalização reside no facto dos algoritmos serem “cegos” e aplicarem os mesmos critérios independentemente do contexto geográfico.

2. ALGORITMO DE SIMPLIFICAÇÃO/SUAVIZAÇÃO DE LINHAS

A analogia escolhida e aquela que melhor descreve o pensamento aplicado a este algoritmo, é o de um corpo elástico deformável, ao qual é aplicado um sistema de forças.

2.1 - Relações tensão-extensão para materiais com elasticidade linear

O objectivo principal das teorias relativas ao comportamento dos materiais deformáveis consiste em estabelecer as relações entre as tensões σ e as extensões ϵ , geradas num corpo de forma geométrica inicial conhecida quando lhe é aplicado um dado sistema de forças. Estas relações são as relações constitutivas do material ou relações tensão-extensão que no caso mais geral dos materiais elásticos terão a forma (Branco, 1998):

$$\epsilon = \theta(\sigma)$$

em que θ será uma função crescente e contínua. A função mais simples é uma função linear entre as tensões σ e as extensões ϵ . Nesse caso as relações serão dadas por: $\epsilon = \sigma \cdot C_i$ onde C_i são constantes.

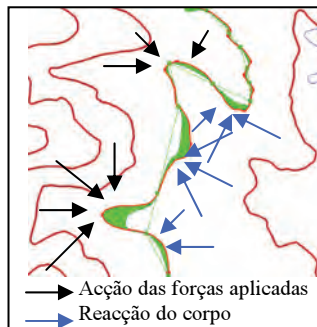


Figura 1 – Acção e reacção da curva de nível ao sistema de forças aplicado

2.2 - Descrição do algoritmo

Consideremos a curva de nível como o limite de um corpo elástico, bidimensional e isotrópico, sobre o qual é aplicado um sistema de forças. Este corpo é deformado de modo a reduzir os máximos relativos, aproximando-os do centróide do corpo, e aumentar os mínimos relativos, afastando-os do centróide (Fig 1). O algoritmo executa 5 passos consecutivos para cada linha, como se segue:

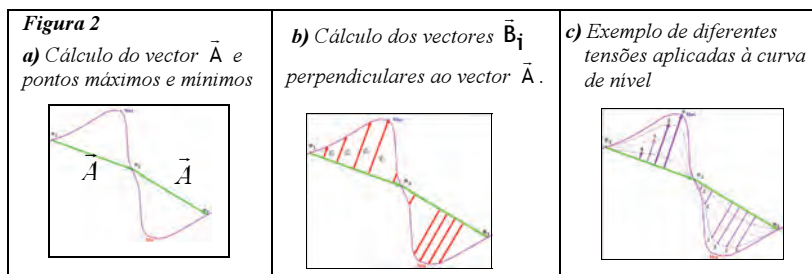
1º passo – Calcular os máximos e mínimos relativos, baseado na análise da mudança da sua derivada; (Max, Min)

2º passo – Entre cada máximo e mínimo calcular o comprimento da linha e o ponto médio; (M)

3º passo – Calcular o vector \vec{A} entre dois pontos médios consecutivos; ($\vec{A} = \vec{M}_i \vec{M}_{i+1}$)

4º passo – Calcular os vectores \vec{B}_i perpendiculares ao vector \vec{A} calculado, entre este e os vértices da curva de nível;

5º passo – De acordo com a tensão a aplicar, reduzir a norma dos vectores \vec{B}_i , e calcular as novas coordenadas dos vértices da curva de nível (Fig 2).



3. UTILIZAÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM GENERALIZAÇÃO

A generalização cartográfica é, uma tarefa cognitiva efectuada por um cartógrafo cujas decisões se baseiam num vasto conjunto de regras cartográficas.

Foram utilizadas no projecto CartGen uma Rede Neuronal e uma árvore de classificação e regressão, de modo a prever o parâmetro Tensão a utilizar no algoritmo de generalização, os seus outputs foram posteriormente analisados, cujo resultado prevê uma aplicação mais vasta a outros temas e cadeias de algoritmos.

3.1 Redes Neurais

Uma Rede Neuronal é constituída por um conjunto de unidades básicas de processamento designadas de neurónios ou nodos (Fig 3). Estes neurónios encontram-se ligados por conexões ou sinapses em que o peso da conexão determina a intensidade desta ligação e é expresso por um valor numérico. O conhecimento, utilizado posteriormente em novos casos, é adquirido a partir dos dados num processo de aprendizagem e é armazenado nas conexões.

Após o treino, a Rede Neuronal é capaz de responder, num curto espaço de tempo, a novas situações (Costa, 2004). Uma iteração do algoritmo de treino é composta por ajustamentos dos pesos das conexões para todos os casos de treino.

Apesar de serem poderosas ferramentas para a resolução de problemas, é frequente integrar as Redes Neurais com outros sistemas ou paradigmas para obter soluções de problemas mais complexos, como por exemplo os ligados à Robótica.

Pelo facto da generalização ser um processo complexo, utilizou-se uma rede neuronal, uma árvore de classificação e uma árvore de regressão e combinando estas técnicas para a predição do parâmetro tensão a aplicar no algoritmo.

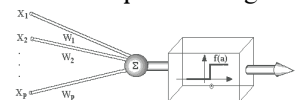


Figura 3 – Esquema de unidade de processamento, McCulloch - Pitts

3.2 – Topologia de Redes Neurais

A topologia diz respeito ao modo como os diferentes neurónios se ligam entre si. Arquitecturas neuronais são tipicamente organizadas em camadas, com unidades que podem estar conectadas às unidades da camada posterior.

As camadas são classificadas em três

grupos:

- Camada de Entrada: onde os padrões ou, neste caso, os vectores de atributos classificadores das linhas, são apresentados à rede;
- Camadas Intermédias ou Escondidas: onde é feita a maior parte do processamento, através das conexões ponderadas;

- Camada de Saída: onde o resultado final é concluído e apresentado (Fig 4).

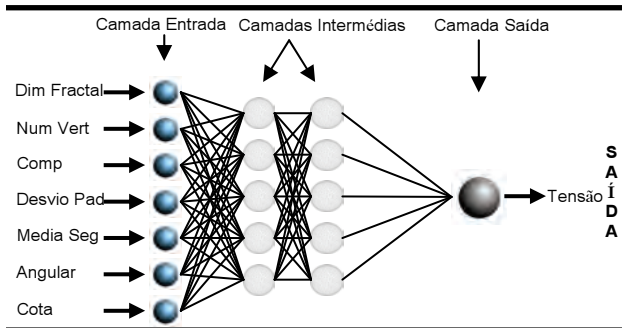


Figura 4 – Organização em camadas

3.3 - Árvores de Decisão

Árvores de decisão são modelos estatísticos que utilizam um treino supervisionado para a classificação e previsão de dados. Na sua construção é utilizado um conjunto de treino formado por entradas e saídas. Sendo estas últimas as classes. Um problema complexo é decomposto em sub-problemas mais simples, sendo esta técnica aplicada recursivamente a cada sub-problema.

A árvore de classificação e regressão divide os dados em dois subconjuntos de modo que os registos dentro de cada subconjunto sejam mais homogéneos do que no subconjunto precedente. Cada um daqueles dois subconjuntos é subdividido outra vez, este processo é repetido até que o critério da homogeneidade seja alcançado ou até que algum outro critério de paragem seja satisfeito (Fig 5).

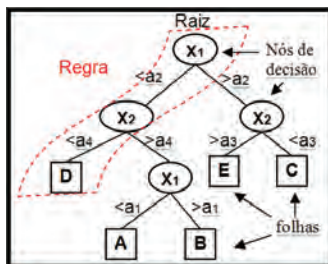


Figura 5 – Representação de uma árvore de decisão

4. METODOLOGIA

O projecto CartGen, apoiado pelo órgão de investigação da Academia Militar (CINAMIL), recentemente iniciado no IGeoE (Instituto Geográfico do Exército), engloba uma Base de Dados do conhecimento que armazena as regras utilizadas e as prioridades das entidades cartográficas, para efeitos de generalização. Em fase inicial utilizou-se o algoritmo de generalização de curvas de nível aqui apresentado, utilizando métodos de inteligência

artificial para prever os valores dos parâmetros utilizados neste algoritmo (Fig 6).

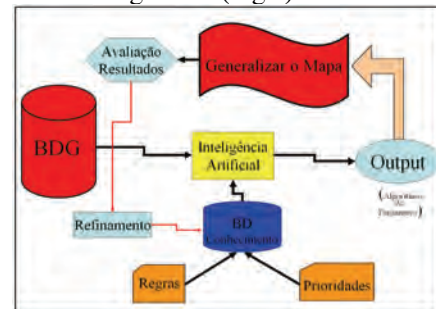


Figura 6 – Esquema geral da metodologia aplicada

4.1 – Caracterização de linhas

O conjunto de parâmetros deve ser adequado ao tipo de linhas e finalidade do mapa.

O vector de entrada engloba os valores dos seguintes atributos, classificadores das curvas de nível:

- Dimensão fractal;
- Angularidade;
- Número de vértices;
- Média do comprimento dos segmentos;
- Desvio padrão dos segmentos;
- Comprimento da linha;
- Cota.

4.2 – Aplicação prática

Utilizaram-se as curvas de nível da folha 309 da série M888, num total de 248 linhas, para construção do modelo e treino dos algoritmos. Os parâmetros da Rede Neuronal e das árvores de classificação e regressão, ver fig 7, foram ajustados para os melhores

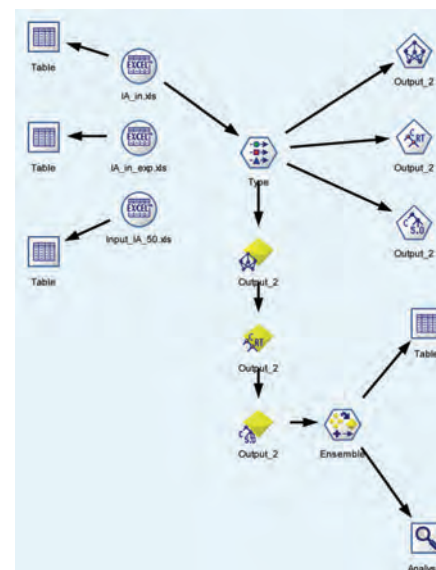


Figura 7 – Esquema geral de actividades em Inteligência Artificial

resultados, posteriormente após a aprendizagem concluída foram estes resultados aplicados à folha 50 da mesma série.

Os resultados destes métodos foram combinados no nó *ensemble* onde se realiza um “leilão” de modo a que a tensão assim calculada seja a melhor das resultantes dos três métodos.

5. RESULTADOS

Após a generalização da folha foi a mesma submetida a testes de validação efectuados por diversos operadores cartógrafos, que simultaneamente responderam a um inquérito, do qual se pode concluir: - O tempo de operador gasto em média por folha em generalização manual de curvas de nível, é de 35 horas, com esta metodologia pode ser reduzido em cerca de 90%.

Conforme podemos ver nas figuras 8 e 9, as curvas de nível generalizadas com os parâmetros preditos pelas técnicas anteriormente apresentadas são adequadas para a escala 1/50.000.

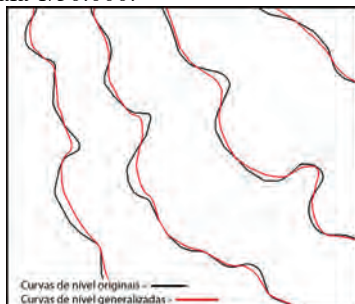


Figura 8 – Curvas de nível generalizadas com os parâmetros obtidos

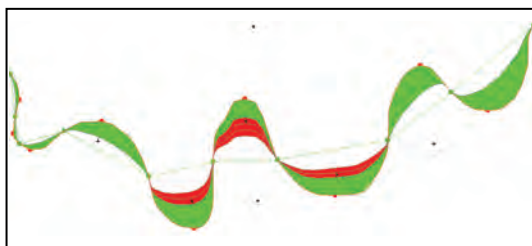


Figura 9 – Correção das violações de topologia

6. CONCLUSÃO

A inteligência artificial é uma das tecnologias promissoras a integrar na busca de uma solução para a generalização cartográfica automática, no entanto ainda é cedo para poder integrar toda a tecnologia disponível, pois os requisitos para uma solução são imensos e a diversidade de produtos é um dos factores que faz desta problemática uma busca não linear e caótica. De salientar ainda que a solução algorítmica poderá não existir, sendo sempre necessário trabalho final de operador.

BIBLIOGRAFIA E REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves D.; Cruz J.; Norte C. (1984). *Topografia*, Manual da cadeira 23E, Academia Militar, Lisboa.
- Balboa J.; López F. (2008) “Generalization-oriented Road line classification by Means of an Artificial Neural Network”, in Vários, Geoinformatica, Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica, Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría, Universidad de Jaén. Campus, Las Lagunillas, s/n. 23071, Jaén (Spain), p 289-312.
- Costa, E. e Simões, A., (2004). *Inteligência Artificial – Fundamentos e Aplicações*, FCA - Editora de Informática, Lda, ISBN 972-722-269-2.
- Lopes, J. (2006). “*Generalização Cartográfica*”, Tese de mestrado, FCUL, texto não publicado.
- Mackaness, W.; Ruas, A.; Sarjakoski, L. (2007). “Generalization of geographic information: Cartographic modeling and applications”, in Vários, Elsevier, published on behalf of the International Cartographic Association, ISBN 978-0-08-045374-3.
- Rich, E.; Knight, K. (1991). *Artificial Intelligence*, McGraw-Hill, 2nd ed., ISBN 0-07-052263-4.
- Rocha, M.; Cortez, P.; Neves, J. (2008). *Análise Inteligente de Dados*, Tecnologias de Informação, FCA - Editora de Informática, Lda, ISBN 978-972-722-278-0.
- Ruas, A.; Gold, C. (2008). *Headway in Spatial Data Handling*, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, Springer, ISBN 978-3-540-68565-4.
- Ruas, A. (2002). *Généralisation et représentation multiple*, LAVOISIER, 11 rue Lavoisier 75008 Paris, ISBN 2-7462-0494-0.
- Plazanet, C. (1996) “*Enrichissement des bases de données géographiques : Analyse de la Géométrie des objets linéaires pour la generalization cartographique. Application aux routes*”, Tese de doutoramento, Universidade de Marne-la-Vallée, Paris.
- Tatibana, Cassia Yuri (2009). Internet: <http://www.din.uem.br/ia/neurais/>, Página pessoal, consultada em Fevereiro 2009.

A representação das Ilhas Selvagens na cartografia náutica actual

P. Sanches (1), X. Guerreiro (1), A. Moura (1), A. Prehaz (1)

(1) Instituto Hidrográfico - Rua das Trinas, 49 1249-093 Lisboa; paula.sanches@hidrografico.pt

Resumo: As cartas náuticas têm por principal objectivo satisfazer a necessidade de uma navegação marítima segura.

Em 1994 foi estabelecido um novo fólio cartográfico composto por 54 cartas náuticas de base, sendo a das Ilhas Selvagens uma das 7 que faltam para o completar, a publicar em 2010.

As cartas náuticas daquela área contêm informação muito antiga nomeadamente no que diz respeito à hidrografia que data de 1938. Para a actualização cartográfica, foi efectuado em 2009, um levantamento hidrográfico utilizando o sistema de posicionamento por satélite e para medição das profundidades o sondador acústico multifeixe.

Para construir a nova carta foi necessário integrar informação cuja idade, metodologias de aquisição, processamento e representação são muito diferentes. Pretende-se neste artigo descrever alguns dos procedimentos utilizados para a integração da informação no sistema WGS84, visando a produção da cartografia para navegação marítima da zona em estudo.

Palavras chave: Carta náutica, batimetria, hidrografia, sistema geodésico de referência

1. INTRODUÇÃO

As cartas náuticas nacionais (CN) em vigor na área das Ilhas Selvagens têm as seguintes características:

CN	Escala (Latitude média)
156-1ª R. de 2005 da 2ª Ed de 1974	1/20 000 (30° 09' N)
157-1ª R. de 2005 da 2ª Ed de 1974	1/20 000 (30° 02' N)
105-1ª R. de 2005 da 2ª Ed de 1973	1/20 000 (30° 05' N)

Tabela 1 – Parâmetros das cartas náuticas em vigor, construídas em projecção de Mercator – elipsóide Internacional.

A informação hidrográfica representada é uma compilação dos dados recolhidos na Missão Hidrográfica das Ilhas Adjacentes (MHIA) no período de 1936 a 1938.

A nova carta náutica desta área, a publicar durante 2010, é a 1ª edição da 36407 à escala 1/100 000 (30° 05' N), contem dois planos, A - Selvagem Grande e B - Selvagem Pequena à escala 1/25 000 (30° 05' N), em WGS84 e na projecção de Mercator.

Nos finais de 2009 foi feita uma campanha na zona das Ilhas Selvagens, para aquisição de dados batimétricos com o principal objectivo de actualização/produção cartográfica, incluindo a instalação de dois marégrafos e a determinação das coordenadas dos marcos e luzes existentes nas ilhas. Nas observações foram utilizados o sistema de posicionamento por satélite e o sondador acústico multifeixe.

De forma a construir a nova carta em WGS84 conforme recomendação da Organização Internacional de Hidrografia (OHI), foi necessário avaliar em que medida seria possível utilizar a cartografia existente, integrando-a com os dados adquiridos em 2009.

Para tal, houve a tentativa de consulta da documentação relativa à campanha de 1936 a 1938 e do processo de construção da 1ª edição das cartas em vigor.

Constatou-se que grande parte dessa documentação foi perdida no incêndio nas antigas instalações do Instituto Hidrográfico (IH), sendo que a sobrevivente além de escassa lança algumas dúvidas sobre o referencial geodésico utilizado.

Dos trabalhos da MHIA nas Ilhas Selvagens, existe em arquivo histórico uma prancheta à escala 1/12500 que representa os dados recolhidos. Apesar de ter sido nesta altura que se refere o estabelecimento do referencial geodésico local com origem no Marco Astronómico situado na Selvagem Grande, este marco ainda não se encontra representado na prancheta mencionada.

Com os dados desta missão foi construída a 1ª edição das cartas 156, 157 e 105.

Em 1997 foi efectuado um 'Trabalho de Geodesia com GPS', cujo relatório menciona tanto a existência de pouca informação como as dúvidas relativas ao referencial geodésico.

As cartas em vigor, Tabela I, encontram-se em formato CARIS vector e é com base nesses dados que se fará o estudo proposto.

O estudo da informação visa três vertentes, o dimensionamento da representação cartográfica existente, o posicionamento e a representação gráfica.

2. ESTUDO DA INFORMAÇÃO EXISTENTE

Foi utilizado o sistema CARIS, pois é o software para produção cartográfica utilizado no I.H. e pequenas aplicações pessoais para os cálculos necessários a este estudo.

Foram utilizados os seguintes conjuntos de coordenadas geodésicas:

- 1 - reportados no ficheiro de pontos coordenados - Datum Astronómico;
- 1A - reportados na base de dados de pontos coordenados do IH - Datum BASE SE;
- 2 - resultantes das observações de 1997 - WGS84;
- 3 - resultantes das observações de 2009 - WGS84;
- 4 - resultantes das observações de 2009 - ITRF2005.

Compararam-se os conjuntos de coordenadas e pela avaliação das diferenças foi decidido prosseguir o estudo com o conjunto de coordenadas 1, 1A e 3.

Descreve-se em seguida, o estudo efectuado para a CN 156 - 1ª reimpressão da 2ª edição. Relativamente às dimensões da representação cartográfica, foram calculadas as dimensões da quadrícula, as coordenadas cartográficas Mercator dos marcos 'Astronómico', 'Pico da Atalaia' e 'Pico dos Tornozeiros'.

Como relativamente ao Datum Astronómico existe a dúvida se o elipsóide utilizado é o Clarke 1866 ou o Hayford (Internacional 1924), os cálculos foram efectuados para as duas situações. Tabela II e III.

Marco	Internacional		Clarke66	
	x (mm)	y (mm)	x (mm)	y (mm)
Astronómico	280.979	176.540	280.973	176.530
Pico dos Tornozeiros	303.594	202.238	303.587	202.316
Pico da Atalaia	266.407	194.091	266.401	194.080
Dimensões CN 156	562.012	600.554	562.000	600.520

Tabela II - Coordenadas cartográficas Mercator (milímetros de desenho)

Marco	Internacional - Clarke66	
	x (mm)	y (mm)
Astronómico	0.006	0.01
Pico dos Tornozeiros	0.007	-0.078
Pico da Atalaia	0.006	0.011
Dimensões CN 156	0.012	0.034

Tabela III - Diferenças entre as coordenadas cartográficas Mercator (milímetros de desenho).

A questão colocada relativamente ao posicionamento, foi como transformar a cartografia existente para o novo sistema, existindo a dúvida sobre o referencial geodésico local.

Os marcos considerados foram o Astronómico, Pico da Atalaia, Cabeço da Atalaia, Pico do Inferno e Pico dos Tornozeiros na Selvagem Grande e o Pico do Veado na Selvagem Pequena, por terem sido observados na missão de 2009 e por existirem coordenadas no referencial geodésico local.

A hipótese Datum Base SE foi avaliada, por estar referenciado e por existir um vector de transformação (método Molodensky) para WGS84. A Figura 1 exemplifica os resultados obtidos. Esta hipótese foi rejeitada.



Figura 1 - Excerto da CN156 hipótese Datum Base SE transformada para WGS84. Símbolos a vermelho implantados em coordenadas geodésicas WGS84 resultantes das observações de 2009.

Relativamente ao Datum Astronómico, foram consideradas as duas hipóteses de partida, Datum Astronómico - elipsóide Clarke 1866 ou Datum Astronómico - elipsóide Internacional para encontrar um vector que transformasse a informação para WGS84.

Para tal foram determinadas as coordenadas geodésicas rectangulares considerando as coordenadas geodésicas do conjunto 1 para os dois elipsóides e do conjunto 3, dos marcos mencionados, recorrendo-se ao formulário:

$$\begin{aligned}
 X &= (N + h) \cos \varphi \cos \lambda \\
 Y &= (N + h) \cos \varphi \sin \lambda \\
 Z &= (N(1 - e^2) + h) \sin \varphi
 \end{aligned}$$

Atendendo à informação existente, só foi possível recorrer ao método dos três parâmetros, tendo-se estabelecido a média das diferenças (WGS84-Clarke66) e (WGS84-Internacional) usando 1, 4 e 5

marcos da Selvagem Grande e 6 marcos no total um dos quais da Selvagem Pequena.

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

Para os casos descritos, introduziram-se no sistema CARIS, os vectores de transformação para WGS84 a avaliar.

Procedeu-se à transformação do ficheiro da CN 156 para WGS84, para todas as situações criadas, implantaram-se as coordenadas geodésicas das observações de 2009 no ficheiro resultante e mediram-se as diferenças entre os marcos resultantes da transformação e os implantados por coordenadas. A Figura 2 exemplifica uma das situações.



Figura 2 – Transformação resultante da hipótese Datum Astronómico – elipsóide Clarke66. Símbolos a azul e preto resultantes da transformação. Símbolos a vermelho implantados em coordenadas geodésicas WGS84 resultantes das observações de 2009.

A última vertente em estudo foi a representação gráfica. Desde a criação da OHI, em 1921, da qual Portugal é membro fundador que tem havido um trabalho contínuo relativamente à normalização da representação gráfica dos objectos, reflectida na carta INT1-10Z01 do IH. Houve a necessidade de interpretar a representação existente de modo a ser possível substituí-la pela representação utilizada actualmente.

3. AVALIAÇÃO PARA CARTOGRAFIA NÁUTICA

Apesar do desconhecimento do elipsóide utilizado na construção da 1ª edição, e da quadricula da 2ª edição ter sido calculada para o elipsóide Internacional, conforme descrito no processo de compilação, os cálculos de dimensão descritos no ponto anterior apresentam diferenças que para o objectivo em questão e atendendo às técnicas de desenho utilizadas, podem ser consideradas desprezáveis. Ou seja, podem ter sido utilizadas as coordenadas referidas ao Datum Astronómico sem a preocupação da diferença de elipsóides.

Os vectores determinados foram testados na transformação pelo método de Molodensky da informação em formato CARIS vector em projecção

de Mercator, Datum Astronómico para formato CARIS vector em projecção de Mercator, WGS84. Dos resultados obtidos, o vector calculado com quatro pontos partindo do princípio que o Datum Astronómico foi estabelecido com o elipsóide Clarke 1866 aproxima melhor a informação às observações efectuadas do que o calculado com o elipsóide Internacional, sendo a diferença entre os dois da ordem de 0.1mm.



Figura 3 – Comparação entre as transformações de Datum Astronómico – elipsóide Clarke66 e de Datum Astronómico – elipsóide Internacional para WGS84.

Esta informação, representada a 1/20000, será utilizada no plano a 1/25 000 da nova carta 36407, pelo que, as diferenças encontradas, para a representação cartográfica proposta (de menor escala) podem considerar-se desprezáveis.

4. INTEGRAÇÃO DA INFORMAÇÃO

Toda a informação disponível, ou seja, levantamento hidrográfico (LH) de 2009, de 1998 e 1997, a CN 156 em vigor, a implantação gráfica de 1938, foi transformada para as características do plano da Selvagem Grande a figurar na carta 36407. Foram ainda implantados os marcos e as ajudas à navegação (luzes) coordenados em 2009.

Da informação mencionada a utilizada para representar o plano foi a CN 156 que sofreu um processo de generalização e de alteração gráfica, o LH de 2009 que foi processado para representação cartográfica para fins de navegação marítima e a lista de coordenadas geodésicas obtidas pelas observações de 2009.

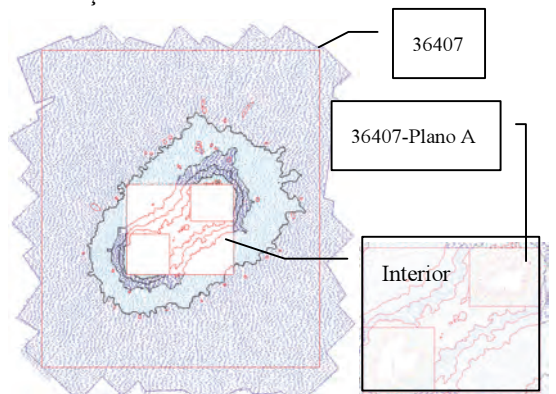


Figura 4 – LH de 2009. Enquadramento com a carta 36407.

O processamento do LH de 2009 compreendeu várias fases. Por ter uma cobertura geográfica muito

grande e um volume de dados elevado o LH foi dividido em 2 partes em função da cobertura cartográfica projectada, conforme esquematizado na Figura 4.

A zona designada por 'Interior', compreende os planos A e B onde o LH foi processado à escala 1/25000 e posteriormente generalizado para a CN 36407. A restante área foi processada a 1/100000.

Passa-se a descrever genericamente as restantes fases do processamento da zona 'Interior' para a representação cartográfica do plano A.

Depois da área levantada ter sido delimitada, foi construído um modelo numérico de terreno – modelo TIN – com a totalidade dos dados a partir do qual se geraram as isobatimétricas que são representadas para a escala mencionada. Estas linhas representam um aspecto gráfico complexo que para o objectivo em questão, podem não constituir uma ajuda clara, como exemplificado na Figura 5.

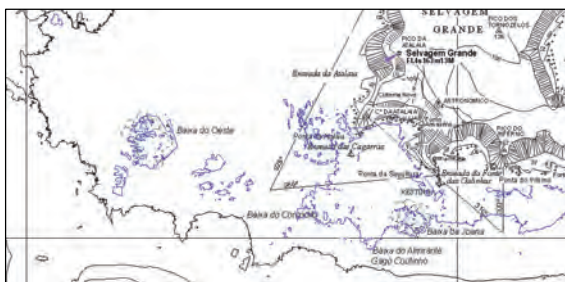


Figura 5 – Isobatimétricas geradas com a totalidade dos dados. Integração com a CN 156 transformada para o plano A da 36407.

Na prática, pretende-se fornecer a representação correspondente a uma superfície de profundidade mínima, pelo que o processo de generalização foi feito a partir dos dados. Foram criados dois subconjuntos de dados impondo o critério de que a sonda mínima prevalece para intervalos de 2 e 4 milímetros na representação gráfica. A partir destes foram mais uma vez construídos modelos numéricos de terreno e geradas as isobatimétricas pretendidas.



Figura 6 – Isobatimétricas geradas com o modelo correspondente à malha de 2 milímetros. Integração com a CN156 transformada para o plano A da CN 36407.

Estas foram analisadas, confrontando-as com a totalidade dos dados, de modo a escolher o modelo com o comportamento gráfico mais adequado ao propósito, após o que e caso necessário se pode proceder à edição pontual das isobatimétricas. O

modelo escolhido neste caso foi o gerado pela malha de 2 milímetros (Figuras 6 e 7).

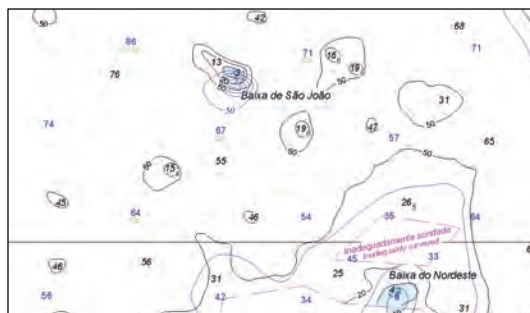


Figura 7 – Comparação da informação da CN 156 com a processada a partir do LH de 2009 para o plano A da 36407.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo efectuado não retira a ambiguidade sobre o elipsóide associado ao Datum Astronómico nem o utilizado na construção da 1ª edição das cartas mencionadas (então designadas por Planos Hidrográficos).

Foi possível, no entanto, transformar e utilizar a cartografia existente na construção da nova carta náutica 36407, juntamente com os dados adquiridos em 2009.

No processamento do LH de 2009 para representação cartográfica utilizou-se o modelo gerado por uma malha de 2 milímetros na construção das isobatimétricas. Na comparação com a cartografia existente verificou-se a existência de alguns baixos não cartografados. Os mais perigosos estão representados tendo sido detectadas diferenças na posição e valor de profundidade reportado.

REFERÊNCIAS

Guerreiro R., Godinho S. (2006). Sobrevalorização da Cartografia Náutica Antiga. *Anais do Instituto Hidrográfico*, N.º 18 – 2005-2006.

OHI, (2009). *S4 – Regulations of the IHO for International (INT) charts and chart specifications of the IHO*. Edição 3.006.

Instituto Hidrográfico. *Processo de compilação e de construção da 2ª edição das cartas 256, 157 e 158*. Instituto Hidrográfico.

Instituto Hidrográfico (2009). *Relatório Técnico Final – REL FT HI 21/09*. Brigada Hidrográfica.

Barahona Fernandes J.A. (1967). *Manual de Hidrografia*. Reimpressão da 1ª Edição (1971). Instituto Hidrográfico.

Instituto Hidrográfico (2010). Missão Geodésica, Hidrográfica e Oceanográfica. *Hidromar. Boletim do Instituto Hidrográfico nº 106*.

Tecnologias do Mar

Towards a sustained presence in the ocean: sensor systems on networked vehicles

R. Bencatel, R. Caldas, P. Dias, R. Gomes, R. J. Gomes, G. Gonçalves, R. Gonçalves, B. Loureiro, E. Marques, R. Martins, M. Nogueira, F. Pereira, J. Pereira, C. Oliveira, P. Rodrigues, J. Pinto, J. Silva, J. Sousa, P. Sujit, B. Terra

Departamento de Engenharia Electrotécnica e Computadores; Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto, Portugal. E-mail: jtasso@fe.up.pt.

Resumo: Este artigo descreve de uma forma geral o trabalho desenvolvido pelo Laboratório de Sistemas e Tecnologia Subaquática da Universidade do Porto desde a sua fundação em 1997. Em primeiro lugar, aborda-se a actual frota de veículos não tripulados do laboratório, que inclui também veículos aéreos. Segue-se uma breve descrição dos desafios associados à coordenação e controlo de sistemas de veículos que interagem entre si e com utilizadores através de redes inter-operadas. A abordagem do laboratório a esta problemática é apresentada nas perspectivas da arquitectura do sistema e das ferramentas de software para a sua implementação. Os sistemas recentemente desenvolvidos descritos na secção seguinte ilustram a facilidade de desenvolvimento de novos sistemas com base no know-how entretanto acumulado. Finalmente, os aspectos de operações com vários veículos são discutidos antes de se perspectivarem os trabalhos futuros nas conclusões.

Palavras chave: Unmanned Vehicles, Command and Control, AUV, ASV, UAV

1. INTRODUCTION

The Underwater Systems and Technologies Laboratory (LSTS) of Porto University has, since its foundation in 1997, been designing, building and operating unmanned underwater, surface and air vehicle systems for innovative applications with strong societal impact. Currently, LSTS has over 30 researchers, including faculty and students, with diverse backgrounds like Electrical and Computer Engineering, Mechanical Engineering and Computer Science. In 2006, LSTS received the national BES Innovation National Award for the design of the Light Autonomous Underwater Vehicle (AUV).

In the last 15 years, we have successfully deployed unmanned air, ground, surface and underwater vehicles in innovative operations in Europe and in the USA. These include some world firsts, such as the underwater rendezvous between the Aries and Isurus AUVs, respectively, from Naval Postgraduate School and Porto University, (Marques, 2007) that took place in 2006 in Monterey, California, under a cooperation project between both institutions. Currently, LSTS is leading several national and EU projects concerning the development of unmanned vehicle systems. The LSTS is tasked, under the Seacon project funded by the Portuguese Ministry of Defence (MDN), to deliver three units of an advanced version of the award-winning Light AUV to the Portuguese Navy. The LSTS is leading, in cooperation with the Portuguese Air Force Academy, the PITVANT unmanned air vehicle (UAV) program funded by MDN. LSTS is cooperating with the Portuguese Task Group for the Extension of the Continental Shelf (EMEPC) in the operation of the Deep Sea Remotely Operated Vehicle (ROV) Luso. LSTS is developing tools and technologies for ocean observation in the Raia

project funded by the EU Program Cooperação Transfronteiriça Espanha-Portugal. In the EU FP7 project Control for Coordination, LSTS is developing coordination and control strategies to be demonstrated with oceangoing vehicles in 2011.

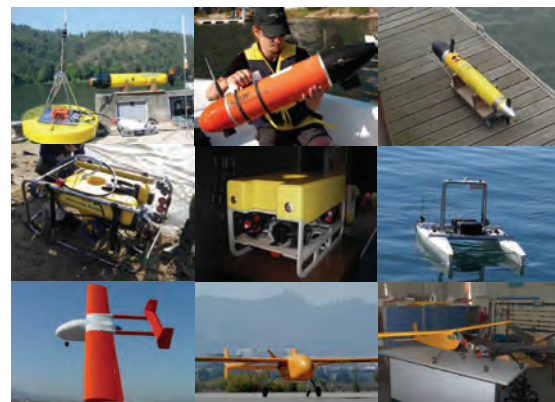


Fig. 1. LSTS unmanned vehicles.

Currently, the LSTS fleet includes two ROVs (rated for 200m and equipped with video cameras and side-scan sonar), two AUVs (1.8m long, equipped with side-scan sonar, acoustic modem and ADCP), six Light AUVs (1.5m long, configured with CTD sensor, side-scan sonar and acoustic modem), one autonomous surface vehicle (ASV) (can be used as a communications bridge between wireless and underwater communications), six UAVs (wingspans ranging from 1.8 m to 3.6 m), gateway buoys (supporting wireless and underwater communications) and sixty Telos Motes.

Section 2 outlines key research challenges addressed in the development of a framework for the systematic design and deployment of networked vehicle systems, being the LSTS approach sketched in Section 3. While section 4 outlines our planning

and execution control framework, section 5 describes tools and technologies used for its implementation. Section 6 presents developments in fields such as Delay Tolerant Networks (DTNs), data loggers for oceanographic buoys, gateway buoys and wireless sensor networks. Section 7 discusses our operational deployments. Section 8 presents the conclusions and discusses future work.

2. RESEARCH CHALLENGES

LSTS is currently developing a scientific framework for the systematic design and deployment of cooperating networked vehicle and sensor systems in new applications with strong societal and scientific impact. These include persistent 24/7 operations. 24/7 system's level properties arise from the coordination and control of resources which are not continuously available due to operational constraints (e.g., fuel limitations). The idea of a system of systems enables us to capture the essential aspects of operation of these vehicle systems. In a system of systems, a significant part of the "system" is embodied not as physical devices, such as vehicles, sensors or communication networks, but as software applications which may be mobile. Moreover, mixed initiative systems, where operators intervene in the planning and control loops, play a central role in operations, thus making human factors an important design consideration. These challenges entail a shift in the focus of existing methodologies: from prescribing and commanding the behavior of isolated systems to prescribing and commanding the behavior of networked systems.

3. APPROACH

LSTS has a three-fold approach to these challenges: 1) low cost modular vehicles; 2) planning, command and control framework within which the interactions among heterogeneous vehicles, sensors and operators are standardized and mediated; and 3) a software tool set implementing the framework over inter-operated (possibly intermittent) communication networks. This inter-disciplinary effort builds on advances in (1) dynamic networks of hybrid automata; (2) hierarchical architecture design for semi-automated, distributed teams of agents; (3) incorporating human intervention in mission planning and execution; and (4) models of systems with evolving structure.

4. PLANNING AND EXECUTION CONTROL

Our layered approach to planning and control builds on a few concepts and lends itself to modular verification. In our developments, we have been considering mixed initiative interactions, enabling operators to intervene in the planning and control loops. In part this is because mathematical models cannot reflect essential experience and insight of these operators, and so these must approve or modify plans and their execution. Also, it is

impossible to design vehicle and team controllers that can respond satisfactorily to every possible contingency. Our control architecture consists of two main layers: vehicle and multi-vehicle. Each layer is further decomposed into sub-layers. The vehicle control architecture is standard for all vehicles. The multi-vehicle control structure is mission dependent. The control architecture is formally described as interacting hybrid automata.

Vehicles are abstracted as providers of maneuvers and services, which are made available through standardized interfaces. Maneuvers are templates for motions and actions. Services include, for example, communications and computations. We use the concept of maneuver - prototype of an action/motion of a vehicle - as the atomic component of all execution concepts. Vehicle mission plans encode maneuver and service switching, as well as switching of control dependencies with respect to external controllers or operators. Conditions for maneuver and service switching, and for switching control dependencies, can be local to the vehicle, or coordinated with other vehicles, sensors, controllers or operators, possibly as a reaction to observed world state changes.

The vehicle control architecture consists of four layers. The lower level of the architecture abstracts sensors, actuators and communication devices. The maneuver control level consists of a library of maneuver controllers of which only one can be active at a time. The supervisory level consists of the vehicle supervisor, one per vehicle. The vehicle supervisor takes care of maneuver switching, service provision, communications, control dependencies in a dynamic multi-vehicle architecture, and error handling. The switching logic of the vehicle supervisor encodes guards on the internal state of the vehicle and communication channels (evolving over time). Some of these guards can be enabled/disabled in real-time with commands sent through dedicated communication channels to designated human operators. We allow and enforce access control by including access permissions for external controllers in the state of the vehicle. The supervisor also maintains and switches dependencies from external controllers with access permissions which are either in the mission plan, or changed in real-time.

The plan supervisory level consists of the plan supervisor, one per vehicle. The plan supervisor takes a mission plan as an input and supervises its execution. It triggers the execution of a specified maneuver and waits for either its completion or an error. When the acknowledgement is received, the plan supervisor selects the next maneuver in the mission plan. The process is repeated until the plan is successfully terminated, or fails. System level plans encoding transitions among the combined states of the system and of the world are defined at higher abstraction levels. Transitions encode, for

example, conditions on the number of vehicles required to accomplish a given goal, or on the world state. Control actions at this level may include the creation of control structures (controllers plus communication channels) to accomplish a given goal, or the migration of computations in a network. System level plans are executed by a structure of interacting controllers. Moreover, it allows the creation and deletion of structures of controllers, possibly interacting among themselves. This lends itself to the introduction of controllers of teams of vehicles which may also interact among themselves. An example of such interactions is load-balancing by switching vehicles among team controllers to compensate for unbalanced performance.

5. TOOLS AND TECHNOLOGIES

A comprehensive *toolchain* supporting the operation of heterogeneous vehicles has been developed.

Neptus (Dias *et al.* 2006) is a distributed command, control, communications and intelligence framework for operations with networked vehicles, systems, and human operators. Neptus supports all the phases of a mission life cycle: world representation, planning, simulation, execution, and post-mission analysis. Neptus supports concurrent operations with dynamic topologies: vehicles, operators, and operator consoles come and go; operators plan and supervise missions concurrently and control more than one vehicle at a time. IMC (Martins *et al.* 2009) is a communications protocol defining a common control message set for all types of LSTS nodes (vehicles, consoles or sensors) in networked environments. This provides for standard coupling of heterogeneous components in terms of data interchange. The DUNE onboard system is used to write generic embedded software at the heart of the vehicles, e.g. code for control, navigation, or to access sensors and actuators. It provides an operating-system and architecture independent C++ programming environment for writing efficient real-time reactive tasks in modular fashion.

DFO (Data Flow Objects) is a coordination language for the specification of supervision control software, deployed on top of DUNE. It is used for supervision of mission execution, vehicle state, and embedding maneuver controllers. More expressive notions of autonomous vehicle execution – cooperative vehicle missions, dynamic exchange of control links between networked entities, and on-the-fly mission reprogramming – are being accommodated. Seaware (Marques *et al.* 2006) is an interface for publish-subscribe messaging, deployed on top of the Real-Time DDS tool. It supports dynamic coupling of network nodes and configurable QOS.

6. RECENT DEVELOPMENTS

Wireless sensor network (WSN) deployments for monitoring environment variables like temperature,

humidity and noise levels have been deployed. Pilot experiments for wild-fire prevention (Sousa *et al.* 2006) and noise monitoring have been carried out. Data from these deployments is routed through an ad-hoc network of sensors into a base station that logs all data and provides real-time monitoring.

More recently, a web dissemination framework (Pinto *et al.* 2009) capable of receiving data from all LSTS devices and providing different means to access and visualize sensor data has been developed. Google Earth mashups to track the position of sensors and to analyse real-time data as seen in Figures 2 and 3, have been created.

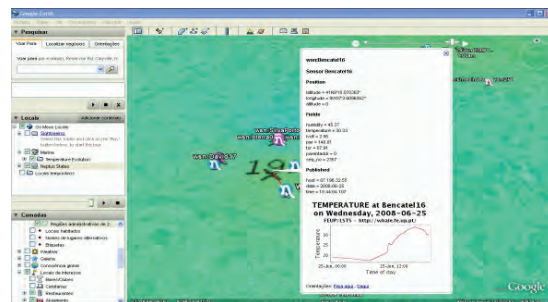


Fig. 2. Google Earth Mashup showing data from multiple WSNs

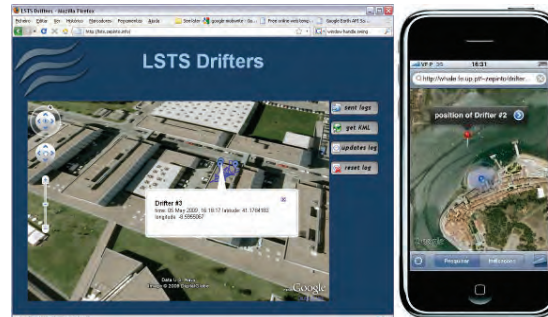


Fig. 3. Web-based consoles used for monitoring drifting sensors

We developed a DTN Convergence Layer for underwater acoustic modems and tested its feasibility in a joint demonstration with NURC. In this, we were able to successfully complete the transfer of data from a cellular phone aboard one ship to a laptop aboard another one by crossing multiple static and mobile acoustic modems subject to network disruptions. Oceanographic buoys have been instrumented with generic data loggers to register data gathered by multiple sensors (additional ones can be supported by a plug-in API). With only 3 watts, this device runs GNU/Linux with real-time extensions and uses a journaling file system for storing and accessing data (IMC and NetCDF 4 formats) from flash drives and optionally compress the data. The data logger has support for TCP, UDP and DTN2.

Moreover, we have been developing gateway buoys which are centralized communication hubs for maritime assets, supporting several types of WNs. These devices are capable of transparently route data between heterogeneous network links, balancing bandwidth and range. A HSDPA/GSM modem

provides direct connection to the Internet in territorial waters, thus enabling real-time data publication in the World Wide Web. 2.4GHz and 5GHz Wi-Fi devices provide a low-cost solution for high-throughput and medium-range (4.5Km) communications and a 900MHz Carrier Class Modular Radio is used for longer-range links. An acoustic modem is installed for low-bandwidth and long-range underwater communications. Routing and store-and-forward is implemented with the aid of the DTN Reference Implementation.

7. OPERATIONS

The LSTS fleet has seen action at least twice a month since 2007. We have been operating in the Atlantic and Pacific and also in Portuguese and American rivers. Figure 4 depicts the setup of a demonstration which took place in 2008 at the Porto harbour in Portugal. Several AUVs and ASVs were operated under the control of our software *toolchain* over interoperated communication networks.



Fig. 4. Deployment with aquatic vehicles



Fig. 5. Air operations (Pitvant project)

Figure 5 presents photographs of UAV operations at the Ota Air Force base. These were carried out under the PITVANT project. In 2009, we accumulated over 100 autonomous flights with 6 different UAV platforms and performed a demonstration in the Douro River with coordinated operation between one ASV and two AUVs (Martins 2009). In 2010, we performed night operations at Sintra Air Force base and new operations are planned to test and certify novel developments, including new mixed initiative features, such as control handover between operators, target tracking and vision based control.

Demonstrations of cooperating air and ocean going vehicle systems in collaboration with the Portuguese Navy and Air Force are planned in July in Portugal.

8. CONCLUSIONS

An overview of the R&D undertaken at the LSTS was presented. The theoretic framework for the coordination and control of networked vehicle systems was outlined along with a description of the tools and technologies being used to deploy it. The accumulated experience and know-how facilitate the rapid development of new systems for hydrographic applications. Innovative operations, including some world firsts, provide the motivation to conceive and deploy systems which could not have been imagined one decade ago. Our goal is a sustained and sustainable presence in the ocean.

Acknowledgements. This work was partially funded by the projects Raia and NETV (FCT).

REFERENCES

- Marques E., Pinto J., Kragelund S., Dias P., Madureira L., Sousa A., Correia M., Ferreira H., Gonçalves R., Martins R., Horner D., Healey A., Gonçalves G., Sousa J., "AUV Control and Communication using Underwater Acoustic Networks", *Oceans07, Aberdeen, Scotland, 2007*.
- Pereira E., Almeida P., Morgado J., Coutinho D., Bencatel R., Gonçalves G., Sousa, J. "Apollo framework for UAV Systems: experimental results", *UAV Conf. 07, Paris, France, 2007*.
- Dias P., Pereira F., Gonçalves G., Gomes R., Pinto J., Fraga S., Sousa J. "Mission Planning and Specification in the Neptus Framework", *ICRA 06, Orlando, USA, 2006*.
- Sousa A., Gonçalves G., Sousa J., Pinto J., Lebres P., "Pilot Experiment of an Early Warning Fire Detection System", *EWSN'06, Zurich, Switzerland, 2006*.
- Marques E., Gonçalves G., Sousa J., "Seaware: A Publish/Subscribe Communications Middleware for Networked Vehicle Systems". *MCMC'06: 7th IFAC Conf. on Manoeuvring and Control of Marine Craft, Lisbon, Portugal, 2006*.
- Martins R., Marques E., Dias P., Pinto J., Sousa J., "IMC – A Communication Protocol for Networked Vehicles and Sensors", *IEEE Oceans 09, Bremen, Germany, 2009*.
- Pinto J., Dias P., Gonçalves R., Sousa J., "Large Scale Data Collection Using Networks of Heterogeneous Vehicles and Sensors", *IEEE Oceans'09, Bremen, Germany, 2009*.
- Martins R., Dias P., Pinto J., P. Sujit, Sousa J., "Multiple Underwater Vehicle Coordination for Ocean Exploration", *Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence (IJCAI), Pasadena, USA, 2009*.

Latest Advances Around HF Radar Technology And Its Integration Into Data Information Services

P. Agostinho (1), A. Alonso-Martirena (2), V. Fernandez (2), J. Vela (2), D. Barrick (3), C. Whelan (3)

(1) Qualitas Instruments Lda. – MadanParque, Rua dos Inventores, 2825-182 Caparica, Portugal.
pedro.agostinho@qualitasremos.com

(2) Qualitas Remos – Calle Toronga 31, 28043 Madrid, Spain

(3) CODAR Ocean Sensors – 1914 Plymouth Street, Mountain View, Califórnia, 94043 U.S.A.

Abstract: HF Radar is a proven technology with operational uses in current mapping and wave monitoring, with also new features such as vessel detection and tsunami observing. This paper will first discuss recent innovations, such as highly compact, low-power systems, the new compact antenna design, the GPS synchronization, multi-static operation, among others. The second main subject of this paper regards HF radar integration in web accessed information systems. Operational institutions often have to find solutions to integrate all their data sources into an information system, demanding quick and user-friendly access to data and cost effectiveness. The solution presented, PORTUS, is an effort towards an information system allowing the complete integration and visualization of several types of data, 1-D, 2-D (HF Radar included), data export using industry standards, in a user-friendly web GIS, highly cost-effective and accessible anywhere, through the internet.

Key words: CODAR, HF, Radar, Information, System, Data, PORTUS, GIS

1. INTRODUCTION

Ocean observing technologies have been suffering significant advances in the last years. One of the technologies in current use by major oceanographic institutions all over the world is HF Radar, capable of real-time current mapping and wave monitoring.

The creators of HF Radar for ocean monitoring applications have put more than 300 radars in operation worldwide, and are continuously developing the technology and adding new and innovative features. In this paper will be discussed new features such as highly compact, low-power systems, the new compact antenna design, GPS synchronization, and techniques of coverage enhancement, such as multi-static operation and the use of passive reflectors.

The second topic of this paper relates to the integration of oceanographic information into information systems. It will be presented an effort towards a complete and unified information system with complete integration and visualization of 1-D and 2-D data, in a highly cost-effective platform accessible anywhere through the Internet, the PORTUS by QUALITAS ® system.

2. LATEST ADVANCES IN HF RADAR

In 1968, Donald Barrick established the theoretical basis of HF sea scatter that allows both current extraction as well as sea state monitoring. Since then, HF Radar technology has been in continuously enhancement, and in the last couple of years several

breakthroughs were made. Some of these breakthroughs will be discussed in the following topics.

2.1 Compact, low-power systems

The typical HF Radar system is installed inside an electronics rack, with uninterruptible power supply, voltage protections, network apparatus, and other support devices. The radar control units have heat sensitive electronic components, such as amplifiers, processors, etc, so normally they are installed in temperature controlled environments. This translates in a power consumption of the system plus climate control of around 1500 W.

One of the main difficulties in HF Radar site scouting is finding places with existing infrastructures in order to accommodate the electronics with stable power, and in a controlled environment. In order to surpass this difficulty, a new alternative system platform was thought, comprehending low-power electronic components (such as the Class-E transmit amplifier with an efficiency above 80%, against 25% of normal Class-C amplifiers) in a new, compact and climate controlled enclosure (Fig. 1).

These enhancements allow for the system to ran on less than 220 W, including climate control, thus increasing the number of sites in which the system can be deployed. The cooling system turns itself on and off when the internal temperatures reach key thresholds.

This makes it possible also to run the system on renewable energy sources, such as solar power.



Fig. 1. Typical electronics rack solutions, standard and compact

2.2 Compact antenna design

First HF Radar systems were based in phased arrays, occupying several hundred meters in beaches with several antennas. This design was developed and the number of antennas was brought down to two, one transmit and one receiver antenna (with horizontal whips). This design was then enhanced to one single mast antenna, keeping the receiver box with the whips. The latest design is currently available for 13 and 25 MHz (Standard Range) and 40 MHz (High Resolution) systems, and in development for 5 MHz (Long Range). This design reduces the footprint of the antenna and its visual impact and increases the number of possible sites at all frequencies (Fig. 2).



Fig. 2. Old combined Rx/Tx antenna with horizontal whips and new antenna design.

2.3 GPS synchronization

The HF spectrum is used for a wide number of applications, thus the efficient use of it is critical in order to achieve a sustainable management of the radio electric space. A GPS-based technology was developed which allows that all radars (20+) inside a network occupy the smallest possible bandwidth.

This means that each system transmit in the same frequency and in the same bandwidth simultaneously, synchronizing themselves through GPS timing.

This is accomplished by modulation multiplexing, through high-precision GPS-enabled sweep timing using phase-locked loop (better than 10 ns accuracy).

Each radar system transmits a gated FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave), and the time difference between each system's sweep start is rigorously defined through GPS timing. This allows that, after complete demodulation, other systems signals and echoes are put in distant and unused range bins (Fig. 3).

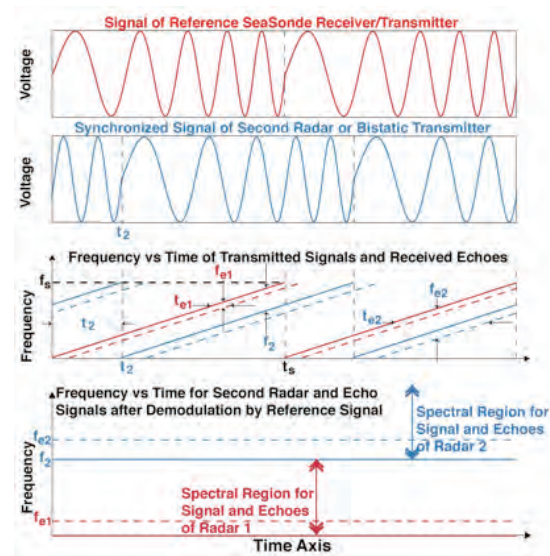


Fig. 3. Example on how GPS synchronization works.

2.4 Passive Reflectors

The use of passive reflectors makes it possible to increase coverage just by placing one additional pole behind the excited antenna, at a certain distance, without changing the amount of forwarded power. This is based on the same principles of the Yagi-Uda antennas, which direct the beam towards one angle according to the passive elements existing on the antenna.

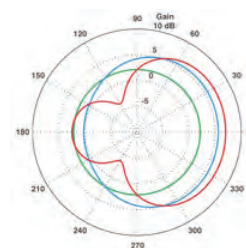


Fig. 4. Antenna transmit pattern green is the standard omnidirectional transmit pattern, blue and red are patterns of setups using passive reflectors, at different distances between the reflector and the antenna.

The passive reflector allows for a coverage increase between 15 to 25%, depending on local conditions and the distance between the antenna and the reflector. Considering a 3 to 5 db gain, this means that a 13 MHz will have an additional range of 8 to 13 km in an angle wider than 180 ° (Fig. 4).

2.5 Multi-static Operation

Multi-static operation is a ground breaking patented concept, which revolutionized the architecture of HF Radar networks. The concept of multi-static is to use other radars signals and echoes in order to produce current vectors.

One monostatic HF Radar processes only the sea backscatter of its transmitted signal, while one multistatic HF Radar listens not only to the sea backscatter of its own transmitted signal but to the echo of all other radars that are operating in the same frequency in the vicinity.

In order to illustrate the practical enhancement of this technology, the following example of the East Coast of the U.S.A., with radars operated by Rutgers University, is presented (S. Glenn and O. Schofield, 2009). A network of four Long Range radars covers an area of around 37.500 km². Using an additional bistatic transmitter on a buoy (Fig. 5), the area is expanded to around 60.000 km², which is 60 % of increased coverage (Fig. 6).

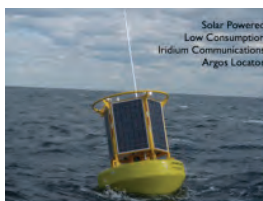


Fig. 5. Buoy with bistatic transmitter.

With equal importance as the coverage enhancement, the vector density, which is related with data quality, increases by a factor of 4.

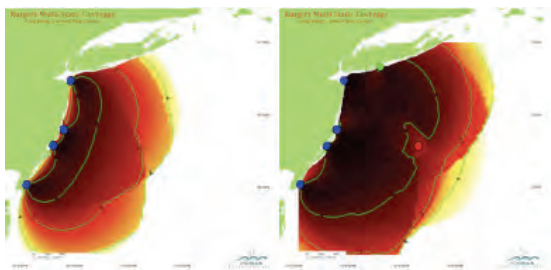


Fig. 6. Comparison of monostatic and multistatic coverages. Darker colours relate to higher vector density.

3. INTEGRATED OCEANOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM, PORTUS BY QUALITAS ®

The expansion of ocean observing networks (*in situ* observing networks such as buoys, mareographs and other, remote earth based observing platforms such as coastal HF radars and satellite information) together with the operational integration of new ocean forecasting tools is resulting in a continuous accumulative growth of information on the ocean. This is producing a certain dispersion of the information, creating deficiencies in terms of exploitation capabilities. In order to minimize such lacks and to improve the usability a new information system, the PORTUS, is being developed in cooperation by PUERTOS del ESTADO and the engineering company QUALITAS. In fact, the main system concepts have been inspired from the very beginning by Dr Enrique Alvarez Fanjul, Head of the Area del Medio Físico of PdE (Enrique Alvarez Fanjul et al, 2010).

The new PORTUS system is based on the use of an enhanced GOOGLE ® web based interface that integrates different multisource 1D and 2D information with tailored products for different end-users and stakeholders; special attention is paid to the harbor needs.

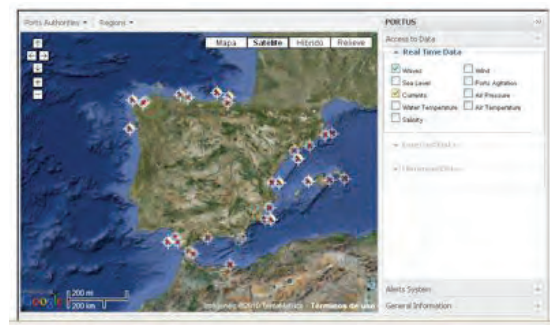


Fig. 7. PORTUS information system by PUERTOS del ESTADO.

At the same time, the PORTUS information system makes visualization of data and selected easy products freely available to the general public. PdE needs have melted with the QUALITAS vision and thus giving shape to the new IT oceanographic information solution PORTUS by QUALITAS ®.

3.1. First target: "Let us make information usable"

The design of PORTUS by QUALITAS ® gives response to the main challenge organizations are facing today which is to make information usable. Discovery and access to information is provided in an easy and strait forward way. All kind of data (measured or modeled) and time (historic, real-time and forecast) are made accessible through a familiar GOOGLE ® maps interface. First image when

accessing the system is your selected focus of interest without any intermediate clicks.



Fig. 8. HF radar surface currents along Barcelona waterfront.

Permits and authorizations to access information are structured in an efficient and secure way based on multiple criteria. General public and specialized stakeholders, system user and system operator are some of the perspectives that are taken into account. Special attention is placed in the coherence and quality of the information. It is not only that the visualization interface signals QA/QC incidences but also lots of tailored applications that are run in the background and that provide invaluable support to the task of system and observing network monitoring improving the efficiency and value of associated operations along the whole chain.

3.2. Second target: “Special focus on HF radar”

HF radar is understood by many organizations as an essential component of ocean observing systems. PORTUS by QUALITAS® pays recognition to this fact by offering plenty of tailored modules that are intended both to help system managers keep the data quality and performance of HF radar networks at its optimum and, at the same time, make the most out of the enormous wealth of information by fusing HF radar data with other sources of information.

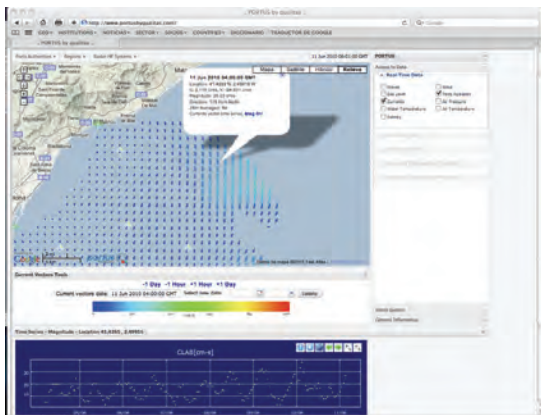


Fig. 9. PORTUS by QUALITAS® information system.

3.3. Third target: “Designed to foster the information exchange and cohabit with other systems”

Information exchange and cohabitation with additional systems need to be key in any new system development and data management plan today. The investment and operation cost of observing systems can only be afforded in a leveraged approach that in which local, regional and global institutions work together. Societal benefits need to return through all kind of users including scientific, operational, public and private individuals and groups.

The new information system is designed for the efficient real-time or offline data exchange and can be applied with a threefold objective as

- a general oceanographic information system which is the approach of system designer PUERTOS del ESTADO
- a tailored tool that gives response to the harbor operation, navigation and ship routing requirements regarding environmental and physical information
- a specialized HF radar network operation and added value application tool with special focus on oil spill preparedness and integrated coastal zone management that can easily cohabit with third party global or tailored information systems

3.4. New SaaS concept: “Software as a service”

Information needs to be available today time and location independent. PORTUS by QUALITAS® is ready to provide permanent online access to highest quality customer proprietary information as a service with an attractive payment logic as a stand alone service or as part of a wider range of services that can include the operation of *in situ* and remote ocean observing networks and data management systems. Perceived customer value in terms of seamless integration of real-time oceanographic information into its present IT solution and permanent upgrade with the most innovative application flow are two of the advantages offered by the new service approach.

REFERENCES

S. Glenn and O. Schofield (2009); Growing a Distributed Ocean Observatory: Our View From the COOL Room; Oceanography, Volume 22, Number 2, pp. 128-145.

Enrique Alvarez Fanjul, Susana Perez, et al (2010); PORTUS, a new system that integrates ocean data from different observing technologies and sources and provides added value information for multiple purposes in Spanish Coastal Waters; Oceanology International 2010, Ocean Observation Seminar.

Coastal morphological monitoring using an automated video system at Praia de Faro (South Portugal)

Vousdoukas, M.V. (1), Almeida, L.P. (1), Ferreira, Ó. (1), Taborda, R. (2), Silva, A.N. (2).

(1) University of Algarve, CIMA – Centre of Marine and Environmental Research.

mvousdoukas@ualg.pt

(2) University of Lisbon – Faculty of Sciences

Abstract: An automated video system for coastal morphological monitoring is presented, consisting of 2 IP cameras and a PC, acquiring imagery from the coastal zone during 10 min every hour during daylight, with an acquisition frequency of 1 Hz. The system is used to monitor a coastal section 500 m alongshore Praia de Faro with resolution varying from 0.2 m to 3 m and is programmed to generate snapshot, time averaged (timex), variance and timestack images on an hourly basis. Automatic shoreline extraction algorithms were developed and combined with real time wave and tidal measurements produce intertidal topographic impressions for each tidal cycle. Comparison with RTK-GPS topographic surveys showed RMS errors ranging from 10 to 20 cm and the information is used to update a DTM, which along with wave run up measurements are the major direct system products.

Keywords: beach erosion, video monitoring, coastal morphodynamics, sediment transport, wave run up

1. INTRODUCTION

The EU project Morphological Impacts and Coastal Risks by Extreme storm events (MICORE) aims to develop and demonstrate on-line tools for reliable predictions of the morphological impact of marine storm events in support of civil protection mitigation strategies. The project is specifically targeted to contribute to the development of a probabilistic mapping of the morphological impact of marine storms and to the production of early warning and information systems to support long-term disaster reduction.

Monitoring of nine selected case-study sites at equal European countries is taking place to assess the impact of the storms on living and non-living resources and real-time warning systems are being designed to be proposed for implementation from National Civil Protection agencies. The most important end product of the project is the production of risk indicators with defined threshold for the identification of major morphological changes and flooding associated vulnerability. For those objectives field data acquisition is very significant.

Praia de Faro, Algarve is the Portuguese study site for the project, located in the Southern Portuguese coast. The study site is a mesotidal (tidal range ~3 m) reflective beach with very dynamic morphodynamic behavior. Significant wave heights up to 5 m during storm events are being recorded on an annual basis and the erosion and recovery rates have been shown to be very fast.

Against this background, an automated video system was developed and installed at the beach, aiming to

follow the rapid morphodynamic changes taking place.

2. THE VIDEO SYSTEM

2.1 General description

2 IP cameras were installed on a 4 m tall metallic structure, placed on the top of Paquete restaurant and the total elevation of the center of view (COV) is ~20 above sea level. Both cameras are connected to a PC and are acquiring imagery from the coastal zone during 10 min every hour during daylight, with an acquisition frequency of 1 Hz.



Figure 1. The cameras at Praia de Faro.

The system is used to monitor a coastal stretch 500 m alongshore with resolution varying from 0.2 m to 3 m and is programmed to execute scheduled image processing operations, so as to generate snapshot, time averaged (timex), variance and timestack

images on an hourly basis. TIMEX images are 10 min averaged images where the white patterns can be used as proxies for wave breaking and shoreline locations. The above features are often more clearly displayed on the SIGMA images which show the 10 variance of the pixel intensities along the image. Finally, timestack images show the swash shoreward limit position along a cross-shore transect, during the 10 mins period and along with topographic data, can provide wave run up heights.

2.2 Image geo-rectification

The key processing required for this application is the accurate rectification of the obtained imagery, projecting the scenes and objects with image coordinates (U, V) to a horizontal plane in real world, metric system coordinates (X, Y, Z). This procedure is called geo-rectification and is here performed utilizing homogenous coordinates using the 3x4 perspective transformation matrix P (Hartley and Zisserman, 2006):

$$P \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U \\ V \\ 1 \end{bmatrix} \tag{1}$$

The P matrix can be decomposed as:

$$P = K R [I | -C] \tag{2}$$

where K is an upper triangular matrix, known as the camera calibration matrix (e.g. see Bouguet, 2007), I is the identity matrix, and C and R are the translation and rotation matrices of the camera’s center of view respectively (Hartley and Zisserman, 2006).

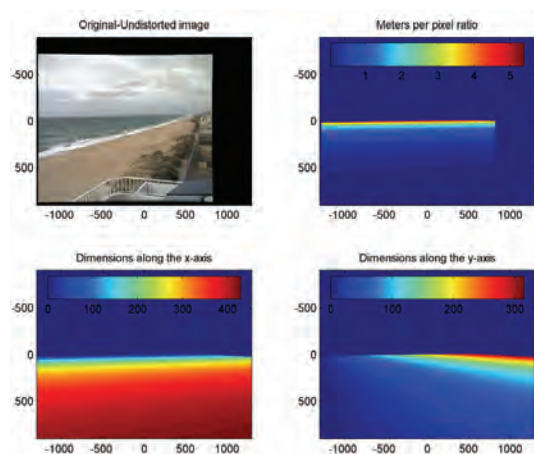


Figure 2. From upper left to lower right: Example of an undistorted snapshot image; geospatial transformations of pixel dimension: meters per pixel ratio, x and y real world dimensions (m), displayed in the image space.

K matrix determination takes place using standard procedures well explained in the literature (e.g. see Bouguet, 2007), while the C translation matrix accounts for the location of the camera centre of view (COV) in the world coordinate reference system:

$$C = \begin{bmatrix} X_{cam} \\ Y_{cam} \\ Z_{cam} \end{bmatrix} \tag{3}$$

R matrix expresses the effective orientation of the camera imaging plane and is defined by three angles, the COV-pan, COV-tilt and COV-roll, relative to the Cartesian system of coordinates (e.g. Hartley and Zisserman, 2006; Holland and Holman, 1997; Vousdoukas et al., 2009a).

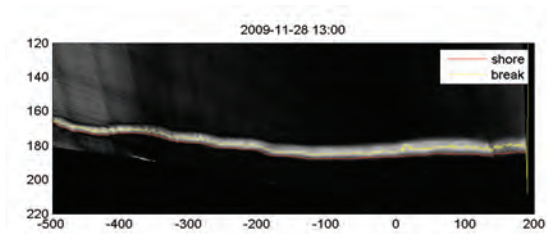


Figure 3. Georectified SIGMA image (the system is rotated by ~37 degrees). Red and yellow lines correspond to the automatically extracted shoreline and break line position.

A set of points with known image and world coordinates was considered (Ground Control Points, from now on called GCPs) to be introduced in an iterative solver to estimate P, from Equations 1, 2 and 3 (e.g. Lippmann and Holman, 1989). According to all the above, 3 GCPs are sufficient to define the camera geometry and position, while additional ones result in an over-specified system permitting the selection of an optimal solution, estimated through an iterative solver (Nelder-Mead Simplex Method, see Lagarias et al., 1998).

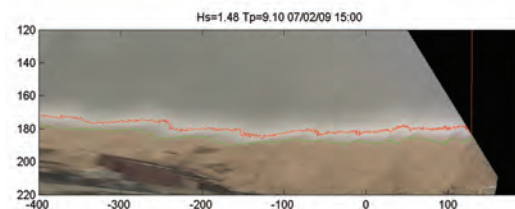


Figure 4. Georectified TIMEX image (the system is rotated by ~37 degrees). Green and red lines correspond to the automatically extracted shoreline and break line position.

2.3 Image processing

Automatic shoreline extraction algorithms were developed combining colour segmentation, on the timex images, and pixel intensities criteria, on the variance images. The elevation of the extracted shorelines is obtained from wave run up height

formulations, using as input off-shore wave and tidal measurements, as well as the beach face slope, updated daily from the system. The level of breaking positions is provided by a wave propagation model (Vousdoukas et al., 2009b) run on the latest available topo-bathymetric profile from the area. Since both features are being extracted every hour, several contours can be accumulated on a daily basis. Those data are being further processed and are used to extract the current intertidal topography and update a Digital Terrain Model of Praia de Faro.

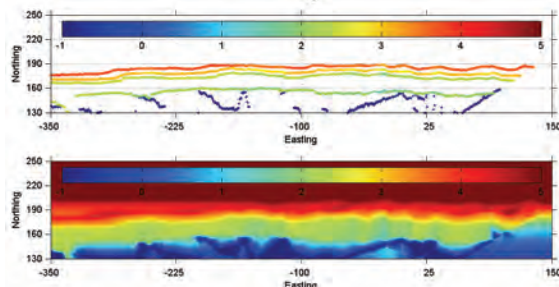


Figure 5. Example of the Digital Terrain Model update operations. Upper panel: the resulting contour from image acquisition/processing during a tidal cycle. Lower panel: The updated DTM (the system is rotated by ~37 degrees).

3. RESULTS-DISCUSSION

The system is designed to run real time, with image geo-referencing based on a DTM in an effort to reduce geo-location errors from object shadowing. The latter is constantly updated from the remote sensed topography, as well as from regular field surveys which also serve for validation and updating of other-than-intertidal sections. Comparison of the remotely sensed topography with RTK-GPS topographic surveys showed RMS errors ranging from 10 to 30 cm.

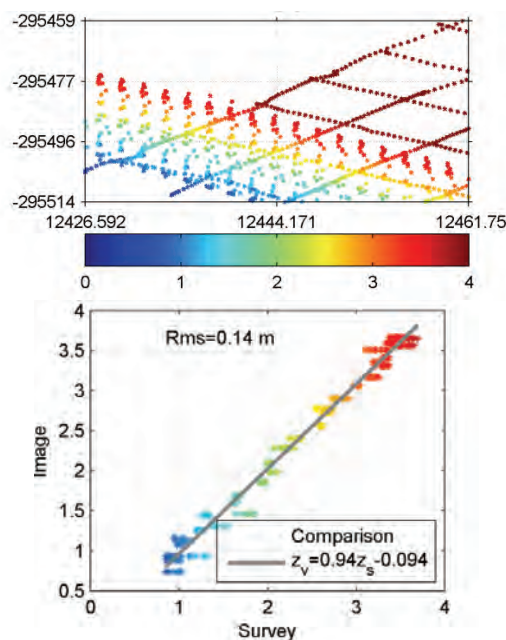


Figure 6. Example of remotely sensed intertidal topography validation. Upper panel: video sensed points superimposed to the RTK DGPS grid obtained the same day (bigger grid); colormap expresses elevation. Lower panel: Scatter comparison plot.

Several run up height parameterizations proposed in the literature have been tested (e.g. see Stockdon et al, 2006) and they have been validated on the grounds of the performance of the intertidal topography they produced, compared to field data. More than 30 surveys have taken place already and monitoring is still active, and all those data provide ground truth information under a wide range of beach morphological states, and wave conditions. System optimization is still in progress but the best results (overall rms error ~22 cm) were produced using the above equation based on Douglas (1992):

$$R = a \frac{H_s}{\sqrt{L_o}} + b \quad 4$$

where H_s and L_o are the offshore significant wave height and period and a, b are coefficients equal to $a=0.131, b=-0.31$.

4. FINAL CONSIDERATIONS

Intense effort has been devoted to test and optimize different set-ups, in order to make the system self-sustained. The computer is constantly connected on the internet and is using two repositories containing software and additional data (camera calibration and geo-rectification parameters, products, etc), shared with two other computers on the university campus. The above architecture allows instant access to the obtained data and direct implementation of amended software.

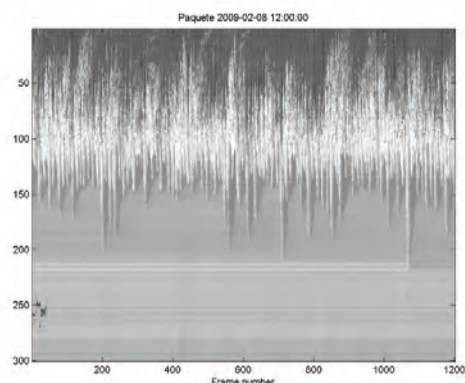


Figure 7. Timestack image. x-axis corresponds to acquired frames (time) and y to cross-shore distance. Landward direction is to the bottom.

The software architecture is such to take into consideration lack-of, or rogue data, as well as bad quality imagery, using input quality and other operational criteria. It has been also optimized for

the specific site conditions and to produce wave and topographic information, after conducting automatic output quality control and uploads information on an FTP part of which can be accessed at http://w3.ualg.pt/~mvousdoukas/video_system.html. Moreover, the amount of data produced are invaluable for process interpretation and are being used to obtain new, more accurate parameterizations of wave characteristics (e.g. more accurate site specific wave run up formulations). The above are then incorporated in the system, and the interactions above, coupled with the whole architecture constitute a highly complex and non-linear set of operations. Given the above, the automatic video system is an ideal platform for artificial intelligence and machine learning techniques, which are currently tested.

Finally, apart from the obvious scientific value of the obtained data, the system is an ideal platform for coastal management and other operational applications. It produces real time information on the morphological beach state and combined with wave forecasting data, it can allow storm impact predictions to be incorporated to the MICORE project proposed early warning system.

REFERENCES

- Bouguet, J.-Y., (2007). Camera Calibration Toolbox for Matlab.
http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc.
- Douglass, S.L., 1992. Estimating extreme values of run-up on beaches. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, 118(2): 220-224.
- Hartley, R. and Zisserman, A., (2006). *Multiple View Geometry in Computer Vision*. Cambridge University Press.
- Holland, K.T. and Holman, R.A., (1997). Video estimation of foreshore topography using trinocular stereo. *Journal of Coastal Research SI*, 13: 81-87.
- Lagarias, J.C., Reeds, J.A., Wright, M.H. and Wright, P.E., (1998). Convergence Properties of the Nelder-Mead Simplex Method in Low Dimensions. *SIAM Journal of Optimization*, 9(1): 112-147.
- Lippmann, T.C. and Holman, R.A., (1989). Quantification of sand bar morphology: A video technique based on wave dissipation. *Journal of Geophysical Research*, 94(C1): 995-1011.
- Stockdon, H.F., Holman, R.A., Howd, P.A. and Sallenger, J.A.H., 2006. Empirical parameterization of setup, swash, and runup. *Coastal Engineering*, 53(7): 573-588.
- Vousdoukas, M.I., Velegrakis, A.F., Dimou, K., Zervakis, V. and Conley, D.C., (2009a). Wave run-up observations in microtidal, sediment-starved pocket beaches of the Eastern Mediterranean. *Journal of Marine Systems*, 78: 37-47.
- Vousdoukas, M.I., Velegrakis, A.F. and Karambas, T.V., (2009b). Morphology and sedimentology of a microtidal, beachrock-infected beach: Vatera Beach, Lesbos, NE Mediterranean. *Continental Shelf Research*, 29: 1937-1947.

Navegação

e-Navigation – Um processo ou um produto?

António M. Maurício Camilo

Instituto Hidrográfico, Lisboa – mauricio.camilo@hidrografico.pt

Resumo: O que é a e-Navigation? Um processo, um produto, um sistema, um serviço, uma aplicação informática? Na verdade todas as respostas estão certas, variando o conceito em função da perspectiva dos diversos agentes envolvidos.

A e-Navigation foi definida como a aquisição, apresentação, troca, análise, integração e armazenamento de informação relacionada com o meio marítimo, por meios electrónicos, de forma a permitir a navegação de cais-a-cais e o funcionamento de todos os serviços associados à segurança e salvaguarda da navegação e à protecção do meio ambiente.

Os três pilares da e-Navigation são as ENC (cartas electrónicas), a existência de um serviço de PNT (Position, Navigation and Timing) e uma infra-estrutura de comunicações que permita a partilha de informação entre os navios e terra. Nenhum deles se encontra ainda totalmente consolidado, sendo a análise das dificuldades encontradas e a definição de uma política que incorpore os vários sistemas como partes de um todo, os desafios que actualmente são colocados a todas as partes envolvidas.

No Instituto Hidrográfico estão actualmente em desenvolvimento três produtos IH-Skipper, ANAVNET e Base De Dados das Luzes que podem ser três peças da e-Navigation, contribuindo para disseminação rápida e estruturada de informação relevante para a segurança da navegação.

Palavras chave: Integração, sistema, segurança, ANAVNET, IH-Skipper, Lista de Luzes

1. INTRODUÇÃO

Até ao final dos anos 80 e início dos anos 90, o método primário de navegação foi a geonavegação utilizado primariamente o radar e azimutes visuais a pontos conspicuos em terra para obter linhas de posição. Como métodos secundários e principalmente na navegação oceânica, em conjunto com a navegação astronómica, utilizaram-se, quando disponíveis, sistemas de radionavegação baseados em redes de estações terrestres, o OMEGA, o DECCA e o LORAN e o antepassado dos sistemas de navegação por satélite: o TRANSIT.



Fig. 1 – IBS (Integrated Bridge System) - Raytheon Anschütz

Actualmente a navegação marítima, utiliza de forma quase exclusiva a informação do GPS, melhorada por sistemas que aumentam a exactidão da posição

obtida e a integridade do sistema, como por exemplo o GPS diferencial (DGPS).

A posição do navio é apresentada em suporte electrónico, não passando a geonavegação de um sistema de backup e a navegação astronómica tornou-se apenas um método de navegação de emergência ou na pior das hipóteses uma curiosidade histórica.

É óbvio, que a maioria dos navios está num estado intermédio, tendo como base uma ponte dos anos “oitenta”, altura em que foram construídos, “plantada” com equipamentos mais modernos e desejavelmente integrados com outros sistemas de bordo. Esta integração de sistemas surge nas novas construções na forma da IBS (*Integrated Bridge System*) muitas vezes confundida com a própria e-Navigation (Figura 1).

2. E-NAVIGATION – O CONCEITO

Formalmente a International Maritime Organization (IMO) definiu o conceito de e-Navigation como: “*the harmonized collection, integration, exchange, presentation and analysis of maritime information onboard and ashore by electronic means to enhance birth-to-birth navigation and related services, for safety and security at sea and protection of the marine environment.*” A discussão sobre se a e-Navigation é o próprio conceito da ponte integrada, um conjunto de aplicações informáticas, um sistema,

um conjunto de sistemas, um conjunto de sub-sistemas (podendo ou não constituir a sua soma) ou de forma é mais simplificada o *Electronic Chart Display and Information System (ECDIS)* (Murray citado por Valentine, 2010), i.e. a agregação das suas funcionalidades, está longe de ser consensual e varia com a perspectiva escolhida: IMO, IALA (*International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouses Authorities*), fabricantes de equipamentos de navegação, profissionais do mar, etc.

3. E-NAVIGATION – OS PRINCÍPIOS BÁSICOS

Com a e-Navigation pretende-se que de uma forma integrada se utilizem todas as soluções tecnológicas disponíveis tendo como objectivo final o aumento da segurança da navegação em todas as suas vertentes. A infra-estrutura de base da e-Navigation (ou os três princípios básicos) é constituída por (Douglas, 2010):

- Uma cobertura das áreas de navegação através de cartas electrónicas de navegação (*ENC-Electronic Navigation Chart*);
- Um sistema de navegação e referência de tempo e respectiva redundância;
- Um sistemas de comunicações universal que garanta a ligação navio-terra-navio, incluindo as zonas polares.

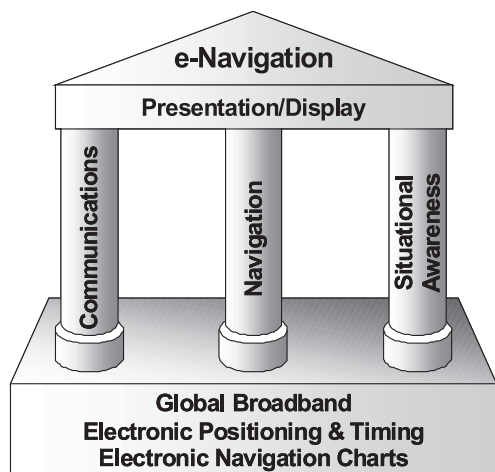


Fig. 2 – Infraestrutura base da e-Navigation (Douglas, 2010)

Estes componentes são essenciais para que seja possível às tripulações e ao pessoal em terra conseguirem, na sua área de responsabilidade, ter uma imagem em tempo real de tudo aquilo que os envolve, permitindo a percepção da situação e das acções a tomar, de forma a evitar situações de potencial perigo. Esta imagem do meio envolvente deve desejavelmente ser em 4D, considerando a necessidade dos navios saberem a actual e a previsível relação com a configuração do fundo do

mar, de forma a antecipar as possíveis interações com o mesmo e evitando situações de encalhe (Palmiotti, 2010). Assim, a falha de qualquer de um dos blocos de base tem como resultado a inviabilidade de atingirmos a plenitude do conceito de e-Navigation.

Os três elementos base estão, actualmente, em estados diferentes de desenvolvimento e/ou consolidação.

3.1. Carta Electrónica de Navegação

A possibilidade de representar de forma contínua e com grande rigor a posição do navio, em especial a partir da informação disponibilizada pelos sistemas de navegação por satélite, levou ao aparecimento de suportes electrónicos para representar a carta de navegação e a respectiva posição e parâmetros do movimento do navio.

A carta electrónica de navegação (oficial) é legalmente igual à carta de papel quando realizada de acordo com a norma S57 3ª edição (irá migrar brevemente para formato S100), produzida por instituto hidrográfico governamental e lida num ECDIS certificado. Passou-se da carta em papel para uma versão digitalizada da mesma e de seguida para uma versão vectorizada da carta de navegação onde a cada objecto da carta se pode adicionar informação.

Actualmente as duas versões digitais coexistem (conceito *duel-fuel*) existindo ainda formatos próprios de alguns fabricantes de equipamentos.

3.2. Um sistema de navegação e referência de tempo

O GPS foi denominador comum para o desenvolvimento e integração dos sistemas de navegação da ponte. Este sistema, que atingiu o *Full Operational Capability* em 1993, tem fornecido com carácter de exclusividade a posição (latitude, longitude e altitude) e tempo (PNT) a todos os sistemas da ponte que deles dependem. No entanto, a partir deste ano o GLONASS, propriedade da Federação Russa, e no futuro próximo e até 2020 outros sistemas semelhantes irão engrossaram o leque de escolhas do utilizador passando o serviço a designar-se genericamente por *Global Navigation Satellite Systems (GNSS)*. No futuro é expectável que todos os receptores sejam multi-sistema de forma a aproveitar ao máximo o espectro de sinais disponíveis e respectivos satélites.

Os requisitos destes sistemas PNT, para que possam constituir elementos base do e-Navigation, devem: garantir o adequado rigor no posicionamento (função das necessidades dos utilizadores); garantir o adequado nível de disponibilidade do serviço (tempo de operacionalidade relativamente ao tempo

total); garantir a integridade (capacidade de monitorizar o seu próprio funcionamento) e possuir uma cobertura global. No futuro poderá ser necessário garantir para alguns utilizadores ou serviços especiais um serviço de *signal authentication*. Paralelamente devem existir sistemas redundantes desejavelmente não *space-based*.

3.3. Um sistema de comunicações

Idealmente deverá ser desenvolvido um sistema universal de comunicações que, de forma automática, utilize as melhores opções disponíveis (tecnologia, canal e características de sinal) de acordo com critérios de custo de serviço, posição do navio, velocidade de transmissão disponíveis e tipo e formato da informação (Cairns, 2009).

A infra-estrutura de comunicações deverá permitir a passagem de informação nos sistemas de cada navio, entre navios, entre navios e estações em terra e entre estações em terra envolvidas na segurança e monitorização de todos os aspectos da mesma. Deverá ainda ser capaz de suportar os futuros desenvolvimentos dos sistemas relacionados conceptualmente com a e-Navigation.

4. O ESTADO-DA-ARTE E DESAFIOS PARA O FUTURO

A actual situação dos três elementos base acima referidos é muito diversa.

No que diz respeito à situação da carta electrónica de navegação a situação é bastante favorável. As cartas raster têm uma cobertura global, semelhante à das cartas de papel que representam. As cartas electrónicas, que se designam por células, ainda não têm uma cobertura global, mas a evolução da sua produção tem sido significativa existindo actualmente (Janeiro de 2010) cerca de 10323 e que representam 75% da cobertura a atingir.

No entanto, estes suportes de nada serviriam se não existisse uma aplicação e um equipamento que os permita visualizar: ECS (*Electronic Chart System*) ou, não sua designação *type-approved*., ECDIS. Neste momento a maior dificuldade está relacionada com facto de apenas 65% dos navios com mais de 300 toneladas possuírem equipamentos de leitura de cartas digitais, sendo que 60% são ECS, mas só 5% dos equipamentos são ECDIS (Patriako citado em Valentine, 2009).

Os GNSS para além das utilizações relacionadas com a condução e segurança da navegação marítima, servem como suporte a algumas aplicações e serviços críticos na nossa sociedade como por exemplo a estrutura de telecomunicações, a distribuição de energia, o sistema financeiro e de

transportes. A fraca potência de sinal e a sua elevada frequência torna-os muito vulneráveis à interferência, quer intencional, quer não intencional. Resulta assim, que não está garantido só por si e independentemente das várias modernizações e avanços tendentes à diminuição da vulnerabilidade à interferência e a aumentar a disponibilidade dos serviços, a possibilidade de os diversos utilizadores o encontrarem sempre disponível. É necessário encontrar um *backup* para o GNSS e embora o abandono pelos Estados Unidos e Canada das cadeias LORAN (sistema de radioposicionamento baseado em estações terrestres com características de intrínsecas de transmissão resistentes aos problemas anteriormente indicados para o GNSS) existem recentes desenvolvimentos na cadeia experimental eLoran (Reino Unido) que podem ir ao encontro e resolver os problemas de falta de redundância do GNSS (Sally e Williams, 2010).

Relativamente às comunicações marítimas as limitações de espectro disponível colocam um sério desafio às entidades envolvidas no desenvolvimento da e-Navigation. O número de frequências utilizáveis é reduzido, sendo que as soluções apontam para a passagem de sistemas analógicos para digitais - já em implementação no *Global Maritime Distress and Safety System* (GMDSS) - das comunicações de voz para dados, de forma a maximizar a utilização do espectro. A utilização de novas técnicas de modelação, como o *Time Division Multiple Access* (TDMA), semelhantes às utilizadas pelo AIS (*Automatic Identification System*), podem também resolver algumas dificuldades, mas continuam sem solução as questões relacionadas com o equilíbrio entre a frequência de transmissão, largura de banda e alcance. A recente necessidade de cobrir as áreas polares do hemisfério norte, face ao degelo da calote polar e conseqüente abertura das rotas do Norte e do Noroeste, adicionam dificuldades a este desafio (os satélites geostacionários não cobrem esta área!).



Fig.3 – “Colisão” do M/V Alvastar com a Ilha Zakhitos

5. CONCLUSÕES

A grande vantagem da utilização do ECDIS é a possibilidade de no mesmo *display* podermos apresentar a informação de diversos sistemas, sensores e equipamentos, no entanto o facto da e-Navigation enfrentar a concorrência da S-Navigation (*sleep-navigation*) e sem o importante apoio da L-Navigation (*look out of the window-navigation*) (Grey, 2010), não tem contribuído para a diminuição do número de acidentes (colisões e encalhes) havendo ainda um longo caminho a percorrer para a obtenção dos padrões adequados de formação dos recursos humanos e sensibilização dos armadores para o facto de não existir uma relação directa entre mais tecnologia - menos pessoal e do encontro entre as necessidades dos utilizadores no mar e as funcionalidades dos equipamentos produzidos pelos fabricantes em terra.

Os recentes episódios de empastelamento do sinal GPS (Norris, 2010) e o potencial de perigo por eles representado obriga a pensar seriamente em sistemas alternativos. O eLORAN perfila-se como uma solução que vai ao encontro do pretendido como redundância ao GNSS, em especial nas áreas costeiras e portuárias (Basker e Williams, 2010) No entanto, o revés que representa a desactivação das cadeias norte-americanas e com o orçamento europeu para estes programas a ser consumido pelo muito pesado sistema GALILEU, a sua desejada implementação definitiva como sistema alternativo será no mínimo demorada.

Relativamente à componente das comunicações a IALA no seu *World Wide Radio Navigation Plan* (WWRNP) apresentou diversas linhas de acção, quer nas áreas das infra-estruturas de comunicações, quer na definição de formatos universais menos “pesados” em termos de utilização do espectro. Assim, foram desenvolvidos os conceitos de *Universal Maritime Data Model* (UMDM) e de *Universal Data Object Identifier* (UDOI). O UMDM conterà uma descrição universal de toda a informação relevante para a comunidade marítima e cada objecto UDOI será claramente identificado por um identificador universal (Oltmann, 2010).

Em resumo, o potencial da e-Navigation é muito elevado, mas existem alguns desafios a resolver:

- Como integrar muitos e mais elementos sem aumentar exageradamente a complexidade dos sistemas até ao ponto de os tornar inúteis;
- Como, existindo cada vez mais informação, resistir a tornar os *displays* tão densamente povoados de informação, ao ponto do utilizador ter muita dificuldade em seleccionar qual a informação que realmente lhe interessa e que é crítica para a condução da navegação em segurança;

- Como conseguir criar sistemas que vão ao encontro das necessidades dos utilizadores e não ao encontro das necessidades conceptuais dos fabricantes;
- Como conseguir que a integração de novos sistemas e novos serviços em outros já existentes (no mar e/ou terra) não os torne menos eficazes

A e-Navigation pode contribuir de forma decisiva para o incremento da Segurança da Navegação e consequente diminuição da perda de vidas humanas e do impacto negativo na economia e ambiente resultante dos acidentes marítimos, mas como ficou atrás demonstrado existe um longo caminho a percorrer e serão necessários recursos humanos em maior quantidade, mais bem preparados e muito motivados para tirar partido dos futuros desenvolvimentos tecnológicos.

REFERÊNCIAS

- Alexander, Lee e Bergmann, Michael (2010). *Maritime Information Systems as a Component of e-Navigation*, University of New Hampshire, USA; Jeppesen Marine, Germany
- Cairns, Bill (2009). e-NAV Committee: Greater than the sum of its parts. *IALA Bulletin* 2009/2, 6-9
- Douglas, Peter (2010). *Radio Navigation and Communications – the Building Blocks of e-Navigation*, *IALA 17th Conference Proceedings*
- Grey, Michael (2010), *Aids to Navigation – A global Approach 17th IALA Conference, Key Note*
- IALA, Navguide 2010
- IMO Circular Letter 57/2009 – 10AUG2009 – *Development of an E-Navigation Strategy Implementation Plan*
- IMO NAV 54-25, Annex 12, “*Draft Proposed Strategy for the Development and Implementation of e-Navigation*”
- Norris, Andy (2010). Don’t over rely on GPS. *Digital Ship APR*, 38.
- Oltmann, Jan Hendrik (2010). *The Notion of the Universal Maritime Data Model and its Implications*, German Federal Waterways and Shipping Administration, Germany
- Palmiotti, Anthony (2010). Watchkeeping. *Safety at Sea International, JAN*, 16-21
- Sally Basker and Paul Williams (2010). *Navigating eLoran : challenges and the way forward*, General Lighthouse Authorities of UK and Ireland
- Valentine, Steve (2009). From ECDIS to e-Navigation. *Safety at Sea International, AUG*, 22-23

Difusão de Informação de Segurança Marítima suportadas por Bases de Dados de Navegação – o rumo na direcção do *e-Navigation*

Plácido da Conceição, Victor (1); Pires Lopes, Ana (1); Reino Baptista, Rui (1)
(1) Instituto Hidrográfico – Portugal; plácido.conceicao@hidrografico.pt

Resumo: Entre os navegantes e os serviços de apoio a navegação, existe um alargado consenso sobre a necessidade de se implementar sistemas alternativos e eficazes de disponibilização de Informação de Segurança Marítima (MSI – *Maritime Safety Information*), em tempo real.

Este trabalho destaca o papel do Instituto Hidrográfico no desenvolvimento de um novo serviço, para disponibilização de MSI, suportado por base de dados fiáveis.

A utilização da internet, iniciou-se em 1999 com a disponibilização dos Grupos periódicos e desde de então o ANAVnet nunca mais parou de evoluir. Seguiu-se para a disponibilização dos Avisos à Navegação, no formato dos NAVTEX, e mais recentemente a gestão e difusão dos Avisos locais das autoridades marítimas e portuárias. A modernização do serviço, foi tal, que actualmente é possível criar um perfil de utilizador e ser notificado sempre que um documento náutico é corrigido ou um Aviso à Navegação afecte uma área de interesse.

A forma sistémica como foi coligida toda a informação de segurança marítima e a integração de todos os actores, constituiu um exemplo claro da estruturação de um serviço pelo conceito do *e-Navigation*.

Os trabalhos de desenvolvimento do ANAVnet prosseguem no sentido de se aperfeiçoar o controlo de qualidade do sistema NAVTEX e proceder a geo-referenciação de toda a informação de segurança marítima.

Palavras chave: Navigational database; Maritime Safety Information; Web-based Service; NAVTEX; ECDIS.

1. INTRODUÇÃO

O Instituto Hidrográfico (IH) tem assegurado a divulgação das alterações as cartas e publicações, náuticas oficiais, bem como a difusão de informação que afecte a segurança da navegação, através da promulgação de Avisos à Navegação (ANAV). Estas responsabilidades decorrem dos compromissos nacionais relativos ao cumprimento da convenção SOLAS¹. Complementarmente o IH é o coordenador nacional do sistema NAVTEX, componente costeira do GMDSS¹ usado para radiodifusão de informação de segurança marítima (*Maritime Safety Information – MSI*).

2. DISSEMINAÇÃO DOS AVISOS AOS NAVEGANTES E AVISOS À NAVEGAÇÃO

A singular característica dos documentos náuticos estarem sempre actualizados é conseguida através da publicação periódica dos Avisos aos Navegantes. Até a última década, os Avisos aos Navegantes eram unicamente distribuídos sob a forma de um folheto impresso, designado por grupo postal pelo facto de ser remetido por via postal.

A aspiração do IH em responder aos crescente desafios de uma sociedade da informação cada vez mais complexa e exigente, fez com que, em 1998, se promovesse uma visita ao *Service Hydrographique et Océanographique de la Marine* (SHOM) no sentido de aprofundar o conhecimento sobre processos e métodos de organização e disseminação de Avisos aos Navegantes via internet.

Um ano depois, no portal de internet do IH, inaugurou-se um serviço de disponibilização do grupo postal, na forma de um ficheiro pdf. Atendendo aos actuais padrões, trata-se um serviço extremamente simples e retrógrado, no entanto, aquela data, consistiu num grande salto em termos de flexibilidade e rapidez de distribuição.

Para o navegante outra informação fundamental para o planeamento e a condução da navegação em segurança é o conhecimento dos MSI. Uma circunstância perturbadora é o facto de muitas embarcações não possuírem os equipamentos que permitem receber os MSI costeiros (NAVTEX).

3. O PASSO SEGUINTE – O ANAVNET

Um dos princípios que tem “norteado” a Divisão de Navegação tem sido o de estudar e desenvolver processos que permitam, simultaneamente, reduzir o trabalho das equipas de navegação e aumentar a segurança da navegação. Desta forma, consideran-

¹ GMDSS – *Global Maritime Distress and Safety System* (Sistema Global de Socorro e Segurança Marítima)

do o requisito da frequente consulta de um particular documento náutico (publicação ou carta) para actualiza-lo, bem como os diversos tipos de informação que o podem afectar ou alterar (temporária, preliminar ou permanente), tornou-se evidente a necessidade de desenvolver uma solução simples, “inteligente” e que ajudasse o navegador a gerir toda aquela informação.

Complementarmente, a recente implementação do ECDIS (*Electronic Chart Display Information System*) veio dar uma nova função aos tradicionais fólhos de cartas. Esta é uma consequência da indispensabilidade de um sistema de alternativo ao ECDIS, o que por sua vez determina a implementação de processos facilitadores na manutenção daqueles fólhos. A falta de inovação no processo de actualização dos documentos náuticos, associado a implementação do ECDIS levaria a um insuportável aumento da carga de trabalho da equipa de navegação.

Por outro lado o problema relativo a falta de capacidade de recepção de informação de segurança marítima existente em várias embarcações, nomeadamente de recreio e pesca, determina a necessidade de encontrar soluções alternativas e complementares aos conjecturados no GMDSS.

Perante este quadro, a Divisão de Navegação e o Centro de Dados do IH, trabalharam em conjunto na definição dos requisitos e no desenvolvimento de um novo *Web-service* – O ANAVnet. Este pretende ser uma aplicação simples, de fácil e rápido acesso, suportado por base de dados robustas e seguras. Providencia os grupos periódicos de AN, um ou vários AN relativos a um documento náutico, e em qualquer dos casos a informação pode ser impressa, descarregado o ficheiro ou simplesmente ser consultada. Desde do início, foi entendimento dos responsáveis que, pela sua natureza, os AN e os ANAV não só poderiam como haveria toda a vantagem em serem tratados de uma forma integrada. As vantagens apresentam-se tanto do lado do IH, juntando numa única base de dados a gestão de dois tipos de informação; como do lado do utilizador final que acede na mesma aplicação toda a informação que altera de forma permanente ou temporária os documentos náuticos.

4. MAIS UMA VULNERABILIDADE – O ANAVNET 2

Além da difusão de MSI para áreas oceânicas (NAVAREA) via *safetynet* e costeiras (ANAV) via NAVTEX, o *World-Wide Navigational Warning Service-WWNWS* (Serviço Mundial de Avisos à Navegação) prevê a possibilidade de promulgação de avisos para áreas portuárias. Em Portugal, este serviço está implantado e as entidades com compe-

tências nesta matéria são a Autoridade Marítima local e as Administrações Portuárias. No entanto, os meios de difusão limitam-se a radiodifusão local por VHF, a afixação dos avisos nas entradas dos edifícios administrativos e por distribuição às marinhas, associações náuticas e outros serviços portuários.

O IH considerou que a inclusão desta componente no ANAVnet constituiria uma evolução natural do serviço, o que tornaria possível gerir e consultar todos os avisos a partir de uma única plataforma.

O que finalmente foi desenvolvido acabou por ser mais ambicioso do que o inicialmente previsto. Para a definição dos novos requisitos participaram representantes de todos os interlocutores, foram estabelecidos diferentes perfis de utilizadores, correspondendo as suas áreas de responsabilidades e competências. Actualmente, através de um processo de autenticação on-line, as entidades promulgadoras de avisos têm disponível uma ferramenta comum para elaboração e gestão dos avisos. Adicionalmente, reporta automaticamente ao coordenador nacional, por e-mail, às áreas afectadas e o respectivo texto do aviso, permitindo uma posterior avaliação sobre um eventual impacto na área costeira.

Naturalmente, esta evolução resulta numa clara vantagem para o navegante, pois não só passa a aceder a todos os MSI num único local, como ao criar um perfil de utilizador, identificando os documentos náuticos que possui e as áreas de navegação do seu interesse, pode automaticamente receber a informação relevante.

Outro benefício deste processo é a possibilidade de se regulamentar o formato dos avisos, ainda que com algumas limitações. Normalizando a redacção de avisos, pelo preenchimento de formulários on-line, reduz-se a ocorrência de erros e uniformiza-se a linguagem, com consequentes ganhos na clareza do texto do aviso.

5. A ESTRUTURA DA BASE DE DADOS

O ANAVnet insere-se no Projecto Infra-Estrutura de Dados Geo-Espaciais sobre o Ambiente Marinho (IDAMAR).

O ANAVNET descreve o sistema de informação referente aos AN, ANAV e avisos locais associando-os ao fólho cartográfico e às publicações náuticas. Este sistema armazena também informação sobre Portos (Capitanias, Autoridades Portuárias e Marítimas), que além dos avisos locais são responsáveis pela edição de regulamentos, editais, entre outros documentos.

A modelação conceptual dos processos do ANAVNET foi realizada com recurso a entrevistas aos utilizadores, gestores e administradores dos sistemas sectoriais da Divisão de Navegação. Foram utilizados modelos entidade-associação para representação das relações entre as diferentes entidades e respectivos atributos descritores.

Estes modelos foram posteriormente mapeados para um conjunto de tabelas num sistema de gestão de base de dados *Oracle spatial*. O armazenamento lógico adoptado foi o objecto-relacional. A componente gráfica dos diferentes objectos (fólio cartográfico e os objectos inseridos nas publicações náuticas) é armazenada sob a forma de polígonos e pontos, no formato *Oracle SDO (spatial data option)*, na coluna de uma tabela cujos descritores se relacionam com outras tabelas (através de identificadores-chaves), descrevendo detalhadamente cada um dos respectivos objectos. Para realizar a aquisição de dados foram desenvolvidas aplicações usando *Oracle Forms* (Figura 1).

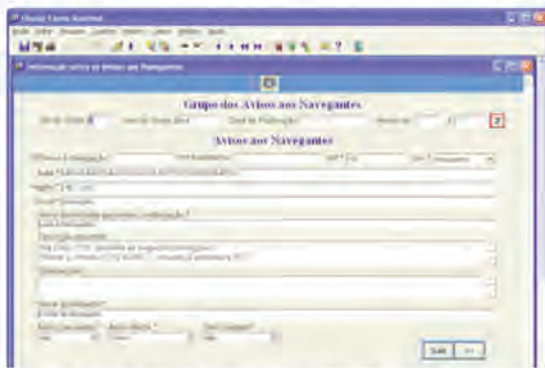


Figura 1 - Aplicações desenvolvidas com *Oracle Forms* para introdução e exploração de dados

Esta metodologia tem vantagens ao nível da completa personalização da interface de introdução de dados aos processos respectivos. O componente nuclear do projecto IDAMAR é um sistema de gestão de base de dados *Oracle spatial*. As aplicações desenvolvidas com o software *Oracle Forms*, fazem o carregamento tanto da componente descritiva como gráfica (pontos ou polígonos). Estes últimos são armazenados no formato *Oracle SDO*, com estrutura de domínio público, acessível por toda uma série de aplicações de exploração de bases de dados. Quando os dados que lá estão armazenados contêm uma componente espacial, ou seja, uma localização no espaço associada a um qualquer sistema de referência, geodésico ou não, então estamos perante um conjunto particular de dados. Precisamente para tirar partido da componente geográfica do conjunto de dados fazemos uso de Sistemas de Informação Geográfica (*GIS – Geographic Information System*).

6. COMPONENTE DA E-NAVIGATION

Os navegantes, fornecedores de serviços e indústria de equipamentos de navegação, ainda que conscientes de alguma indefinição do conceito da e-Navigation, todos concordam que o propósito final é o aumento da segurança da navegação, abraçando ao mesmo tempo as questões associadas a poluição do meio marítimo, a protecção do transporte marítimo e a redução dos custos de operação através da normalização.

Sendo que o ANAVnet está directamente relacionado com a gestão de informação crítica de segurança da navegação, colocando-a disponível de forma organizada, flexível, imediata, de fácil acesso e a custos reduzidos a todos os actores do espaço operacional marítimo, pode-se pois considerar que trata de uma componente da e-Navigation.

Cumulativamente, o debate e identificação dos requisitos da arquitectura da e-Navigation não para de se multiplicar, colocando a comunidade marítima perante um avultado número de questões que necessitam de ser abordadas, destacando-se por exemplo a incompleta cobertura mundial de Cartas Electrónicas de Navegação e as falhas de integridade dos sistemas de radioposicionamento global.

Apesar das inúmeras indefinições, uma das questões que tem acolhido largo consenso é a indispensabilidade de redes de comunicação credíveis e de elevada capacidade. De facto, as redes de dados têm estado representadas nos diagramas de e-Navigation desde dos primeiros estudos deste conceito

Entretanto, o AIS (*Automatic Identification System*) que foi naturalmente abrangido neste conceito, tem vindo a alargar exponencialmente as suas aplicações, nalguns casos afastados do objectivo inicialmente estabelecido pela IMO: anti-colisão e monitorização do tráfego marítimo. Estes desenvolvimentos exercem uma elevada e crescente pressão na exploração dos canais de dados VHF disponíveis.

Perante este presente quadro, o IH considera que as potencialidades da internet devem ser exploradas no conceito da e-Navigation, devendo ser apresentada como mais uma componente. Apesar das limitações em matéria de segurança e integridade associadas a internet, de uma forma modesta, o IH utiliza-a para providenciar o serviço ANAVnet e faculta aos utilizadores um canal extremamente simples de acesso a informação.

A certificação deste processo o requer desenvolvimento em matéria de integridade e aprofundamento dos acordos de normalização (*data links* e formato dos dados).

7. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS – O ANAVNET 3

O IH, pensando em novas formas de desenvolvimento do ANAVnet e na forma como ele foi acolhido pela comunidade náutica, julga ter descoberto um caminho na direcção da e-Navigation. Com a conclusão, para breve, da base de dados de ajudas à navegação, com informação georeferenciada, teremos a possibilidade de actualizar automaticamente a informação sobre uma ajuda assim que seja promulgado um ANAV relativa a ela ou produzir um AN sempre que ocorra uma alteração. Outra aplicação on-line em desenvolvimento é o IH-Skipper, com ela pretende-se facultar ao navegante uma ferramenta de planeamento de viagens costeiras. Com a ligação ao ANAVnet, o navegante poderá obter automaticamente a informação relevante para a área da viagem por ele planeada.

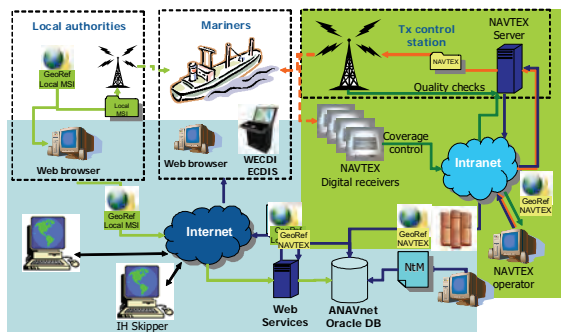


Figura 2 – Arquitectura do ANAVnet 3

Actualmente, no âmbito específico do ANAVnet, os desenvolvimentos mais significativos prendem-se com a georeferênciação de todos os MSI e implementação de processos automáticos de monitorização da qualidade do serviço. Com a georeferênciação pretende-se estabelecer as bases para uma rigorosa e fiável integração dos MSI nos ECDIS. Outros serviços poderão ser criados a medidas da necessidade de clientes particulares, como é o caso dos centros de controlo costeiro. Foram recentemente aprovadas novas medidas de controlo dos serviços associados ao WWNS. Neste sentido, o IH está a empenhado na automatização dos processos de medição dos indicadores de qualidade. Neste caso destaca-se a monitorização: dos tempos de promulgação, da área de cobertura do sistema NAVTEX e da integridade dos conteúdos dos MSI.

Ainda que não esteja em fase de estudo, antevêm-se já outras potencialidades das aplicações atrás identificadas, como por exemplo a possibilidade de um navegante reportar uma ajuda avariada através de um simples *clic* sobre o objecto que a representa na carta electrónica, accionando uma mensagem que é remetida na forma de um comunicado hidrográfico. Uma vez recebida no IH, a informação é processada promovendo a promulgação de um

ANAV, enviando alertas para os serviços internos que lidam com aquela informação. Complementarmente, explorando a base de dados das ajudas à navegação, será possível remeter um comunicado para a entidade responsável pela ajuda.

8. CONCLUSÕES

Não obstante a sua elevada aceitabilidade, tanto pelos fornecedores de serviços como pelos navegantes, o ANAVnet continua a ser um produto em desenvolvimento e, mais importante, não substituiu os processos e sistemas aprovados internacionalmente pela convenção SOLAS e pelo WWNWS.

Este facto por si, a semelhança de outras aplicações em estudo no âmbito da e-Navigation, não é impeditivo para que se continue a empenhar esforços no desenvolvimento do WWNWS. Neste sentido, o IH tem partilhado os seus trabalhos junto das organizações internacionais com competências nestas matérias (*International Hydrographic Organization – IHO, International Association for Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities - IALA*). Nos grupos de trabalho sediados naquelas organizações, tem vindo a identificar a premente necessidade de se proceder a novas revisões aos actuais sistemas acordados internacionalmente, em particular na normalização dos formatos dos dados e aumento da capacidade das redes de comunicação.

Agradecimentos

À Direcção Geral da Autoridade Marítima; Instituto Portuário e dos Transportes Marítimos, I.P; Capitãias e Administrações Portuárias; pela colaboração na definição dos requisitos para desenvolvimento da componente dos avisos locais.

REFERÊNCIAS

- International Maritime Organization (IMO). The International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974, as amended.
- IALA-AISM (2010). *Aids to Navigation Manual NAVGUIDE 2010*. IALA-AISM. 224 pp.
- International Hydrographic Organization (IHO) (July 2009 Edition). *Joint IHO/IMO/WMO Manual On Maritime Safety Information (MSI) - Special Publication N.º 53*. The International Hydrographic Bureau
- IMO resolution A.801(19), Provision of Radio Services for the Global Maritime Distress and Safety System (GMDSS)
- IMO MSC/Circ.1122, Adoption Of The Revised NAVTEX Manual, 24 May 2004

Difusão da Informação da Publicação “Lista de Luzes, Bóias, Balizas e Sinais de Nevoeiro”

Pires Lopes, Ana (1); Reino Baptista, Rui (1); Plácido da Conceição, Victor (1)
(1) Instituto Hidrográfico – Portugal; ana.lopes@hidrografico.pt

Resumo: O Instituto Hidrográfico ao longo dos tempos sentiu a necessidade de transformar a sua informação em produtos que possibilitem a consulta, a edição e a actualização mais acessíveis.

Respondendo às cada vez mais exigentes necessidades dos navegantes e dos serviços de apoio à navegação levou-se a cabo a construção de uma base de dados – Lista de Luzes, Bóias, Balizas e Sinais de Nevoeiro.

Este produto pretende, não só substituir a publicação Lista de Luzes, Bóias, Balizas e Sinais de Nevoeiro, mas também constituir um repositório de “Ajudas à Navegação”. Desta forma, a partir deste produto irão derivar diversos serviços que irão de encontro com as exigências específicas dos vários stakeholders da comunidade marítima.

Este produto enquadra-se pois no conceito do e-Navigation, uma vez que tem como finalidade a disseminação rápida e estruturada da informação relevante para a segurança da navegação e possibilitando a interacção de todas as partes interessadas.

Para a criação da base de dados foi elaborado um caderno de requisitos que reflecte o modelo conceptual e físico, os quais proporcionaram a criação de uma aplicação informática, web-based, que possibilita a consulta, a edição e actualização da informação num único local baseada no conceito actualiza um visionam todos.

Palavras chave: Ajudas à Navegação; Segurança da Navegação; Base de Dados; e-Navigation; Lista de Luzes; Bóias, Balizas e Sinais de Nevoeiro.

1. INTRODUÇÃO

O Instituto Hidrográfico (IH), de acordo com a obrigações que decorrem dos compromissos nacionais relativos ao cumprimento da convenção SOLAS¹, fornece aos navegantes informação detalhada sobre as ajudas à navegação, editando a publicação náutica – “Lista de Luzes, Bóias, Balizas e Sinais de Nevoeiro”.



Fig. 1 – Ajudas à Navegação, Lista de Luzes.

A elaboração da “Lista de Luzes, Bóias, Balizas e Sinais de Nevoeiro” está condicionada com as normas prescritas na Publicação M-12 da Organização Hidrográfica Internacional.

De uma forma geral, consiste numa lista com a descrição de todas as ajudas à navegação visuais e sonoras. Esta publicação é constituída por folhas destacáveis que resulta da informação recolhida e disponível no Instituto Hidrográfico sobre o assinalamento marítimo implantado nas costas portuguesas e no interior dos portos, bem como a sinalização sonora – sinais de nevoeiro. Estas listas incluem as características físicas das ajudas, descrição das luzes e alcances de detecção.

2. AJUDAS À NAVEGAÇÃO

Com a evolução dos tempos, e mais recentemente em resposta ao desafio proposto pelo conceito do *e-Navigation*, o Instituto Hidrográfico sentiu a necessidade de transformar a sua informação em produtos o que torna a consulta, a edição e actualização mais acessíveis.

Associado a esta melhoria da qualidade de um produto já existente, identificou-se o potencial desenvolvimento de novos serviços sustentados no mesmo produto base. Desde já se destacam a visualização on-line da informação actualmente disponível numa publicação, e o desenvolvimento de uma plataforma de gestão operacional de todas as ajudas à navegação, onde estariam integrados todos os intervenientes.

¹ Regra 9, do capítulo V “... Contracting Governments undertake to co-operate in carrying out, (...) to prepare and issue nautical charts, sailing directions, lists of lights. (...)

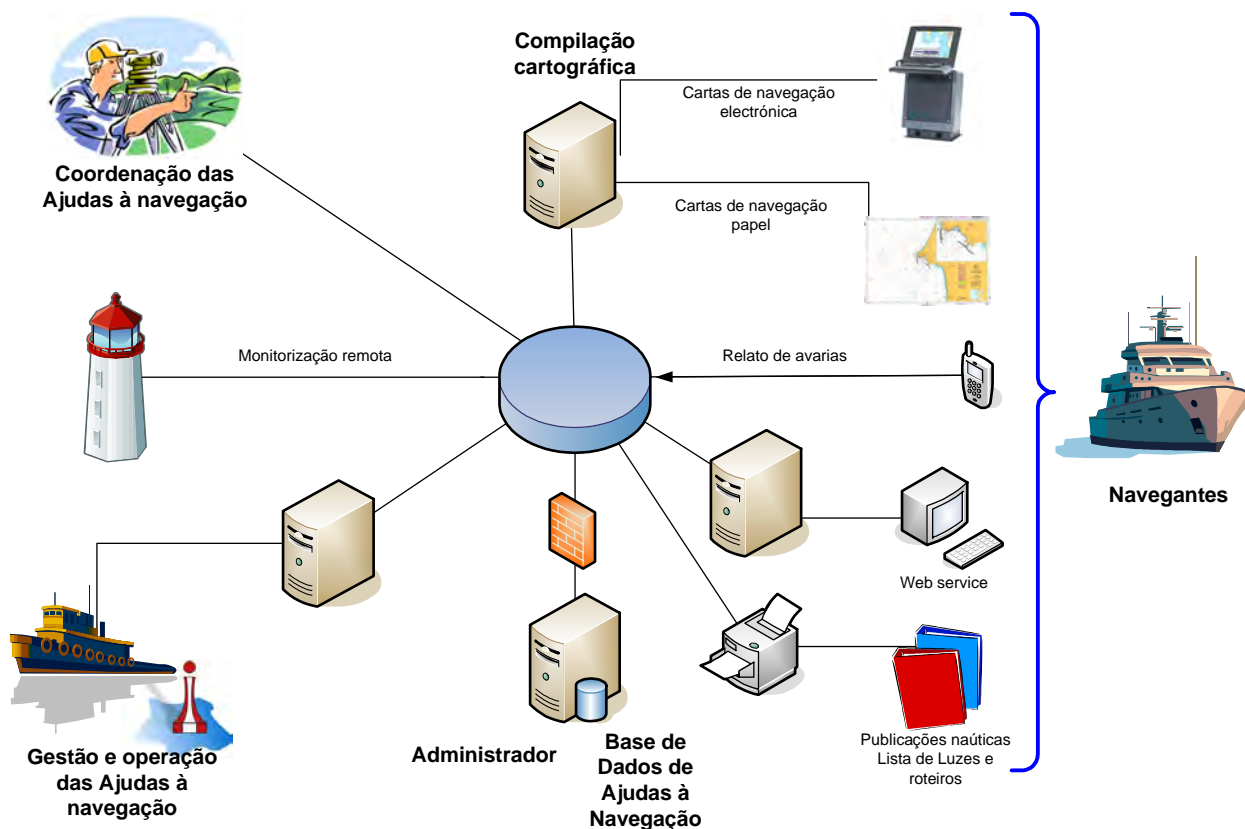


Fig. 2 – Modelo conceptual dos serviços associados à base de dados de Ajuda à Navegação.

Procedeu-se à criação de um caderno com os requisitos, no qual consta todos aqueles que levam o IH a colmatar as necessidades sentidas para a elaboração da publicação mencionada. Este caderno de requisitos foi o suporte para a elaboração do modelo conceptual e físico da Base de Dados “Ajudas à Navegação”.

Para a elaboração deste caderno de requisitos apoiarmo-nos nas normas para a publicação “Lista de Luzes, Bóias, Balizas e Sinais de Nevoeiro”, nas entrevistas aos utilizadores da Divisão de Navegação do IH e no projecto da base de dados internacional de Ajudas à Navegação e especificações da carta electrónica de navegação, da Organização Hidrográfica Internacional. Ao longo do desenvolvimento do projecto seguiram-se novas revisões de forma a enquadrar os requisitos

previstos para a gestão operacional das ajudas, sua monitorização, bem como a compatibilização com a base de dados mundial de informação marítima em desenvolvimento na IALA (*International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities*).

Após, a realização e a validação do Caderno de requisitos foi elaborado o modelo conceptual assim como o modelo físico da base de dados “Ajudas à Navegação”.

O modelo conceptual é uma representação semântica do sistema em estudo, isto é, uma descrição em palavras da informação que caracteriza o sistema e os requisitos da informação que irá conter. Este modelo deve ser claro, conciso e preciso perante a realidade.

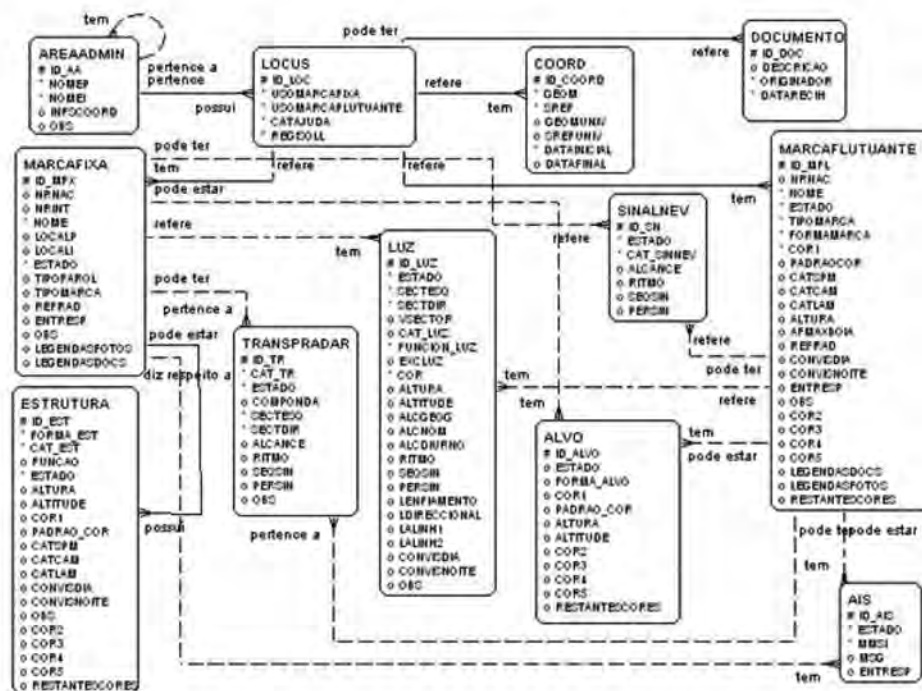


Fig. 3 – Modelo conceptual da base de dados “Ajudas à Navegação”.

Concluído este modelo foi feito o Modelo Lógico, o qual tem por objectivo tornar-se a base para a implementação da dita aplicação informática, resultante do modelo conceptual. O modelo lógico é um modelo de dados logicamente simples, isento de redundância e adaptado ao modelo relacional, sem atender a quaisquer constrangimentos.

Nesta etapa foi também seleccionado a lógica aplicacional (programa) a utilizar no desenvolvimento da programação da base de dados “Ajudas à Navegação”. O sistema de gestão de base de dados utilizado foi o Oracle 9i e as ferramentas de programação são: *Oracle Designer 6i* e *Oracle Forms 6i*.

A próxima etapa foi a construção do modelo físico da base de dados, o qual é o reflexo do modelo lógico e representa as estruturas de dados e como elas estão estabelecidas do ponto de vista aplicacional.

A base de dados “Ajudas à Navegação” irá servir, numa primeira fase, de suporte à nova edição “Lista de Luzes, Bóias, Balizas e Sinais de Nevoeiro”.

Pode concluir-se que o principal objectivo da elaboração da respectiva base de dados é organizar toda a informação existente sobre todas as Ajudas à Navegação, em suporte digital com a finalidade de permitir:

- ✓ Maior facilidade e transparência de actualização e manutenção;
- ✓ Possibilitar a edição de novos produtos digitais;
- ✓ Permitir a integração com a publicação S-57 (*IHO TRANSFER STANDARD for DIGITAL HYDROGRAPHIC DATA Special Publication No. 57 - S-57 MAINTENANCE DOCUMENT*), sendo necessário a interpretação dos atributos das tabelas da BD “Ajudas à Navegação” com o modelo proposto da “Lista de Luzes” desta publicação;
- ✓ Apoiar a cartografia náutica na produção de cartas em papel e na produção de cartas electrónicas;
- ✓ Garantir que a informação da sinalização visual e sonora está centralizada e assim evitar duplicação e erros;
- ✓ Apoiar a promulgação de Avisos aos Navegantes;
- ✓ Garantir o cumprimento das recomendações da Organização Hidrográfica Internacional (OHI) e da Organização Marítima Internacional (IMO);
- ✓ Apoiar as Brigadas Hidrográficas no trabalho de campo, na caracterização e coordenação da Ajuda à Navegação;
- ✓ Apoiar as entidades e organismos (Direcção de Faróis e Administrações

- Portuárias) na gestão operacional das Ajudas à Navegação;
- ✓ Permitir a intervenção dos navegantes nomeadamente no relato de avarias, ou reportando indicadores de performance das ajudas, e.g. alcances de detecção;
 - ✓ De acordo com as premissas do conceito do *e-Navigation* promover a interligação, integração de todos os utilizadores da informação sobre Ajudas à Navegação e desenvolver serviços específicos ao perfil de cada utilizador.

Finalizada a concepção da base de dados foi feita uma aplicação informática que é representada por um conjunto de formulários (no original *forms*), os quais proporcionam a inserção, a actualização, a eliminação e a edição da informação existente na publicação “Lista de Luzes, Bóias, Balizas e Sinais de Nevoeiro”.

3. CONCLUSÕES

Para além do IH podem outras entidades ter interesse e virem a ser envolvidas na própria gestão do sistema “Gestão das Ajudas à Navegação”, a saber: Direcção de Faróis, a Autoridade Marítima Local, Administrações Portuárias, o navegante, a Direcção Geral da Marinha, assim como outras entidades públicas e privadas.

O desenrolar da exploração do sistema “Gestão das Ajudas à Navegação” indica que a “Lista de Luzes, Bóias, Balizas e Sinais de Nevoeiro” é utilizada como ajuda à navegação. É de fácil actualização, e serve de apoio à elaboração, reimpressão ou à produção de novas edições de cartas náuticas. As entidades anteriormente citadas podem ter um papel fundamental na actualização da informação. Essa colaboração passa por, sendo muitas vezes estas entidades a fazerem a gestão das próprias marcas, puderem também ser as mesmas a fazer a criação, a edição e a actualização dos próprios registos na base de dados.

Pode também concluir-se que a base de dados “Ajudas à Navegação” serve os interesses e necessidades dos que usam a informação das luzes para fins exclusivos da condução da navegação em segurança assim como é muito útil a outros que a usam para a elaboração de produtos de navegação, cartas, roteiros, em papel ou digitais.

Mostra-se deste modo que este produto se enquadra no conceito do *e-Navigation*, uma vez que tem como finalidade a disseminação rápida e estruturada da informação relevante para a segurança da navegação e possibilitando a interacção de todas as partes interessadas. No caso particular da publicação “Lista de Luzes, Bóias,

Balizas e Sinais de Nevoeiro”, além de responder aos actuais padrões internacionais (versão papel), estamos no caminho para em breve apresentar a primeira forma de publicação digital do IH. Esta não será uma versão “digitalizada” da versão impressa mas uma ferramenta interactiva que se relaciona com as tarefas executadas pelo navegante: planeamento da viagem, condução da navegação.

REFERÊNCIAS

- The International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974, as amended.
- M-12, STANDARDIZATION of LIST OF LIGHTS and FOG SIGNALS, June 2004, INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC ORGANIZATION, Published by the INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC BUREAU
- IHO TRANSFER STANDARD for DIGITAL HYDROGRAPHIC DATA Special Publication No. 57 S-57 MAINTENANCE DOCUMENT (Cumulative), Number 8 – March 2002, Published by the International Hydrographic Bureau.
- Ajudas à Navegação – Lista de Luzes, Volume I – Portugal – 8ª Edição, 2008, publicada pela Instituto Hidrográfico – Divisão de Navegação.
- Catálogo de Cartas e Publicações Náuticas, 11ª Edição, 2007, publicada pela Instituto Hidrográfico – Divisão de Hidrografia.

IHSkipper

Sistema de Informação de apoio ao navegante

S. Godinho (1) P. da Conceição (2)

- (1) Instituto Hidrográfico. sonia.godinho@hidrografico.pt.
(2) Instituto Hidrográfico. placido.conceicao@hidrografico.pt.

Resumo: O objectivo deste trabalho consistiu no desenvolvimento da aplicação IHSkipper que é uma ferramenta de apoio à fase de planeamento de viagens marítimas costeiras, em território marítimo nacional.

A aplicação IHSkipper, consiste num WebSIG que permite aos utilizadores, o acesso interactivo e personalizado, de forma rápida e centralizada, a informação náutica (geográfica e alfanumérica), necessária à execução do plano de navegação, sob a forma de visualização, consulta, gestão e produção de mapas.

Palavras chave: informação náutica, ferramenta de planeamento, websig, navegação segura, *e-Navigation*.

1. INTRODUÇÃO

Ao nível nacional, o Instituto Hidrográfico (IH), é o organismo a quem está atribuída a responsabilidade relativa a produção dos documentos náuticos e promulgação dos avisos à navegação, decorrente da Convenção para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar (*Safety Of Life At Sea - SOLAS*). Assim, um dos seus principais objectivos está directamente relacionado com a promoção da segurança da navegação. Na prossecução deste objectivo, o IH tem-se empenhado a desenvolver e disponibilizar um conjunto inovador de produtos e serviços, que se enquadram no novo conceito da *e-Navigation*. Uma das componentes do *e-Navigation*, é a exploração das inovações tecnológicas nas áreas da detecção remota, posicionamento, tecnologias de informação, comunicações e redes de informação.

A convenção SOLAS determina que o comandante do navio ou embarcação é responsável pela execução do adequado planeamento da viagem, devendo para isso promover a recolha de toda a informação necessária junto das fontes oficiais. Independentemente da duração da viagem – um dia, semanas ou mesmo meses – é sempre necessário obter as cartas e publicações náuticas adequadas, de forma a garantir a prática de uma navegação em segurança (SOLAS, 2004). Naturalmente, tanto a duração da viagem como o período da sua execução terão implicações no volume da pesquisa, e posteriormente, no tempo dedicado ao planeamento e aos preparativos logísticos. Consequentemente, na execução do planeamento os navegadores utilizam uma grande variedade de informação proveniente de

diversas fontes, desde cartas náuticas, roteiros, regulamentos portuários, até à informação meteorológica. Uma vez recolhida, essa informação deve ser processada e compilada pelo navegador para rota que pretende realizar, sendo mais complexa quando a navegação é praticada junto à costa ou em zonas restritas (e.g. rios, portos, etc.), onde têm que ser considerados diversos fenómenos, como as correntes, marés, entre outros (Malyankar, 1999). No entanto, devido ao carácter multidisciplinar da informação a consultar, esta encontra-se dispersa por várias fontes dificultando o processo de pesquisa e compilação.

2. OBJECTIVOS PARA UMA NOVA APLICAÇÃO

De forma, a otimizar o processo de recolha de informação e do planeamento da viagem pelo navegador, o IH tem em desenvolvimento uma nova aplicação que visa facilitar a gestão, centralização e difusão de informação náutica, sobre o espaço marítimo nacional, relevante à fase de planeamento de uma viagem marítima.

A aplicação IHSkipper, consiste numa aplicação websig, direccionada no apoio à navegação costeira, nomeadamente a náutica de recreio, à pesca e a outras actividades relacionadas com o mar, surf, canoagem, etc.

O potencial desta aplicação assenta no facto de vir revolucionar a fase de planeamento de uma viagem marítima, através da transição dos tradicionais métodos de pesquisa, para a pesquisa em ambiente digital. No websig, os utilizadores têm acesso a um

conjunto de ferramentas que lhes permite manusear interactivamente a informação náutica disponibilizada. Ou seja, o utilizador tem a possibilidade de visualizar e explorar, apenas a informação do seu interesse.

A informação náutica disponibilizada é de natureza dinâmica e estática. A informação de carácter dinâmico existente, consiste na informação de agitação marítima (informação em tempo quase real), nos avisos à navegação, etc. Como informação estática, ou seja, informação com menor frequência de actualização, tem-se as áreas de navegação, os fundeadouros, a cobertura do fólio cartográfico nacional, etc. Nem toda a informação náutica disponibilizada pelo sistema é da responsabilidade do IH, consta também informação oriunda de outras entidades, que pela sua natureza se considerou, no âmbito deste sistema, como sendo informação relevante ao planeamento de uma viagem marítima, da qual se destaca, os serviços portuários (e.g. marinas, portos de recreio, contactos das administrações portuárias), informação esta que também consta dos Roteiros da Costa de Portugal¹.

Procurou-se centralizar num só local o acesso a informação náutica de qualidade, rigorosa e actualizada, de modo a facilitar o processo de planeamento e de tomada de decisão, sobre qual a melhor rota para chegar ao destino pretendido.

Os principais objectivos deste sistema, assentam essencialmente em:

- Contribuir para a segurança da navegação marítima (prevenção de acidentes);
- Contribuir para que os navegadores cheguem ao seu destino em segurança;
- Contribuir para a crescente consciencialização dos navegantes, sobre informação necessária ao correcto planeamento de uma viagem;
- Facilitar o acesso a informação náutica de forma cada vez mais segura e eficiente;
- Explorar novas formas de difusão deste tipo de informação.

3. METODOLOGIA

Na concepção do sistema, houve a necessidade de definir qual a informação a disponibilizar e de como seria efectuado o seu processamento e armazenamento. Contudo, de modo geral, procurou-se que a selecção não fosse excessiva para não dificultar o processo de pesquisa. Tendo sido seleccionada de modo a proporcionar aos navegadores resposta às seguintes questões:

- Qual a cartografia náutica necessária para a viagem e quais as correcções de cada carta?
- Qual a distância entre os portos que se prevê praticar?
- Quais os portos disponíveis para a arribada, em caso de necessidade?
- Quais as ajudas à navegação e os pontos conspícuos, disponíveis ao longo a derrota²?
- Qual a hora e altura de maré prevista para determinado local?
- Qual a previsão de agitação marítima para determinado local?
- Qual a previsão meteorológica para determinada área?
- Quais os Esquemas de Separação de Tráfego (EST) que poderá cruzar?
- Qual o limite de cobertura do VTS?
- Quais as zonas marítimas condicionadas à navegação?
- Localização dos fundeadouros?
- Quais os avisos à navegação em vigor?
- Qual a melhor rota a praticar e a sua descrição?
- Qual a área onde é permitido navegar?
- Quais os serviços e facilidades disponíveis num porto?

A diversidade da informação envolvida implicou que fosse definida uma estrutura para a sua organização e apresentação. A estrutura adoptada consistiu na definição de vários grupos temáticos (e.g. cobertura cartográfica, ajudas à navegação, áreas), sob os quais foi agrupada a informação constituinte do sistema, disposta em camadas, de modo a facilitar o processo de consulta pelos utilizadores (ver Tabela I).

Este sistema, retira partido de uma infra-estrutura já existente, as bases de dados (BD) institucionais (Oracle®), nomeadamente a Lista de Luzes, Marés e ANAVNET. Para além disso, é também suportado por uma outra BD (Geodatabase da ESRI®) de menor dimensão, constituída para o efeito e que armazena, essencialmente informação de base, limites marítimos, etc. As BD são alvo de processos de manutenção e actualização constantes, e possibilitam a integração de dados em diferentes formatos, raster (e.g. imagens satélite, temperatura da superfície do mar), vectorial (e.g. áreas de jurisdição das capitánias, cobertura da rede DGPS, correntes) e tabulares. Os dados são provenientes de origens diversas, por exemplo, de documentos náuticos oficiais (Roteiros, Cartas Náuticas) e documentos legislativos (Decretos-Lei, Regulamentos Portuários).

¹ Publicações náuticas editadas pelo IH.

² Derrota - percurso que o navegador prevê praticar e que traça na carta náutica durante o planeamento.

GRUPO TEMÁTICO	CONTEÚDOS	CAMADAS DE INFORMAÇÃO
COBERTURA CARTOGRÁFICA	Disponibiliza a cobertura geo-espacial dos diversos catálogos dos fólhos de cartografia náutica nacional, em papel e em digital.	(e.g. Fólho de Cartografia Náutica; Série Costeira ou de Aproximação; Série de Recreio; Cartas Electrónicas de Navegação)
INFRA-ESTRUTURAS	Localização de infra-estruturas de apoio à navegação.	(e.g. Portos Comerciais, Marinas e Portos de Recreio)
AJUDAS À NAVEGAÇÃO	Localização das ajudas à navegação, existentes na costa portuguesa.	(e.g. Marcas Fixas e Flutuantes; Estações Rádio Costeiras; Estações VTS e AIS; EST; Cobertura da rede DGPS)
ÁREAS	Este grupo contém os seguintes subgrupos, que classificam as áreas como sendo: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Condicionadas ▪ Previsão Meteorológica ▪ Protecção Ambiental ▪ Limites Marítimos 	(e.g. Fundeadouros; Áreas de Navegação; Áreas Meteorológicas Oceánicas; Área de Busca e Salvamento (<i>Search and Rescue</i> – SAR); Áreas de Jurisdição das Capitanias)
OCEANOGRAFIA	Possui dados que contribuem para a caracterização geral do ambiente marítimo.	(e.g. Temperatura da Superfície do Mar; Correntes; Bóias Ondógrafo (Agitação Marítima); Estações Maregráficas (Previsão de Maré)
INFORMAÇÃO SEGURANÇA MARÍTIMA	Avisos à navegação. Avisos meteorológicos e previsões meteorológicas (MSI difundidos pelo sistema NAVTEX)	(e.g. Avisos à navegação costeiros promulgados pelo IH, avisos locais promulgados pelas capitanias)
MAPA BASE	Informação de base, em que a sua inclusão, visa proporcionar um enquadramento adequado à restante informação.	(e.g. Toponímia; Rios; Batimetria)

Table I - Descrição sumária dos grupos temáticos disponibilizados no sistema e identificação de algumas camadas de informação associadas a cada grupo.

A aplicação está a ser desenvolvida com recurso a tecnologia ArcGIS da ESRI® e a linguagens de programação. Actualmente, no WebSIG, já estão implementadas ferramentas de navegação (e.g. aproximar; afastar), de medição, de pesquisa, de selecção espacial, entre outras (e.g. produção e impressão de mapas; acesso às fichas de metadados;

manual de utilização da aplicação). Estas funcionalidades permitem aos utilizadores a exploração dos dados e a interacção com o mapa (ver Figura 1). No entanto, prevê-se ainda o enriquecimento do sistema com novas funcionalidades (e.g. produção de relatórios com informação sintetizada para a rota pretendida).

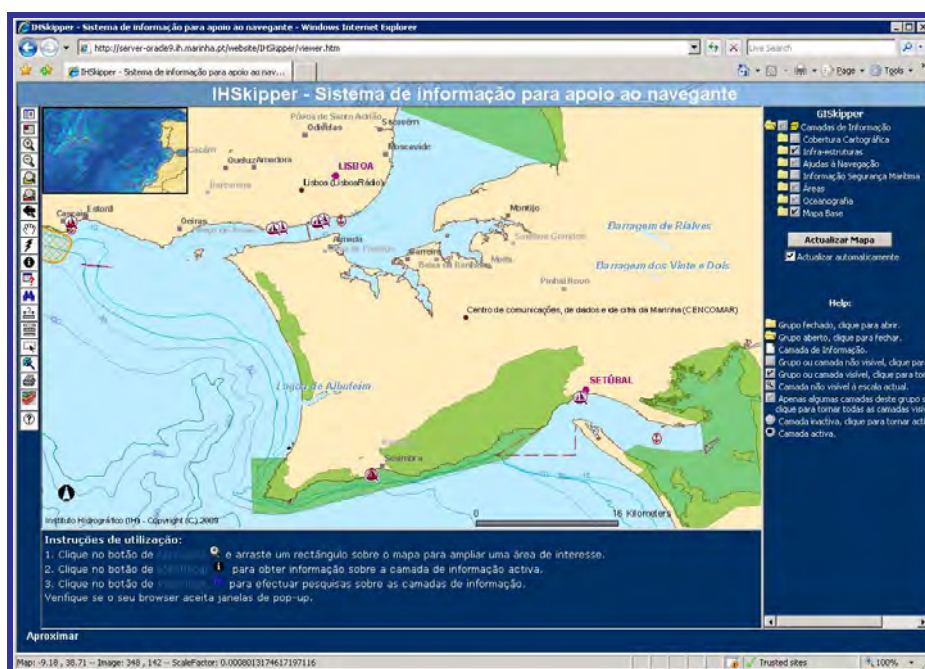


Figura 1 – Interface da aplicação IHSkipper.

3. DIFUSÃO E EXPLORAÇÃO DO SISTEMA

A disponibilização do sistema IHSkipper será feita através do portal de internet do IH, no espaço destinado à difusão dos produtos.

A exploração dos dados geo-espaciais, em ambiente WebSIG, deve ser feito tendo em consideração as escalas e a organização definida. A sobreposição das diferentes camadas de informação pode apresentar resultados cartográficos inconsistentes, como resultado das escalas utilizadas.

Relativamente à simbologia utilizada na representação dos elementos geográficos, existiu a preocupação de adoptar simbologia semelhante à utilizada nos documentos náuticos oficiais, produzidos pelo IH.

Esta aplicação está directamente associada a outra área de inovação de destaque no âmbito da e-Navigation – Publicações digitais. Esta componente envolve uma nova abordagem na consulta da informação contida nos roteiros e nas listas de rádio ajudas. A georeferenciação da informação actualmente contida naquelas publicações poderá ser correlacionada com a rota “desenhada” pelo utilizador, sendo que o próprio processo de selecção da rota poderá ser interactivo.

4. CONCLUSÃO

A solução encontrada consistiu na implementação de um sistema de informação geográfico a disponibilizar na Internet, que concentra informação relevante ao planeamento de viagens marítimas em território nacional. Prevê-se que a arquitectura adoptada, permita atingir os objectivos inicialmente propostos e os requisitos identificados, quer ao nível da implementação, difusão e exploração do sistema, quer ao nível da sua manutenção. Ou seja, é possível com recurso a BD e à tecnologia WebSIG, encontrar novas formas de difundir informação de carácter multidisciplinar sobre áreas relacionadas com a segurança à navegação. Esta nova forma de disponibilização de informação náutica, potencia a sua utilização de uma forma cada vez mais segura e eficiente. Ou seja, pretende-se que contribua para a crescente consciencialização de quem anda no mar, da informação necessária ao correcto planeamento das suas viagens, de modo a chegar ao destino em segurança. A futura difusão deste sistema na Internet irá permitir a partilha dos instrumentos e do vasto conhecimento que o IH tem adquirido, ao longo dos anos, sobre a prática da navegação marítima, contribuindo deste modo para a segurança da navegação. Este sistema permite aos navegadores, o acesso de modo centralizado, a informação relevante ao planeamento das suas viagens marítimas, o que lhes facilitará o processo de tomada de decisão sobre

qual a melhor rota, para chegar ao destino pretendido.

Razões associadas a dependência deste sistema de outras aplicações ainda em desenvolvimento e o cuidado exigido no rigor e integridade da informação fornecida fazem com que ainda se encontra em fase de desenvolvimento, não estando disponível ao público em geral. Antes da sua disponibilização, prevê-se que seja complementado com novas funcionalidades e mais informação. Face ao largo volume de informação disponível, é contraproducente inundar o utilizar com informação em excesso, assim pretende-se criar perfis de utilizadores (e.g. recreio, pescas), com alguns parâmetros ajustáveis.

Este sistema é objecto de desenvolvimento, evolução e aperfeiçoamento contínuo, no que respeita à natureza da informação envolvida, das funcionalidades, das bases de dados e do *software* utilizado.

REFERÊNCIAS

- Conceição, P. (2007). Preparação da viagem – a recolha de informação. *Hidromar*, p. 12-13.
- Godinho, S. (2008). HISKIPPER – Sistema de informação para apoio à náutica de recreio. [Em linha]. Lisboa: Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação. Tese de mestrado. Disponível em WWW: <URL:http://www.isegi.unl.pt/Servicos/documentos/tegi/tegi223.pdf>.
- Malyankar, R. – An Intelligent Information System for Maritime Navigation Information: Question-Answering Systems (Technical Report FS-99-02). [Em linha]. Falmouth: AAAI Fall Symposium Series, 1999. [Consult. 18 Jun. 2007]. Disponível em WWW: <URL:http://www.eas.asu.edu/~gcass/papers/fss99rmm.pdf>. ISBN 978-1-57735-104-7. p. 119.
- International Maritime Organization (2004). SOLAS - Consolidated Edition 2004. 4^a ed..

Geologia e geoquímica marinha

Implementação do Geocoder/ARA em diferentes aplicações comerciais para a classificação remota do fundo do mar com dados de retrodifusão acústica

A. Lobo (1), A. Navarro (2), A. Campos (1), F. G. Brandão (1) e a equipa da EMEPC

(1) Estrutura de Missão para a Extensão da Plataforma Continental (EMEPC), arlobo@emepc-portugal.org

(2) Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, LATTEX-IDL

Resumo: Os dados adquiridos por sondadores multifeixe possuem informação relativa à morfologia do fundo do mar e às suas propriedades físicas, fornecendo dados valiosos para a caracterização do fundo do mar. Uma técnica recente de processamento deste tipo de dados, designada por *Angular Response Analysis* (ARA), baseia-se no facto da variação da intensidade da retrodifusão acústica com o ângulo de incidência constituir uma propriedade intrínseca do fundo do mar, permitindo estimar as propriedades superficiais do fundo do mar recorrendo à inversão do modelo geoacústico. Ao módulo Geocoder, concebido para a produção de mosaicos de retrodifusão acústica, foi adicionado o módulo ARA. O *Geocoder/ARA* foi implementado recentemente em diversas aplicações comerciais, nomeadamente o *CARIS/HIPS&SIPS v7*, o *IVS/Fledermaus v7.1* e o *HYPACK v2010*. Apesar de não ter sido possível a validação dos resultados obtidos e de todas as aplicações apresentarem ainda muitas limitações, o *IVS/Fledermaus* apresenta a vantagem de disponibilizar os resultados em formato gráfico e de permitir a sua exportação para outros formatos.

Palavras-chave: retrodifusão acústica, *Angular Response Analysis*-ARA, propriedades físicas do fundo do mar

1. INTRODUÇÃO

Os métodos de aquisição de dados de retrodifusão acústica (*acoustic backscatter*) têm sido amplamente utilizados em diversas aplicações por possibilitarem uma forma rápida e quantitativa de analisar a morfologia e a estrutura do fundo do mar. Alguns exemplos dessas aplicações são a identificação de alterações temporais em habitats bentónicos associadas a actividades de aquacultura, a identificação da distribuição de locais de libertação de gás, a identificação de derrames de óleo e o mapeamento de sedimentos superficiais.

Os sondadores multifeixe, permitem a aquisição simultânea de dados de profundidade e de retrodifusão com uma elevada resolução espacial, os quais, em conjunto, permitem classificar em termos qualitativos e quantitativos o fundo do mar ao longo de vastas áreas. A utilização destes dados apresenta ainda vantagens face à tradicional recolha pontual de amostras, dado que o espaçamento da sua cobertura dificilmente fornece uma distribuição representativa das características do fundo do mar. A variação da intensidade do sinal de retrodifusão com o ângulo de incidência constitui uma propriedade intrínseca do fundo do mar, a qual pode ser utilizada para a sua caracterização. Embora os dados de retrodifusão sejam adquiridos com uma ampla gama de ângulos de incidência, a produção de mosaicos coerentes implica a remoção da resposta angular, o que reduz a capacidade de uma correcta discriminação das propriedades do fundo do mar. Por outro lado, a análise da resposta angular (ARA) preserva a resposta angular e consequentemente a capacidade de caracterizar o fundo do mar. No entanto, esta análise é limitada a metade da largura do *swath* e a um determinado número de *pings* na direcção

longitudinal, o que reduz substancialmente a sua resolução espacial. A análise dos mosaicos de retrodifusão em conjunto com a análise de resposta angular apresenta então a vantagem de beneficiar da grande resolução espacial do mosaico e da grande resolução angular da análise ARA.

A técnica ARA foi recentemente implementada em diversas aplicações comerciais, tais como o *CARIS/HIPS&SIPS v7*, o *IVS/Fledermaus v7.1* e o *HYPACK v2010*. Dado o elevado volume de dados de retrodifusão recolhido pela Estrutura de Missão para a Extensão da Plataforma Continental (EMEPC) e a disponibilização destas três aplicações, este estudo tem por objectivo comparar estas três implementações do *Geocoder/ARA*, bem como avaliar a eficiência desta técnica para a classificação do fundo do mar.

2. GEOCODER/ARA

Estudos recentes realizados no *Center for Coastal and Ocean Mapping-Joint Hydrographic Center* (CCOM-JHC), permitiram o desenvolvimento de uma sofisticada ferramenta de produção de mosaicos de retrodifusão acústica denominada *Geocoder* (Fonseca e Calder, 2005). Esta aplicação calcula a retrodifusão acústica calibrada (*backscatter strength*) corrigindo radiometricamente e geometricamente as amostras de intensidade de retrodifusão acústica registadas pelo sondador. Todas as amostras são corrigidas das alterações aos parâmetros de aquisição, tais como a potência de transmissão, os ganhos variáveis com o tempo e o ganho do receptor. É ainda efectuada a compensação à dispersão esférica e à atenuação na coluna de água, assim como do efeito devido aos diagramas de transmissão e recepção do transdutor (*beam pattern*).

Adicionalmente, a intensidade de retrodifusão acústica é corrigida do declive do fundo, da abertura do feixe de transmissão e recepção e do comprimento do impulso de transmissão, calculando a área insonificada por cada feixe. Posteriormente, a retrodifusão acústica é normalizada determinando o seu valor por ângulo sólido e por unidade de área, obtendo-se a retrodifusão acústica calibrada em dB. Finalmente, é aplicado um filtro para remoção do ruído *speckle*. Para produzir um mosaico com intensidades uniformes ao longo do *swath* é necessário remover a dependência angular do sinal de retrodifusão acústica, mas como esta dependência é uma propriedade intrínseca do tipo de sedimentos os quais não conhecemos é aplicada uma curva genérica de ganho variável com o ângulo (AVG) para remover este efeito do mosaico.

Recentemente foi integrada no *Geocoder* a capacidade de análise de sedimentos através da técnica ARA, passando esta aplicação a denominar-se *Geocoder/ARA* (Fonseca e Calder, 2007; Fonseca e Mayer, 2007). Esta técnica permite, após a remoção dos artefactos de aquisição, extrair parâmetros da curva de resposta angular aplicando-os na inversão de um modelo geoacústico. A inversão do modelo não permite que os parâmetros de entrada variem independentemente, mas de acordo com a relação entre as propriedades físicas dos sedimentos (Hamilton, 1974). A inversão é feita iterativamente ajustando os parâmetros do modelo de acordo com as equações de *Hamilton*, aos parâmetros extraídos da resposta angular ARA. Os três principais parâmetros que controlam o modelo são, a impedância acústica (correlacionada com o *intercept*), a rugosidade do fundo (correlacionada com o *slope*) e a heterogeneidade dos sedimentos abaixo da superfície (correlacionada com a distância ortogonal). O processo iterativo de inversão constrangido só termina quando converge para um conjunto de parâmetros do modelo. Isto é, quando as diferenças entre os parâmetros ARA e os parâmetros do modelo forem mínimas, assume-se que o modelo constitui uma boa representação do fundo do mar naquela zona. Podem ser utilizados dois modelos geoacústicos, o modelo de composição da rugosidade (Jackson *et al.*, 1986) e o modelo efectivo da densidade de fluidos (Williams, 2001) derivado da teoria de *Biot* (Biot, 1956, 1962).

3. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE TESTE E DOS DADOS UTILIZADOS

O Canhão de Setúbal é um profundo vale submarino que entalha a bacia de Setúbal e estabelece um contacto directo entre a plataforma continental e a bacia abissal do Tejo (Figura 1). Tal estrutura constitui uma importante rede de drenagem de sedimentos, tendo por esse motivo sido escolhida como área de teste. Os dados de profundidade e de retrodifusão acústica utilizados foram adquiridos

cinco milhas a sul de Sesimbra, numa área centrada sobre o referido canhão, com fiadas na direcção N-S. As profundidades nessa área variam entre os 130m e os 930m de profundidade. De acordo com a carta de sedimentos publicada pelo Instituto Hidrográfico, os sedimentos superficiais existentes na zona levantada variam entre o lodo fino (vale) e a areia grosseira (plataforma sul), com base em dados recolhidos entre 1974 e 1986.

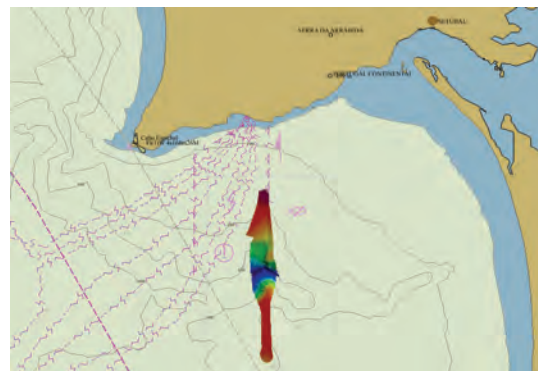


Fig. 1. Área de estudo.

Os dados foram adquiridos no dia 29 de Março de 2010 a bordo do N.R.P. “Almirante Gago Coutinho” utilizando o sistema sondador multifeixe Simrad EM710. Este sistema opera, a profundidades superiores a 300m, com um impulso de transmissão *chirp* de 200ms com uma frequência de 85kHz e uma largura de banda de 30kHz e a profundidades inferiores aquele valor com impulsos entre os 0.15 e 0.5ms em CW. O sistema adquire simultaneamente informação batimétrica de alta resolução e séries temporais das intensidades de retrodifusão acústica (*snippets*), através de 128 feixes de recepção (largura dos feixes de $1^\circ \times 2^\circ$) em modo equiangular distribuídos por um sector de 120° . Adicionalmente foi medido o perfil da velocidade do som (SVP) na coluna de água e inserido no sistema de aquisição de forma a corrigir em tempo real o efeito da refração. A sobreposição mínima entre fiadas adjacentes foi de 20%.

4. CARIS HIPS&SIPS

A implementação do *Geocoder/ARA* no *CARIS HIPS&SIPS* teve início na versão 6.1. Desde então, têm sido lançadas actualizações de forma a corrigir algumas inconsistências estando neste momento na versão 7.0.1. *SPI*. O *Mosaic Editor* utiliza o *Geocoder* para a produção de mosaicos de retrodifusão acústica corrigidos dos efeitos radiométricos e geométricos. O *Sediment Analysis Tool* (SAT) utiliza o modelo acústico baseado na teoria de *Biot* para estimar as propriedades físicas dos sedimentos. O pré-processamento dos dados de intensidade acústica consiste na conversão dos dados brutos para o formato proprietário *HDCS*, na

remoção de artefactos, de sondas anómalas e na sua georeferenciação. Com base nestes dados validados é construído um modelo digital de terreno (MDT) com a resolução adequada à gama de profundidades, o qual vai ser posteriormente utilizado para o cálculo do ângulo de incidência efectivo no fundo do mar (*bottom slope correction*).

De seguida, as intensidades de retrodifusão acústica são corrigidas em termos radiométricos e geométricos, criando um novo tipo de ficheiro denominado *GeoBaR* (*Georeferenced Backscatter Raster*) que faz uso da nova tecnologia *BASE Surface* assim como do recente *CSAR framework*. Esta tecnologia permite a composição de mosaicos a partir de dados adquiridos por diferentes sistemas de sondagem e em diferentes épocas com diferentes resoluções espaciais. Foram utilizadas as séries temporais na construção de uma *GeoBaR* por fiada, tendo sido efectuadas as seguintes correcções radiométricas: ganho de recepção (*Auto-Gain Correction*); ganho em função do tempo (*Auto TVG Correction*); efeito devido aos diagramas de transmissão e recepção do transdutor (*Beam Pattern Correction*); ganho em função do ângulo (*Angle Varing Gain*) utilizando o algoritmo *Trend* com uma janela de 30 *pings* e correcção do efeito do ruído *speckle*. Para efectuar a remoção dos artefactos causados pelo transdutor, foi criado um ficheiro de *beam pattern* numa zona plana de areia homogénea. No *Mosaic Editor* existe ainda a possibilidade de otimizar esta correcção removendo o contributo indesejado da resposta angular dos sedimentos.

No passo seguinte foram seleccionadas as *GeoBaRs* a considerar para a construção de uma imagem mosaico com 1 m de resolução. O algoritmo *Full Blend* foi escolhido para resolver as zonas de sobreposição recorrendo a um esquema de pesos para determinar o valor mais apropriado. A análise de sedimentos foi efectuada em *Advanced Mode* com uma dimensão do *patch* de 30 *pings*. O resultado da análise é apresentado para cada *patch* seleccionado sob a forma texto numa janela adicional. É exibido o tipo de sedimento com um grau de confiança associado e uma listagem com os valores dos parâmetros do modelo. Adicionalmente, é apresentada uma outra janela com a curva de resposta angular dos sedimentos para o respectivo *patch*.

5. IVS/FLEDERMAUS

O *FMGeocoder* é um programa desenvolvido para visualizar e analisar dados de *backscatter* de sondadores multifeixe e sonar lateral. Esta aplicação permite processar vários tipos de ficheiros proprietários, aplicar as necessárias correcções radiométricas e geométricas e construir mosaicos de retrodifusão acústica corrigidos. Após a geração do mosaico, podem ser calculadas várias estatísticas e exportadas juntamente com a imagem mosaico para

vários formatos. A partir da versão 7 foi adicionado o módulo *Angular Range Analysis* permitindo assim a caracterização do fundo do mar. O *FMGeocoder* pode funcionar em dois modos distintos. O primeiro, denominado *Real-time Processing Mode* permite a visualização dos dados e a produção de mosaicos durante a aquisição. O segundo, denominado *Post Processing Mode*, permite a análise dos dados com diferentes parametrizações, a visualização e exportação dos dados. Esta aplicação suporta dados brutos em vários formatos (ficheiros proprietários da *Kongsberg*, *GSF File*, entre outros).

O *Fledermaus* permite o processamento completo dos dados batimétricos criando uma superfície validada (*SD File*), contudo, por uma questão gestão de recursos e porque a aplicação permite importar directamente dados *HDCS*, foram utilizados os dados previamente processados pelo *CARIS HIPS*. Este método permitiu revelar um *bug* no módulo *DMagic*, utilizado para a geração de MDTs, pois apesar de existir uma interface dedicado à importação dos *HDCS*, este formato não é reconhecido pela aplicação. Tal facto impossibilitou a construção do MDT necessário para a correcção do declive do fundo. Para colmatar este constrangimento, houve necessidade de recorrer ao *CARIS HIPS* para exportar os dados processados para formato *ASCII*, estes já aceites pelo *DMagic*.

De forma a efectuar a correcção do *beam pattern* é necessário, à semelhança do que acontece no *CARIS*, criar previamente um ficheiro numa zona plana e homogénea. No entanto, o *FMGeocoder* não disponibiliza nenhuma ferramenta para gerar o referido ficheiro. Para prosseguir com o processamento, recorreremos ao ficheiro já gerado no *CARIS*. De seguida, foram realizadas correcções à potência de transmissão e ganho de recepção (*Tx/Rx Power Gain Corrected*) e ao ganho em função do ângulo (*Apply AVG Correction*), utilizando novamente o algoritmo *Trend* com uma janela de 30 *pings*. O mosaico produzido apresenta um baixo contraste, no entanto, através do histograma da imagem de retrodifusão acústica, é possível controlar as intensidades radiométricas que compõem a imagem mosaico.

Foi executada a análise ARA para a área de teste através da inversão do modelo de *Jackson* para cada *patch*. O resultado gráfico da ARA é um conjunto de pontos cuja cor ou tamanho representa um atributo seleccionado. Cada *patch* analisado apresenta dois pontos, sendo um referente a bombordo e o outro a estibordo. Esta informação gráfica é apresentada simultaneamente com a imagem mosaico facilitando a interpretação através da correlação visual das diferentes intensidades da imagem com o tipo de sedimentos estimados. Os resultados do *FMGeocoder* podem ser guardados sob a forma de pontos através da criação de um ficheiro *Fledermaus SD objects* ou através de um ficheiro *ASCII* de múltiplos atributos.

6. HYPACK

A aplicação de aquisição e processamento de dados batimétricos *Hypack* integrou a partir da versão 2009 a ferramenta *Geocoder/ARA*. O módulo *Geocoder* foi implementado no *Hypack* sem alterações significativas relativamente à sua versão original (Fonseca e Calder, 2005). A conversão de dados e o processamento batimétrico são efectuados em ambiente *Hypack* com os seus formatos proprietários sendo posteriormente convertidos para o formato genérico *GSF* de entrada no *Geocoder*. A avaliação do desempenho desta implementação não foi possível pelo facto de, após a importação do ficheiro *GSF* pelo *Geocoder*, o sistema informar que apenas estão disponíveis os *average data* e não os necessários *time series data*.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dado que não foi possível o processamento na aplicação *Hypack*, apenas se vai comparar o *FMGeocoder* e o *Mosaic Editor*. Relativamente à interface com o utilizador o *Mosaic Editor* constitui a implementação mais complexa, disponibilizando mais ferramentas, no entanto o processamento é muito menos intuitivo para o utilizador comparativamente ao do *FMGeocoder*. Esta última aplicação apresenta ainda a vantagem de permitir a visualização e o processamento em tempo real. Da análise visual dos mosaicos produzidos pelas duas aplicações verificaram-se artefactos significativos na zona do nadir provocados pela correcção do *beam pattern* e algumas variações bruscas nas intensidades de retrodifusão acústica, provavelmente originada por uma alteração dos parâmetros de aquisição (potência de transmissão ou comprimento de impulso), os quais não foram devidamente corrigidos. Verificaram-se ainda artefactos longitudinais nos feixes exteriores de bombordo em zonas de maior profundidade (vale do canhão), apenas no mosaico produzido na aplicação *CARIS*, não se conseguindo apurar a razão destes artefactos. As duas aplicações testadas produziram mosaicos com uma fraca resolução radiométrica. No entanto, enquanto que o *FMGeocoder* disponibiliza uma boa ferramenta para proceder à equalização da imagem, no *Mosaic Editor* essa mesma ferramenta é muito limitada. Conforme mencionado anteriormente, o *FMGeocoder* apresenta as desvantagens de não ter nenhuma ferramenta que permita gerar o ficheiro do *beam pattern* e de o módulo *DMagic* não reconhecer ficheiros em formato *HDCS*. A grande vantagem do *FMGeocoder* reside no facto de disponibilizar resultados em formato gráfico e de permitir exportar essa informação em formatos compatíveis com outras aplicações (tais como, o ArcGIS), o que facilita a interpretação dos dados. No *Mosaic Editor* os resultados são apenas exibidos numa janela da aplicação e individualmente para cada metade do

patch (BB ou EB). A comparação da classificação obtida pelas duas aplicações foi efectuada aleatoriamente para alguns *patches* tendo-se verificado discrepâncias nos sedimentos identificados, as quais se devem possivelmente à utilização de diferentes modelos geoacústicos de inversão (*Jackson e Biot*).

8. CONCLUSÕES

Das três aplicações analisadas apenas se conseguiu obter resultados com o *Mosaic Editor* do *CARIS* e com o *FMGeocoder* do *Fledermaus*. Estas aplicações apresentam limitações operacionais, no caso do *Fledermaus*, a inexistência de uma ferramenta para a criação do *beam pattern* e o facto do *DMagic* não reconhecer ficheiros em formato *HDCS* e, no caso do *CARIS*, a inexistência de uma representação gráfica dos resultados da classificação. Contudo, a disponibilização dos resultados em formato gráfico e a possibilidade de exportação para outros formatos, são uma mais-valia do *FMGeocoder* por permitirem a produção de mapas temáticos recorrendo a outras aplicações. Relativamente ao tipo de sedimento obtido, não foi possível confirmar qual o resultado mais correcto dada a indisponibilidade de dados de referência.

REFERÊNCIAS

- Biot, M.A. (1956). Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid. II. Higher frequency range. *Journal of the Acoustical Society of America*, 28 (2), 179-191.
- Biot, M.A. (1962). Generalized theory of acoustic propagation in porous dissipative media. *Journal of the Acoustical Society of America*, 44 (9), 1254-1264.
- Fonseca, L., e Calder, B. (2005). Geocoder: an efficient backscatter map constructor. *Proceedings of the U.S. Hydrographic Conference 2005*, San Diego.
- Fonseca, L., e Calder, B. (2007). Clustering acoustic backscatter in the angular response space. *Proceedings of the US hydrographic conference*, Norfolk, VA.
- Fonseca, L., e Mayer, L. (2007). Remote estimation of surficial seafloor properties through the application angular range analysis to multibeam sonar data. *Marine Geophysical Research*, 28 (2), 119-26.
- Hamilton, E. (1974). Prediction of deep-sea sediment properties: state-of-the-art. In: Inderbitzen AL (ed) *Deep-sea sediments, physical and mechanical properties*. Plenum Press, New York, 1-43.
- Jackson, D.R., Winebrenner, D.P., e Ishimaru, A. (1986). Application of the composite roughness model to high-frequency bottom backscattering. *Journal of the Acoustical Society of America*, 79 (5), 1410-1422.
- Williams, K.L. (2001). An effective density fluid model for acoustic propagation in sediments derived from Biot theory. *Journal of the Acoustical Society of America*, 110 (5), 2276-2281.

Validation of remote seafloor characterization with Angular Range Analysis in an area of high spatial variability

L. Rosa (1), L. Fonseca (2), L. A. Mayer (3)

- (1) Instituto Hidrográfico, soares.rosa@hidrografico.pt
- (2) UNESCO – Intergovernmental Oceanographic Commission, l.fonseca@unesco.org
- (3) Center for Coastal and Ocean Mapping/Joint Hydrographic Center UNH/NOAA, larry.mayer@unh.edu

Abstract: Angular Range Analysis (ARA) is a physics-based approach to acoustic remote seafloor characterization. In order to better understand the capabilities and limitations of this technique, ARA analyses were performed on multibeam sonar data collected in an area with high spatial variability. The remotely derived results were compared to grain size information derived from grab samples and Sediment Profile Imaging. Uncertainties in the determination of mean grain size from ground truth were identified and when possible quantified. ARA proved to be an effective remote sensing tool at a regional scale in its main operational mode that has a spatial resolution limited to half-swath width of the sonar and to thirty pings. When the seafloor is heterogeneous within half-swath width of the sonar, textural segmentation of the backscatter mosaic allows the definition of “themes” out which ARA solutions can be calculated, improving the correlation with ground truth.

Key-words: Multibeam, backscatter, remote seafloor characterization, Angular Range Analysis.

1. INTRODUCTION

Most remote seafloor classification methods segment the seafloor into regions of similar facies and need ground truth to identify the corresponding bottom type. However, the returned signal is affected by system setup at the time of acquisition and there is no unique relationship between acoustic signature and seafloor type, therefore, an empirical relationship must be established for each combination of survey site and acquisition parameters. A true characterization system must consider the physics of the interaction of sound with the seafloor.

Angular Range Analysis (ARA) (Fonseca and Mayer, 2007) is a physics-based approach to remote seafloor characterization, included in the Geocoder engine developed at the University of New Hampshire (Fonseca and Calder, 2005), which is now being implemented in commercially available software (CARIS HIPS/SIPS, IVS FLEDERMAUS, HYPACK). Geocoder radiometrically corrects backscatter intensities registered by the sonar and geometrically corrects and positions each acoustic sample in a projected coordinate system, thus calculating the best estimate of the actual backscatter strength returned from the seafloor. Backscatter strength is not constant across the swath, varies with grazing angle; this is an intrinsic characteristic of the seafloor and it is used by ARA for its characterization. The analysis is performed for each patch of the seafloor defined by the half-swath width in the across-track direction and by a stack of

consecutive pings in the along-track direction, normally between 20 and 30 to reduce speckle noise, and this determines the spatial resolution of the method. Then, a set of ARA-parameters is extracted from the observed backscatter angular response, containing the slope and intercept for different parts of the angular response curve, and the orthogonal distance (the distance of a point to the general trend in an intercept-slope plane). The variation of these parameters is strongly influenced by seafloor roughness, impedance and volume heterogeneities, respectively.

After the angular response of the seafloor has been determined, it has to be linked to seafloor properties by an acoustic model. Two modified models are implemented in Geocoder's ARA. In the Jackson *et al.* (1986) model the sediment is idealized as an acoustically refractive and lossy fluid, and the total backscatter strength is modeled as the sum of two different processes: interface scattering and volume scattering. The acoustic response of the sediment is modeled as function of frequency and grazing angle. This model requires input parameters related to the impedance contrast (sound speed and density in the water and in the sediment), attenuation (loss parameter), roughness (spectral strength and the spectral exponent of bottom relief) and volume scattering (volume parameter). Williams' (2001) acoustic propagation model approximates a porous medium as a fluid with a bulk modulus and effective density derived from Biot theory (Biot, 1956, 1962).

The implementation of this model in Geocoder's ARA requires, in addition to the parameters used in the implementation of the Jackson's model, the porosity, permeability and tortuosity of the sediment.

The prediction of seafloor properties from the observed angular response is accomplished by model inversion, iteratively adjusting the model ARA-parameters to the ARA-parameters calculated from the observations, but not in a free way. Several combinations of seafloor properties may lead to the same angular response so model ARA-parameters are constrained by the parameters of the forward model which are constrained by empirical relations between physical and geoaoustical properties of the sediment determined by Hamilton (1974). This results in a physics-based prediction of seafloor properties. However, before confidence can be acquired for a remote sensing tool, to the point where the need for ground truth is minimized or eventually eliminated, a comparison has to be made between remote sensing results and ground truth data in different types of environments.

The present study tried to estimate the applicability of the ARA to an area of high spatial variability, the Historic Area Remediation Site (HARS) located in the New York Bight, northwest of the head of the Hudson Shelf Valley, six nautical miles east of Sandy Hook, New Jersey, with an average depth of 25 m. The HARS contains a wide variety of sediment types, ranging from clay to gravel, in a relatively small area. This small-scale variability is particularly suited for a test of the spatial resolution of the ARA approach. Datasets acquired by Science Applications International Corporation (SAIC) in 2006 were used for this study. Each dataset consists of a multibeam sonar survey conducted with a Reason 8101 MBES, Sediment Profiling Imaging (SPI), plan view images, and Petit Ponar grab samples. All these data were acquired over a relatively short period of time, which minimizes the effect of temporal variability of the seafloor and, consequently, yields a better correlation between remote sensing and ground truth data.

Mean grain size was chosen as the object of comparison because it is the most commonly measured seafloor property and it is widely used as an environmental and geotechnical proxy. And although it may not yield the desirable predictive relationships with other physical and geoaoustic properties of the sediment (Jackson and Richardson, 2007), it can be easily measured with low cost.

Sediment-samples were analyzed with sieves ($\geq 500 \mu\text{m}$) and laser diffraction ($< 500 \mu\text{m}$). In addition to laser diffraction, grain-size analysis was also performed with classical sieve ($\geq 62 \mu\text{m}$) and pipette

($< 62 \mu\text{m}$) methods for comparison. The weight Lost On Ignition (LOI) was also determined as a rough estimation of the percentage of organic material present in the sediments. Since drying the sample is part of the standard procedure to determine the weight of the two portions to be analyzed with sieving and laser diffraction, some samples were analyzed without drying to evaluate the error introduced by this practice and the comparison was made only for the portion analyzed with laser diffraction. The standard procedure for grain-size analysis requires removal of organic material, washing salts from the sample, dispersion with sodium hexametaphosphate and ultrasounds. To estimate particle size as close as possible to the original sediment, some samples underwent minimal processing, being only stirred in the laser-diffraction system to keep grains in suspension.

Mean grain size was calculated using Folk and Ward (1957) graphical method because it appears to provide the most robust basis for routine comparisons of compositionally variable sediments (Jackson and Richardson, 2007). Although moment measures are more accurate and more sensitive to environmental processes, they employ the entire sample population and are more affected by outliers in the tails of the distribution than graphical measures; therefore, they should not be used unless the size distribution is fully known (McManus, 1988).

2. ANGULAR RANGE ANALYSIS VALIDATION

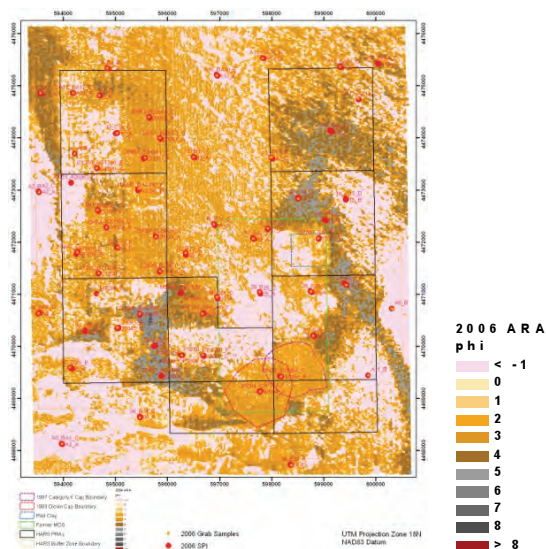


Figure 1 – ARA's predicted mean grain size.

ARA was performed in normal mode resulting in one ARA solution for each resolution cell. Thiessen polygons were constructed around each ARA solution and the mean grain size as predicted by the model is depicted in Figure 1. The observed

segmentation of the seafloor is very similar to the one that a geologist would have generated by visual interpretation of the backscatter mosaic, but with the great advantage that the remote characterization of the seafloor in terms of mean grain size is objective. It is derived from the measurement of a geoaoustic property and is not dependant on the human interpretation of a backscatter mosaic that can have a different outcome depending on which Angular Varying Gain (AVG) was applied.

When the average of the ARA solutions inside the area of uncertainty of the grab sample is plotted against the measured mean grain size the result is a scatter of points. However, any measurement is affected by an uncertainty and, before assuming mean grain size as determined by common methods of ground truth and grain size analysis as an absolute value, the sources of uncertainty in the measurement must be determined and when possible, quantified.

Instrumental uncertainties were evaluated only for the automated method of laser diffraction and are negligible. For a population of 50 samples with three replicate measurements per sample, the overall uncertainty in the measurement is $0.024 \Phi \pm 0.026 \Phi$ (1σ). The maximum uncertainty found in the determination of mean grain size for a single sample, with three replicate measurements, is $0.082 \Phi \pm 0.054 \Phi$ (1σ). Uncertainties in mean grain size due to the effect of drying the sample increase as the grain size decreases (higher Φ). For medium or fine sands, the effect of drying the sample is almost negligible whereas for silt and clay sizes the difference can reach 0.2Φ and 0.4Φ , respectively. Differences between sieve-laser diffraction and sieve-pipette methods are on average $0.35 \Phi \pm 0.14 \Phi$ (1σ) towards smaller grain sizes (higher Φ) for sieves-pipettes.

The highest degree of uncertainty seems to arise from the basic premise of grain-size analysis. From a sedimentological perspective, the objective is to obtain the size of the particles as they were deposited in order to get information about the parental source, transport and depositional processes. Decomposing the sample to its elementary particles accomplishes this objective and sets a standard for data comparison. But this process may not adequately characterize the mean grain size as a descriptor for geoaoustic properties. In spite of not being representative of the natural sediment, samples that received minimal preparation show a difference in the mean grain size of 0.2Φ or less for medium and fine sands, approximately 0.3Φ for very fine sands, 0.5Φ for coarse and medium silts, and approximately 1.5Φ for fine silts to clays. Natural sediments are expected to show higher differences because it was not

possible to analyze the samples without disturbing the sediment. Although it seems that uncertainties associated with the instruments, procedures and methods are relatively low, it must be considered that mean grain size determined by the Folk and Ward (1957) graphical method is much less affected than the full distribution curve.

Uncertainties may result also from the sampling process itself. Anthropogenic actions at the HARS shaped the seafloor with horizontal variations at a meter/decameter level and vertically at a centimeter level. Vertical heterogeneity within the first centimeters consists of two main types; an upper layer of red clay (less than 1 cm) overlying sand, and a few centimeters of sand (2 to 5 cm) overlying medium to fine silt. In both cases the angular response of the sediment is characteristic of sand. This suggests that, in the first case the sound penetrated in the clay and was mainly scattered in the sandy layer and that, in the second case, scattering occurred mostly in the sandy layer without significant penetration and scattering in the underneath silt.

In the second case (sand over silt) if the sampler collected mostly the top layer of the sediment, then the mean grain size will be larger; if the sampler collected mostly the subsurface layer, then the mean grain size will be smaller. Therefore, the mean grain size is not a measure of sediment properties that will influence its acoustic behavior but only a measure of grab efficiency. The mean grain size for the sandy layer was inferred from the mode of the grain size distribution and results agree relatively well with the mean grain size predicted by analysis of the sediment's angular response. But the grab may not capture the full vertical and/or horizontal range of grain sizes that influences the sediment's acoustic signature. Comparing sediment analysis with SPI and plan view images for each station, it was possible to evaluate if the grab was capturing or not the full range of grain sizes and eliminate from validation of ARA results those samples which do not represent the sediment deposit. This particular type of uncertainty would be minimized with the use of larger and heavier grabs but as in many cases, sampler choice was conditioned by boat type and winch availability.

Horizontal heterogeneity is high and this influences both ARA results and ground truth. As in most surveys the grab sampler was not precisely positioned with an acoustic system. Even on a small boat, considering the uncertainty of the differential GPS, the distance from the antenna to the place where the grab was deployed and the maximum cable angle, total position uncertainty at the HARS varies between

± 15 m to ± 25 m depending on the depth, and in several cases the area of uncertainty falls between different deposits, as seen in the backscatter mosaic. However, looking at the mosaic and ground truth information from contiguous deposits, it was possible, to a certain extent, to execute a supervised positioning of samples that fall between deposits.

As was seen in Figure 1 ARA showed good results at a regional scale and the limitations associated with the resolution of the method in normal mode (stack of pings \times half-swath) do not affect the general regional trend. At a local level, however, and given the heterogeneity of the HARS, the lack of spatial resolution is evident. When several ARA solutions fall inside an homogeneous patch of the seafloor, results are in agreement with the measured mean grain size provided the sediment is roughly homogeneous over the first centimeters of depth. However, when the seafloor is not uniform across the swath, ARA's solutions deviate considerably from the measured mean grain size. One possibility to overcome this limitation is to segment areas in the backscatter mosaic with similar tones and textural patterns and determine the average angular response for each deposit, assuming that the applied AVG did not mask the limit between deposits, but only harmonized the textural appearance. The definition of different "themes" and calculation of the average angular response for each theme resulted in ARA solutions similar to the mean grain size determined by grab sampling.

3. CONCLUSIONS

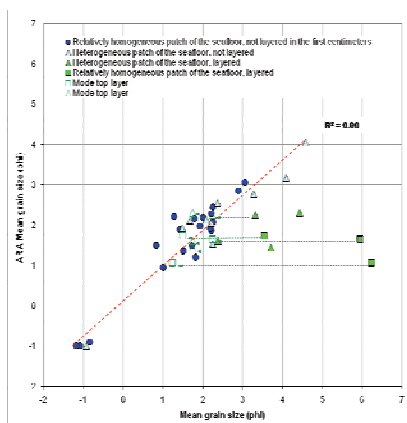


Figure 2 – ARA's predicted mean grain size versus measured mean grain size from sediment grab samples. Samples that did not capture the full range of grain sizes were removed. When the seafloor was heterogeneous within ARA's resolution solutions were obtained using segmentation and definition of themes. When the seafloor was layered the mean grain size of the top layer was approximated by the mode of the top layer. Green arrows connect the mean grain size of a layered sediment to the mode of the top layer.

When the seafloor is: 1) vertically and horizontally homogeneous; 2) horizontally heterogeneous and ARA solutions are calculated in "theme mode"; 3) vertically heterogeneous and the mean grain size is approximated by the mode corresponding to the top sandy layer; ARA solutions are within a maximum range of $\pm 0.9 \Phi$ of the mean grain size determined by ground truth, with an average difference of $\pm 0.4 \Phi$ (1σ) and a coefficient of determination $R^2 = 0.90$ (Figure 2). Angular Range Analysis proved to be an effective remote sensing tool at regional scale in normal mode and at a local scale, when the seafloor is heterogeneous, in "theme" mode. Ground truth may not represent the seafloor's variability and validation of remote sensing measurements must be made with special care.

REFERENCES

- Biot, M. A., 1956, Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid. II. Higher frequency range, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 28, N^o. 2, p. 179-191.
- Biot, M. A., 1962, Generalized theory of acoustic propagation in porous dissipative media, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 44, N^o. 9, p. 1254-1264.
- Folk, R. L. and Ward, W. C., 1957, Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 27, p. 3-26.
- Fonseca, L., and Calder, B., 2005, Geocoder: an efficient backscatter map constructor, Proceedings of the U.S. Hydrographic Conference 2005, San Diego, CA.
- Fonseca, L. and Mayer, L., 2007, Remote estimation of surficial seafloor properties through the application of angular range analysis to multibeam sonar data, Marine Geophysical Researches, Vol.28, N^o. 2, p. 119-126.
- Hamilton, E. L. 1974, Prediction of deep sea properties: state-of-the-art, in: Inderbitzen, A. L. (Ed.), Deep-sea sediments, physical and mechanical properties, Plenum Press, p. 1-43.
- Jackson, D. R., Winebrenner, D. P and Ishimaru, A., 1986, Application of the composite roughness model to high-frequency bottom backscattering, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 79, N^o. 5, p. 1410-1422.
- Jackson, D. R. and Richardson, M. D., 2007, High-frequency seafloor acoustics, Springer, 616 p.
- McMannus, J., 1988, Grain size determination and interpretation, in: Techniques in Sedimentology, Tucker, M. (Ed.), Blackwell, Oxford, p. 63-85.
- Williams, K. L., 2001, An effective density fluid model for acoustic propagation in sediments derived from Biot theory, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 110, No. 5, p. 2276-2281.

Nova descrição do bordo da plataforma continental portuguesa

M. Balsinha (1), A. Rodrigues (1), A. Oliveira (1), C. Fernandes (1), R. Taborda (2)

(1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 49, 1249-093 Lisboa – Portugal.

maria.balsinha@hidrografico.pt, (2) Lattex, IDL, Universidade de Lisboa, Campo Grande 1700 Lisboa – Portugal

maria.balsinha@hidrografico.pt, aurora.rodrigues@hidrografico.pt, anabela.oliveira@hidrografico.pt, santos.fernandes@hidrografico.pt, rtaborda@fc.ul.pt

Resumo: O bordo da plataforma continental é uma unidade morfológica que separa os ambientes de plataforma continental dos da vertente continental. Estudos efectuados sobre a morfologia das margens continentais têm definido que o bordo da plataforma continental se localiza sensivelmente aos 125±5 m de profundidade (Shepard, 1973; Vanney and Stanley, 1983; Dias, 1987, entre outros). Esta posição reflecte o equilíbrio entre os efeitos da actuação de inúmeros factores, tais como geológicos (fornecimento de sedimento, tectónica), oceanográficos, climáticos e eustáticos.

Neste estudo, aplicado à plataforma continental portuguesa, dados existentes e disponíveis pela GEBCO (General Bathymetric Charts of the Oceans), permitiram obter uma perspectiva integrada sobre a fisiografia do bordo. Os resultados obtidos, confirmam a grande heterogeneidade de profundidades a que se encontra esta estrutura e sugerem que a metodologia proposta é adequada para cartografar de forma automática o bordo da plataforma continental, podendo ser estendida ao estudo deste elemento morfológico à escala global.

Palavras-chave: plataforma continental portuguesa, profundidade, distância, factores geológicos, factores oceanográficos.

1. INTRODUÇÃO

O bordo da plataforma é uma das características fisiográficas mais importantes no domínio oceânico, com implicações sobre a dinâmica dos sistemas marinhos, uma vez que marca a transição entre as zonas costeiras, fortemente influenciadas pela proximidade ao continente, e as zonas oceânicas mais profundas.

Na zona costeira, que se estende desde o litoral até à plataforma continental externa, o registo sedimentar é dominado por sedimentos terrígenos, provenientes de fontes continentais (contribuição fluvial ou erosão costeira) ou locais (erosão de formações geológicas de constituição semelhante às encontradas no continente emerso), enquanto que o domínio oceânico mais profundo (taludes continentais, rampas e planícies abissais) é dominado por sedimentação pelágica, embora existam contribuições detríticas (argilas).

Os ambientes de plataforma são fortemente condicionados pelas flutuações do nível do mar. Considerando a magnitude e a escala de tempo das mudanças do nível do mar, dificilmente se encontrarão condições favoráveis para preservar um registo sedimentar continental contínuo desde o Último Máximo Glaciar (UMG). De facto, os períodos de nível do mar mais baixos correspondem à “profundidade” típica do bordo da plataforma, considerada entre 120 - 140 m de profundidade por

vários autores (Shepard, 1973; Vanney and Stanley, 1983; Dias, 1987; Rodrigues, 2004). Durante estes períodos de baixo nível do mar, para além dos processos erosivos de elevada intensidade que aplanaram a plataforma continental em regime sub-aéreo, os sedimentos terrígenos, transportados por linhas de água com elevada capacidade erosiva e de transporte, eram directamente injectados na vertente continental superior, acumulando-se localmente, onde os processos oceanográficos eram mais fracos. No entanto, existem locais onde a profundidade do bordo não pode ser considerada como típica, uma vez que se localiza a profundidades maiores do que o nível correspondente ao Último Máximo Glaciar. Este é o caso do Esporão da Estremadura, onde a quebra de pendor que marca o bordo é identificada sensivelmente aos 400 m de profundidade. Nestes casos particulares, as zonas entre a cota mínima atingida pelo nível do mar, em período glacial e a localização do bordo da plataforma, são de extrema importância para a compreensão da evolução dos sistemas sedimentares à macro-escala temporal, uma vez que existem condições para a preservação do registo sedimentar contínuo a longo prazo. Neste estudo serão abordados os aspectos classificativos do bordo e plataforma continentais do Esporão da Estremadura, no que respeita a sua profundidade e distância à linha de costa.

2. OBJECTIVOS

Este trabalho tem como objectivo desenvolver uma metodologia para a delimitação automática do bordo da plataforma continental e avaliar o comportamento (profundidade e extensão) do bordo continental na margem portuguesa, e de uma forma particular no Esporão da Estremadura. Os resultados serão comparados com os obtidos por outros autores utilizando diferentes métodos, sendo ainda tecidas algumas considerações para explicar como é os factores controladores como a tectónica, ondas, correntes e fornecimento sedimentar que determinam a morfologia, profundidade e extensão do bordo da plataforma continental; e como todas estas evidências se sobrepõem ao facto de termos uma profundidade estimada para todo o globo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A GEBCO (General Bathymetric Charts of the Oceans) disponibiliza uma malha de pontos com uma projecção equidistante cilíndrica. Esta malha disponibilizada em Janeiro de 2009 apresenta uma resolução espacial de 30 segundos de arco e foi gerada pela combinação de dados de profundidades de sondas de navios, interpolados, entre pontos de sondagem orientada por dados gravimétricos, obtidos por satélite. A GEBCO disponibiliza este tipo de dados para todo o mundo, mas neste estudo apenas foram utilizados os dados correspondentes ao território de Portugal Continental. A malha foi visualizada e processada com recurso ao software ArcGIS 9.3 da ESRI. O cálculo do declive do bordo não foi realizada directamente na malha da GEBCO, uma vez que esta se encontra em coordenadas geográficas, e o algoritmo utilizado pelo ArcGIS para calcular o declive apenas funciona com coordenadas projectadas. De forma a minimizar o erro de projecção e a possibilitar o respectivo processamento à escala global, a malha foi exportada para ASCII e processada em Matlab. Para o cálculo do declive utilizou-se um algoritmo idêntico ao implementado pelo ArcGIS mas com aperfeiçoamentos no que respeita às correcções de latitude. Após projecção da malha global em Matlab, esta foi exportada novamente para o ArcGIS e identificada a linha que define o bordo. Depois de ensaiadas diversas alternativas, optou-se pela identificação do bordo da plataforma continental com base num critério de declive, tendo sido utilizado como valor crítico 0.9 graus, por fornecer estimativas que concordam com a delimitação proposta por outros autores (Vanney & Mougénot, 1981; Dias, 1987).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma vez que o estudo que se apresenta se concentra sobre o bordo e na distância à linha de costa, e para

garantir uma melhor visualização de toda a plataforma continental, só foram analisados os dados compreendidos entre os 0 e 500 m de profundidade. A análise espacial dos valores de cotas analisadas mostra que a plataforma apresenta um declive bastante suave inferior a 0.9° excepto na presença de alguns afloramentos (figura 1) (Boyd, 2004). O bordo continental encontra-se bem individualizado, permitindo definir, de norte para sul, e com base na sua morfologia, sectores bem individualizados, separados pelos canhões submarinos do Porto, Aveiro, Nazaré, Lisboa e Setúbal. A profundidade a que se situa o bordo da plataforma continental é bastante variável, oscilando entre os 50 m de profundidade, na zona do canhão submarino da Nazaré (Vanney & Mougénot, 1981), e os 400 m de profundidade, na zona do litoral Alentejano e no Esporão da Estremadura (Figura 3). Segundo Dias (1987), o bordo do Esporão da Estremadura encontra-se bem definido e a profundidades da ordem dos 375m a 390 m de profundidade.

No sector ocidental sul, na costa alentejana, o bordo continental perde significado devido à existência de outra ruptura mais afastada da costa e mais profunda até cerca dos 1600 m de profundidade, conforme constatado inicialmente por Vanney & Mougénot (1981).

Segundo vários autores (Shepard, 1973; Vanney and Stanley, 1983; Dias, 1987, entre outros) a linha que limita o bordo de Portugal continental encontra-se localizada entre os 120 e 140 m de profundidade.

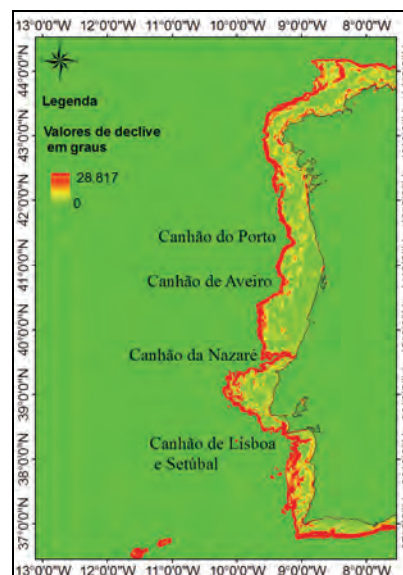


Figura 1 – Mapa de declives da plataforma e vertente continental superior.

Sendo o bordo da plataforma a linha que que marca a ruptura de declive entre a plataforma continental e a vertente continental, constata-se, pela análise da figura 2. Após a identificação da linha do bordo, extraíram-se através desta, os valores de profundidade e distância à linha de costa.

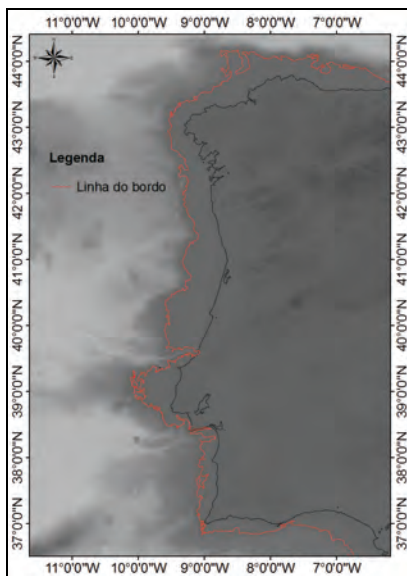


Figura 2 – Linha que materializa o bordo da plataforma continental.

Em toda a margem estudada, as zonas menos profundas correspondem às cabeceiras dos canhões submarinos do Porto, Aveiro, Nazaré, Lisboa, Setúbal, Sagres e Vila Real de Santo António.

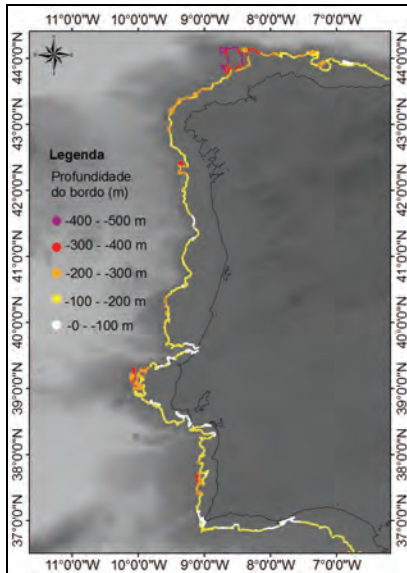


Figura 3 – Mapa de profundidades do bordo da plataforma continental.

No que respeita a distância do bordo continental à linha de costa (figura 4), esta também, mantém um comportamento muito variável e de certa forma análogo ao da profundidade. As distâncias inferiores a 10 km localizam-se nas cabeceiras dos canhões submarinos da Nazaré, Lisboa, Setúbal, Sagres e Vila Real de Santo António e as distâncias máximas, superiores a 50 km, localizam-se na zona do litoral

alentejano, no Esporão da Estremadura e ainda na zona da plataforma entre os canhões submarinos da Nazaré e de Aveiro.

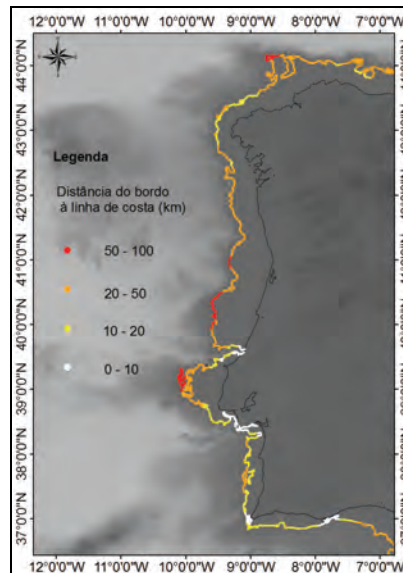


Figura 4 – Mapa de distâncias do bordo à linha de costa.

Uma vez caracterizado o bordo, em termos de profundidade e de distância à linha de costa, procurou-se evidenciar a variação latitudinal destes dois parâmetros (figura 5). Como era esperado, as zonas mais distantes (azul) são caracterizadas por maiores profundidades (vermelho) e vice-versa. Neste gráfico identificam-se também as unidades morfológicas mais importantes existentes na margem continental portuguesa.

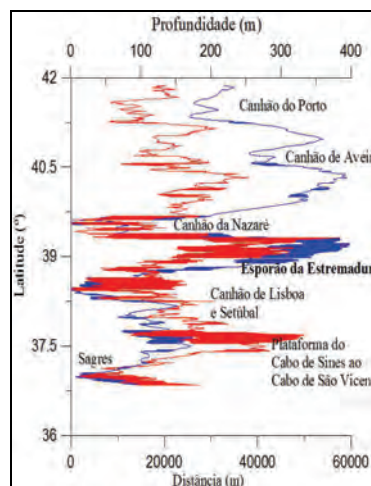


Figura 5 – Gráfico da variação da distância do bordo à linha de costa e da profundidade com a latitude.

De acordo com o histograma da figura 6 é possível verificar que a profundidade mais frequente está compreendida entre os 100 e os 150 m de profundidade, dados que provavelmente sustentavam a cota aceite pela generalidade dos autores que

estudam a morfologia oceânica. No entanto o bordo atinge valores mínimos de cerca de 15 m de profundidade e máximos de -384 m no Esporão da Estremadura, valor máximo verificado por Dias (1987). Atendendo aos valores de distância à linha de costa (figura 7) a extensão média da plataforma compreende-se entre os 10 e 20 km, valores que estão de acordo com Dias (1987) à excepção da zona da plataforma alentejana onde este autor indica que a distancia é de cerca de 90 km.

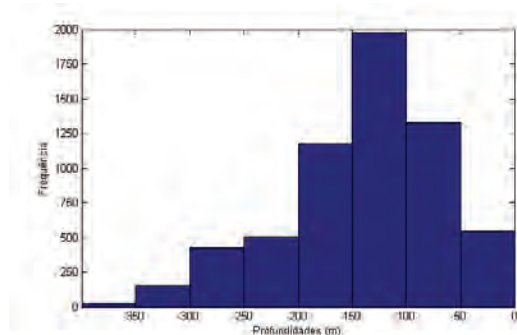


Figura 6 – Histogramas de frequência de profundidades do bordo.

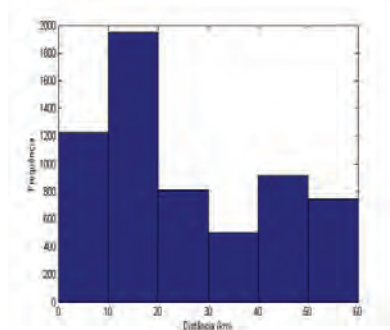


Figura 7 – Histogramas de frequência de distâncias do bordo à linha de costa

5. CONCLUSÕES

Tendo em consideração que o bordo continental é um elemento morfológico com um comportamento bastante irregular, a nível de profundidade e distância à linha de costa, as novas ferramentas de análise espacial de dados e o acesso a um volume de dados progressivamente maior, permitiram constatar que a profundidade média do bordo da plataforma é um parâmetro que perde significado quando analisado a nível regional.

A diversidade observada estará relacionada com factores de geodinâmica interna, tais como a tectónica e a evolução geológica dos diferentes sectores crustais; e os factores externos, dos quais a evolução climática será a que mais interfere com a localização do bordo da plataforma.

Em Portugal continental, os resultados obtidos através da metodologia proposta apontam que o

bordo da plataforma se situe entre os 15 e os 384 m de profundidade.

Os valores mínimos são encontrados nas cabeceiras dos canhões submarinos, fortemente controladas por factores tectónicos ou onde os processos de dinâmica sedimentar são particularmente activos (Duarte, 2000); os valores máximos são observados no Esporão da Estremadura e na margem alentejana, onde a estrutura crustal é particularmente complexa e se estende por mais de 50 km. Nas restantes áreas, existe um equilíbrio evidente entre a edificação de prismas progradantes (construídas pela acumulação de sedimentos terrígenos), a evolução do nível do mar e os processos oceanográficos recentes.

A validação dos resultados obtidos no âmbito deste trabalho sugere que a metodologia proposta para delimitar de forma automática o bordo da plataforma pode ser estendida ao estudo deste elemento morfológico à escala global.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Boyd, R., Ruming, K. and Roberts, J. J. (2004). Geomorphology and surficial sediments of the southeast Australian continental margin, *Australian Journal of Earth Sciences*, 51:5,743-764.
- Dias, J. (1987) - Dinâmica sedimentar e evolução recente da plataforma continental Portuguesa setentrional. Ph.D. thesis, Faculdade de Ciências da Univ. de Lisboa, 384 pp.
- Duarte, J., Dias, J.A. & Taborda, R. (2000). Cabeceira do Canhão da Nazaré: erosão versus sedimentação / Nazare Canyon Head: erosion versus sedimentation. 3º Simpósio sobre a Margem Continental Ibérica Atlântica: 227-228, Faro.
- Lucieer, V. (2005) - Applying discriminate analysis to characterize shallow rocky reef habitat. *International Journal of Remote Sensing*, special issue. Spatial Data Quality International Conference, Beijing China August 2005. pgs 215-219.
- Rodrigues, A. (2001) - Tectono-estratigrafia da plataforma continental setentrional portuguesa. Tese de doutoramento, Univ. de Lisboa, 244pp. (não publicado).
- Shepard, F. (1973) - *Submarine Geology*. Harper & Row Publishers, New York.
- Vanney J.R. and Stanley D.J. (1983) - Shelfbreak physiography: an overview. In: D.J. Stanley and G.T. Moore, Editors, *The Shelfbreak: Critical Interface on Continental Margins Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Spec. Publ. 33*, pp. 1-24.
- Vanney, J. & Mougnot, D. (1981) – La plateforme continentale du Portugal et les provinces adjacentes: Analyse Geomorphologique. *Mem. Serv. Geol. Portugal*, 28: 145 pp.

Caracterização hidrográfica e química de longo termo na região costeira de Benguela

Enoque Canganjo Vasco, Alexandra Cravo e Paulo Relvas
Universidade do Algarve, Faculdade de Ciências e Tecnologia
Campus das Gambelas, 8005-139 Faro
Email: enoquevasco@mail.com

Resumo: Este trabalho descreve a caracterização hidrográfica e química de longo termo (40 anos) na região costeira de Benguela, Estação Fixa do Lobito, iniciada em Fevereiro de 1968. Pretende-se contribuir para o conhecimento da variabilidade de longo termo, sazonal e vertical dos parâmetros analisados (temperatura, salinidade, oxigénio e nutrientes).

Os resultados mostram que a temperatura média de 1968-2007, na camada dos 0 aos 35 m variou entre 19,5 e 25,0 °C, com alternância entre anos quentes e frios. Contudo, registou-se um aumento de 0,05°C/ano. A salinidade foi mais baixa nos anos quentes e mais elevada nos anos frios, que pode dever-se ao facto de ocorrer maior precipitação no Verão, ocorrendo ainda um aumento de 0,005/ano.

As concentrações de nutrientes foram maiores no Inverno (Maio-Setembro), quando o afloramento é mais acentuado, acompanhadas por uma diminuição da oxigenação da água, sob forte influência da Corrente de Benguela nessa época. A análise das imagens de temperatura superficial do mar (SST) e de clorofila *a* corrobora os resultados obtidos.

Palavras-chave: Benguela, Oceanografia, temperatura, salinidade, oxigénio, nutrientes

1. INTRODUÇÃO

Em 1968, deu-se início às observações hidrológicas na Estação Fixa do Lobito, onde se procede às observações diárias de parâmetros físico-químicos. A zona em estudo localiza-se a sul do equador, na costa angolana, Baía de Benguela. A estação fixa situa-se na Baía do Lobito, a cerca de 1 milha náutica da costa, (12,31° S e 13,38° E, na batimétrica dos 40 m de profundidade (Fig.1)). Estão estabelecidas duas grandes estações hidroclimáticas principais (a grande estação quente e grande estação fria) e duas secundárias de pequena duração (pequena estação quente e pequena estação fria) (MEBPA, 1974).

Esta zona é influenciada pela Corrente de Angola, quente e pobre em nutrientes, que tem origem a norte de Angola e se desloca para sul sobre a parte superior da plataforma (Berrit and Dias, 1977; Dias, 1983) e pela Corrente de Benguela, que se desloca em direcção a Norte, fria, rica em nutrientes e de baixa salinidade; que convergem na zona denominada Frente Angola-Benguela (Meeuwis e Lutjeharms, 1990).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Dados usados

Foram usados neste trabalho dados da monitorização contínua de temperatura da água, salinidade, oxigénio, nitratos, nitritos, fosfatos e silicatos da Estação Fixa do Lobito, correspondentes a observações diárias em 5 níveis de profundidade (0, 5, 10, 20 e 35 m), recolhidos entre as 8.00 e 9.30 horas da manhã, nos dias úteis da semana durante os últimos 40 anos (1968-2007).

2.2. Metodologia

Os parâmetros físico-químicos foram obtidos através de recolha de água em garrafas de inversão Nansen onde foram acoplados os termómetros.

A salinidade, o oxigénio dissolvido e os nutrientes, após a colheita de amostras em frascos específicos, foram determinados em laboratório usando salinómetros de indução, oxímetros e métodos espectrofotométricos específicos (descritos em Grasshoff et al., 1983), respectivamente. A percentagem de saturação de oxigénio dissolvido calculou-se através da equação $\%SatO_2 = 100 * O_{2m} / O_{2t}$, em que O_{2m} corresponde à concentração de

oxigénio dissolvido medido e O_{2t} à concentração de oxigénio dissolvido teórico, obtido a partir das Tabelas e Normas Oceanográficas da Unesco (JPOTS).

A razão N:P foi calculada através da razão molar entre a soma de nitratos, nitritos e fosfatos.

As imagens de satélite da temperatura superficial do mar (SST) e de clorofila a foram obtidos através dos sites <http://poet.jpl.nasa.gov/tmp/232561.txt> e <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>, respectivamente.

3. RESULTADOS

3.1. Variabilidade temporal de longo termo dos parâmetros físico-químicos

Temperatura e Salinidade

A temperatura média de longo termo, período de 1968-2007, na camada dos 0-35 m variou entre 19,5-25,0 °C.

A temperatura máxima à superfície variou entre 21,5 e 27,0°C e a mínima aos 35 m entre 18 e 25°C, verificando-se uma alternância entre anos quentes e anos frios. A tendência de longo termo mostra um aumento médio de ~0,05 °C/ano (Fig. 2a). A salinidade foi mais baixa nos anos quentes e mais elevada nos anos frios, variando na camada 0-35m entre 35,3 e 35,9. A salinidade mínima à superfície foi de 34,8-35,2 e a máxima aos 35 m entre 35,5 e 36,0. Globalmente na coluna de água, registou-se um aumento de 0,005/ano.

Oxigénio Dissolvido

As concentrações de oxigénio dissolvido foram superiores à superfície, variando entre 4,0 e 6,5 ml/L e, entre 1,3 e 2,5 ml/L aos 35 m. Na coluna de água (0-35 m) variaram entre 2,5-4,6 ml/L, registando uma média global de 3,7 ml/L e um aumento de longo termo de 0,04 ml/L/ano. As médias anuais da percentagem de saturação, mostram valores à superfície de 80-130%, e bastante mais baixos no fundo (35 m), correspondendo a mínimos de 25%. Globalmente na coluna de água, os valores variaram entre 50 e 72%.

Nitratos + Nitritos ($NO_2^- + NO_3^-$), Fosfatos (PO_4^{3-}) e Silicatos (SiO_4^{4-})

Nos anos de 1987 e 1995, considerados quentes, registaram-se concentrações relativamente altas de $NO_2^- + NO_3^-$ (8,2 e 8,6 $\mu\text{mol l}^{-1}$) enquanto em 1989, considerado um dos anos mais frios, registou-se a concentração média máxima (12 $\mu\text{mol l}^{-1}$).

A distribuição de longo termo de PO_4^{3-} na coluna de água variou entre 0,5 e 3 $\mu\text{mol l}^{-1}$, mostrando um aumento global de 0,04 $\mu\text{mol l}^{-1}$ /ano. O SiO_4^{4-}

variou à semelhança dos PO_4^{3-} com médias entre 3,5-9 $\mu\text{mol l}^{-1}$.

3.2. Variabilidade sazonal e vertical dos parâmetros físico-químicos

Temperatura e Salinidade

A temperatura foi mais elevada à superfície no período de Fevereiro-Maio, com o máximo em Março (26,6°C) e mais baixa aos 35 m de Julho-Setembro, com o mínimo em Agosto (16,3°C). A salinidade foi máxima aos 35 m de Maio-Setembro (35,7) e mínima à superfície entre Fevereiro-Abril (34,8). A variação sazonal e vertical da salinidade e da temperatura mostra as duas grandes estações anuais bem marcadas.

Oxigénio

As concentrações máximas e mínimas do oxigénio dissolvido e percentagem de saturação (5,2 e 1,2 ml; 100 e 25%, respectivamente) variaram com o mesmo padrão da temperatura, com maiores valores entre a superfície e os 10 m de profundidade e os mínimos no fundo.

Nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-), Fosfatos (PO_4^{3-}) e Silicatos (SiO_4^{4-})

Para os três nutrientes, observaram-se padrões de variação semelhantes, sempre com os mínimos à superfície entre Fevereiro-Maio e os máximos aos 35 m entre Julho-Setembro. Os nitratos foram máximos entre 15-17 $\mu\text{mol l}^{-1}$ e mínimos entre 1-2 $\mu\text{mol l}^{-1}$ (Fig. 2b). Os fosfatos foram máximos entre 1,5-2 $\mu\text{mol l}^{-1}$ e mínimos entre 0,3-0,8 $\mu\text{mol l}^{-1}$. Os SiO_4^{4-} foram máximos entre 10 -12 $\mu\text{mol l}^{-1}$ e mínimos entre 4-6 $\mu\text{mol l}^{-1}$.

4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Variação de longo termo

- A temperatura, salinidade, oxigénio e fosfatos aumentaram no tempo, como se viu pelas tendências positivas, o que pode indiciar uma resposta às alterações globais.
- Os anos mais quentes, 1968, 1984, 2005 e 2007, foram referenciados como anos em que se registou o fenómeno El Niño de Benguela, semelhante ao El Niño do Pacífico.
- As concentrações dos nutrientes evidenciam a influência da Corrente Quente de Angola (menores concentrações) e da Corrente Fria de Benguela (maiores concentrações).

Variação sazonal e vertical

- São evidentes as estações principais e secundárias, também confirmadas pela análise das anomalias dos parâmetros analisados.
- A variação sazonal dos nutrientes nesta zona é semelhante à de zonas temperadas, com aumentos devido ao afloramento costeiro no Inverno (Grande Estação Fria) e diminuição no Verão (Grande Estação Quente).
- A concentração de nutrientes pode resultar ainda de uma eventual influência de águas relativamente ricas em nutrientes e pobres em oxigénio do “Dome” de Angola.
- Existe acentuada variação vertical dos parâmetros físicos ao longo da coluna de água e ao longo do ano.
- O oxigénio apresenta concentrações relativamente maiores na Estação Quente e Pequena Estação Quente, com maiores concentrações entre a superfície e os 10 m de profundidade, apesar das baixas concentrações no fundo.
- O aumento dos nutrientes no Inverno, acompanhado de um aumento de salinidade (Maio a Setembro), Figs. 2c-d, associado ao afloramento de água de níveis mais profundos para a camada superficial pode provocar a desoxigenação da coluna de água (Fig. 2e) e influenciar a sazonalidade e abundância dos recursos pesqueiros. Contudo, após o afloramento, irá ocorrer um aumento de fitoplâncton na camada mais superficial (até ~10 m, bem iluminada) que à posteriori vai aumentar a concentração de oxigénio nestes níveis. Esta zona, é conhecida por ser de elevada produtividade biológica.

Homenagem

Especial tributo ao saudoso Eng^o Carlos Martinez Afonso Dias, Investigador dedicado à Oceanografia das Pescas iniciada no Centro do Ultramar em 1957/1967 em diversas campanhas em Timor, Cabo Verde e Angola e ainda em 1967 quando partiu para Angola para criar a Estação Fixa do Lobito e chefiar a Missão de Estudos Bioceanológicos onde permaneceu até 1981, a quem este trabalho deve o mérito e razão de ser.

Bem haja.

Agradecimentos

À Direcção Geral do INIP, à Direcção Técnica, Director do Centro Regional de Benguela e a todos colegas, pelo apoio, encorajamento, recolha de dados e ajuda que directa e indirectamente prestaram.

Aos professores Doutores Pedro de Barros, Manuel Afonso Dias e José Jacob por terem tornado realidade a concretização da frequência ao curso.

À Ana Besugo e Evandro Lopes, pela prestimosa ajuda na informatização de dados.

BIBLIOGRAFIA

- Berrit, G. R. e Dias, C. A. (1977). Hidroclimatologia das regiões costeiras de Angola. *Cah. O. R. S. T. O. M., Ser. Oceanogr.*, Vol. XI, nº2.
- Dias, C. A. (1983). Preliminary report on the physical oceanography off southern Angola, March and July 1971. *Collect. Sci. Pap. Int. Comm. Southeast. Atl. Fish.*, 10: 103-116.
- Grasshoff, K., Erhardt, M., Kremling, K. (1983). *Methods of Seawater Analysis*. Verlag Chemie, New York, 419 pp.
- MEBPA (1974). Relatório anual de 1973, 1-12.
- Meeuwis, J.M. and Lutjeharms, J.R.E. (1990). Surface thermal characteristics of the Angola-Benguela front. *South African Journal of Marine Science*, 9, 261-279.

FIGURAS

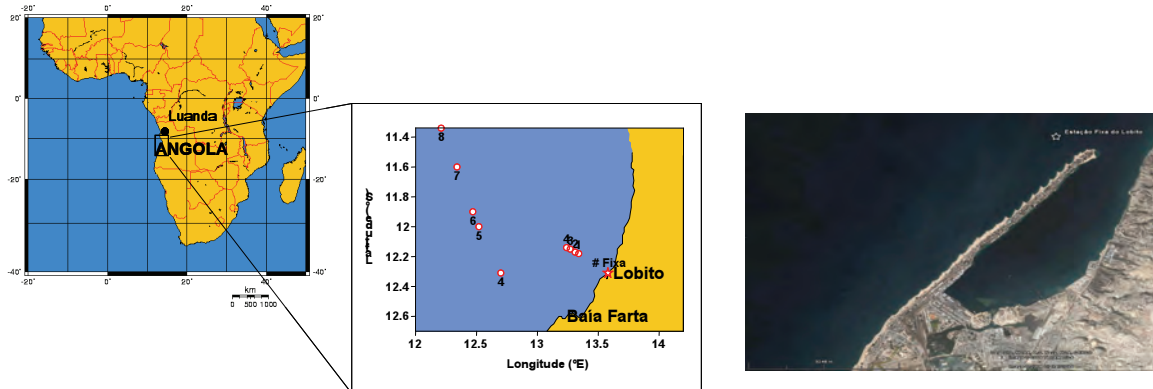


Fig. 1. Região Costeira de Benguela. Localização da Estação Fixa do Lobito

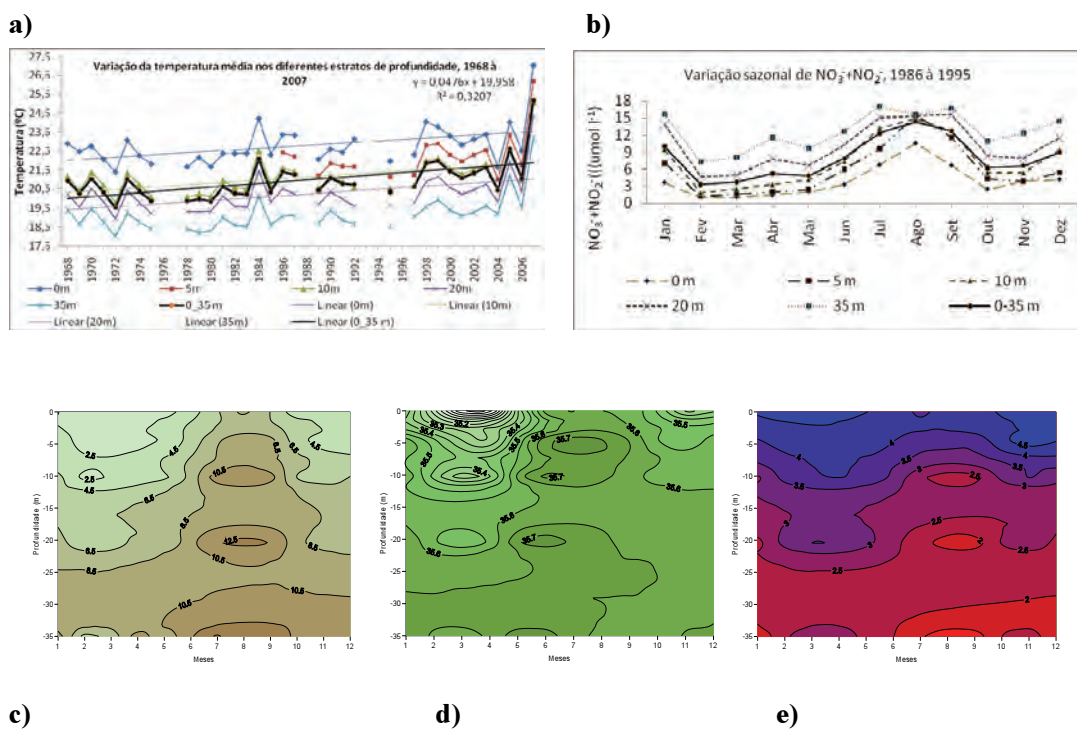


Fig. 2. Variação de longo termo da temperatura (a), variação sazonal de $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ (b), distribuição vertical ao longo do tempo de nitratos (c), salinidade (d) e oxigénio dissolvido (e).

Impacto de Operações de Dragagem no Meio Marinho: Caso de Estudo

João Canário, Carlos Vale, Cristina Micaelo, Marta Nogueira, Rute Cesário

IPIMAR/INRB IP, Av. Brasília, 1449-006 Lisboa, Portugal. jcanario@ipimar.pt

Resumo: Com vista ao estudo do impacto ambiental na qualidade da água e dos recursos vivos decorrentes de operações de dragagem e imersão de sedimentos contaminados foi elaborado um plano de monitorização para o local de dragagem no Estuário do Sado e outro para o local de imersão na zona costeira adjacente.

Foram efectuadas colheitas de água e matéria em suspensão e analisados os teores totais de As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn e tPAH. Os mesmos parâmetros foram analisados em espécies nativas capturadas no local de imersão. Os resultados apontaram para um incremento significativo das concentrações de cádmio, chumbo e zinco na fracção dissolvida, de todos os contaminantes na fracção particulada e na parte edível dos mexilhões transplantados. As concentrações dos contaminantes analisados no local de imersão foram superiores às da zona costeira adjacente tendo esse incremento sido igualmente observado nos níveis de tPAH em algumas espécies capturadas

Palavras chave: Dragagens, contaminantes, impactos ambientais, coluna de água, recursos vivos

1. INTRODUÇÃO

O transporte de contaminantes associado aos sedimentos está relacionado com as transformações biogeoquímicas a que as partículas estão sujeitas, mobilidade das formas solúveis dos contaminantes, bioturbação causada pelos organismos, e ressuspensão dos sedimentos de fundo causada pelas correntes induzidas pelo vento e pelas marés (Calmano et al., 1994). Para além disso, as operações de dragagem nas zonas portuárias e canais de navegação mobilizam grandes quantidades de contaminantes que, em particular durante a deposição dos dragados, podem rapidamente passar para a coluna de água tornando-os eventualmente disponíveis para os organismos pelágicos e bentónicos na zona de imersão (Caetano et al., 2003).

Este trabalho ilustra as alterações da qualidade de água nos locais de dragagem e de imersão dos dragados. Compara-se, ainda, o aumento da disponibilidade de contaminantes com os níveis acumulados na biota.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Amostragem

2.1a Local das dragagens. Foram efectuadas duas campanhas de amostragem, antes e dois dias após o início das operações de dragagem. As colheitas de água no local das dragagens foram efectuadas em 4 locais em baixa-mar, preia-mar, à superfície e no fundo. As amostras foram recolhidas com garrafas de Niskin, colocadas em recipientes descontaminados, e imediatamente filtradas.

2.1b Local de imersão.

Foi efectuada a caracterização química da água e matéria particulada em suspensão à superfície e junto ao fundo, antes e duas semanas após a imersão dos dragados. Paralelamente, foram realizadas duas campanhas de pesca para captura das espécies da zona. As amostras de água foram processadas da mesma forma que no local das dragagens. Foi retirado o músculo dos peixes amostrados e formadas amostras compostas por classes de comprimento

2.2 Metodologias analíticas

2.2.a Medição de temperatura, pH, sólidos totais em suspensão, oxigénio dissolvido.

Estes parâmetros foram medidos *in situ* com uma sonda multi-paramétrica *Yellow Spring Instruments*, previamente calibrada em laboratório. A quantificação do oxigénio dissolvido foi efectuada pelo método de Winkler e expressa em percentagem de saturação de oxigénio.

2.2.b Determinação de carbono orgânico particulado.

O carbono orgânico (diferença entre o carbono total e inorgânico) foi determinado nas partículas retidas em filtros GF/F através de um autoanalisador CHN de marca FISSONS NA 1500.

2.2.c Determinação de hidrocarbonetos totais.

As amostras de água foram sujeitas a uma extracção líquido-líquido com diclorometano e o extracto analisado por fluorescência na região do ultravioleta com 310 nm de comprimento de onda de excitação e 375 nm de emissão.

2.2.d Determinação de metais na fracção dissolvida.

As amostras de água foram colocadas em frascos

HDPE e imersa uma unidade DGT (Diffusive Gradients in Thin films) durante 24 horas a temperatura e velocidade de agitação constante (Davison *et al.*, 2000). Posteriormente a resina foi eluída numa solução de HNO₃ e determinado o teor de metais por ICP-MS. Para as determinações de Hg as amostras de água foram filtradas através de membranas de acetato de celulose com 0.45 µm de porosidade. O Hg na solução filtrada será quantificado pelo método EPA1631.

2.2.e Determinação de PAH na água.

Para a determinação de PAH na fracção dissolvida, 1 litro de água foi filtrado através de discos BAKERBOND Speedisk H₂O-Phobic DVB. Posteriormente os PAH foram eluídos com acetona e n-hexano. Os extractos finalmente concentrados em corrente fraca de azoto até um volume final de 0,5 ml e os PAH analisados por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massa (GC-MS). Foram determinados por esta técnica dezasseis compostos: acenaftileno (ANY), acenafteno (ANA), fluoreno (F), fenantreno (Phe), antraceno (Ant), fluoranteno (Flu), pireno (Pyr), benzo[α]antraceno (BaA), criseno (Chr), benzo[β]fluoranteno (BbF), benzo[k]fluoranteno (BkF), benzo(e)pireno (BeP), benzo[α]pireno (BaP), indeno[1,2,3-cd]pireno (In), dibenzo[α,h]antraceno (DBA) e benzo[ghi]perileno (BPE). A quantificação foi efectuada através do método do padrão interno e de rectas de calibração com pelo menos nove concentrações dessa solução padrão e os resultados fornecidos na forma de tPAH (soma da concentração de todos os compostos).

2.2.f Determinação de contaminantes em organismos.

Cerca de 200 mg de amostra liofilizada foram digeridas com ácido nítrico e água oxigenada segundo o método descrito por Ferreira *et al.* (1990). As concentrações de As, Cu, Cd, Zn e Pb foram determinadas por ICP-MS. A concentração de Hg foi determinada directamente nas amostras liofilizadas por espectrometria de absorção atómica através de um analisador de mercúrio da LECO, modelo AMA 254 Mercury Analyser. Os métodos de determinação da concentração de metais foram interpolação na curva de calibração e adição padrão. Para a determinação dos PAH em organismos, as amostras foram extraídas em ASE-200 (Dionex) com uma mistura de hexano/acetona (1:1). Os extractos depois de purificados com uma coluna de sílica/alumina (1:1) foram injectados no GC-MS segundo a técnica acima descrita.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Local das dragagens

3.1.a Parâmetros físico-químicos.

Os valores de salinidade, temperatura e oxigénio dissolvido não variaram significativamente entre as

duas campanhas de amostragem (testes não-paramétricos Mann-Whitney e Kruskal-Wallis). Observou-se, ainda, um ligeiro decréscimo de pH e um incremento da concentração de sólidos totais em suspensão na amostragem realizada dois dias após o início das dragagens. A clorofila *a* (Chl *a*) apresentou um decréscimo significativo ($p < 0.05$), eventualmente devido à menor penetração de luz na coluna de água devido ao aumento da turbidez.

3.1.b Contaminantes na coluna de água.

A figura 1 compara as concentrações dos contaminantes na fracção particulada e dissolvida no local das dragagens, antes e dois dias após o início das operações. Na fracção dissolvida observaram-se aumentos significativos ($p < 0.05$) dos níveis de chumbo, cádmio e zinco, um decréscimo acentuado de mercúrio e cobre, e ausência de variação significativa das concentrações de PAH. Pelo contrário, foram observados incrementos nas concentrações de todos os contaminantes analisados na fracção particulada, embora apenas de forma significativa para o arsénio, cobre, chumbo e zinco. Estes resultados apontam para a ressuspensão dos sedimentos dragados ou a formação de novas partículas incorporando os metais transferidos para a fracção dissolvida.

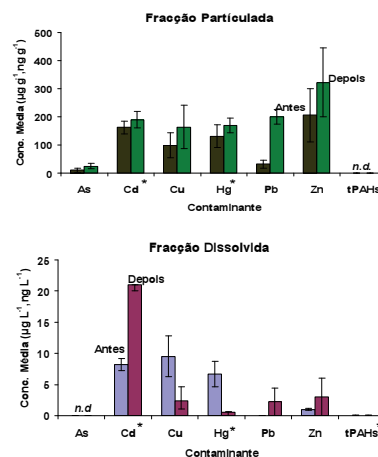


Fig. 1. Comparação da concentração de contaminantes nas fracções particulada e dissolvida, antes e dois dias após o início das operações de dragagem.

3.2 Local de Imersão de Dragados

3.2.a Contaminantes na coluna de água.

A Figura 2 compara as concentrações dos contaminantes na fracção particulada e dissolvida à superfície e ao fundo antes e 15 dias após a imersão dos dragados. Apresenta-se, a título ilustrativo, o exemplo do cádmio. Os resultados mostram que após a imersão dos dragados, houve um aumento generalizado da contaminação nesta fracção. O incremento foi mais acentuado junto ao fundo, sugerindo a presença de partículas resultantes da

imersão dos dragados. Pelo contrário, não se registou um incremento da contaminação na fracção dissolvida, à excepção do chumbo junto ao fundo. Estes resultados podem ser explicados pela adsorção dos contaminantes às partículas em suspensão que aumentaram aquando da imersão dos dragados, diminuindo consequentemente os seus teores em solução. O incremento dos contaminantes na fracção particulada está em consonância com esta hipótese. A adsorção de metais nestas condições, associada à adsorção as alumino-silicatos e ao carbono orgânico particulado, encontra-se largamente descrita na literatura (Caçador, et al., 2004; Vale, 1986).

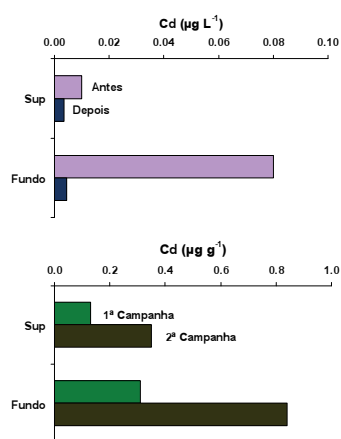


Fig. 2. Concentração de cádmio dissolvido e particulado antes e 15 dias após a imersão dos dragados

3.2.b Contaminantes em organismos.

Na campanha de pesca realizada antes da imersão dos dragados foram capturados indivíduos de 20 espécies, enquanto que após a imersão apenas nove espécies. Foram apenas analisadas as espécies capturadas em ambas as campanhas e pertencentes às mesmas classes de comprimento. As espécies analisadas foram, por isso, *Raja miraletus*, *Seyllorhinus caniculla*, *Scorpaena porcus*, *Microchirus variegatus*, *Serranus cabrilla* e *Lepidotrigla cavillon*. Os resultados obtidos mostraram teores elevados de arsénio e mercúrio em algumas espécies, não havendo aparentemente relação com a imersão dos dragados. À excepção dos PAH, que aumentaram ligeiramente em todas as espécies capturadas após a imersão (Figura 3), não foi registado um padrão para os restantes contaminantes. A ausência de acumulações adicionais no músculo pode resultar das pequenas migrações das espécies, não estando, portanto, permanentemente expostas ao incremento dos contaminantes no local de imersão.

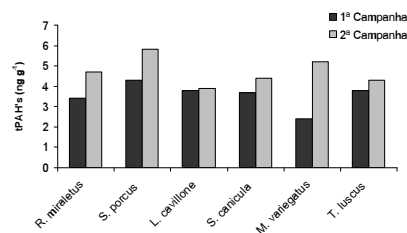


Fig. 3. Variação da concentração de tPAH nas espécies capturadas no local de imersão dos dragados

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo apontam para incrementos nos teores de contaminantes, em particular na fracção particulada em suspensão nos locais de dragagem e de imersão. A análise de músculo das espécies na zona de imersão, algumas sendo não sedentárias, não apresentaram aumentos significativos.

REFERÊNCIAS

- Caçador, I., Costa, A.L., Vale, C., 2004. Carbon-storage in salt-marsh sediment. *Water, Air and Soil Pollution*, 4, 701-714.
- Caetano, M., Madureira, M.J., Vale, C., 2003. Metal remobilization during resuspension of anoxic contaminated sediment: short-term laboratory study. *Water Air and Soil Pollution*, 143, 23-40.
- Calmano, W., Forstner, U., Hong, J., 1994. Mobilization and scavenging of heavy metals following resuspension of anoxic sediments from the Elbe River. Em: C. Alpers e D. Blowes (Eds), *Environmental Geochemistry of Sulphide Oxidation*, American Chemical Society, pp.298-321.
- Davison, W. G. Fones, M. Harper, P. Teasdale e H. Zhang, 2000. Dialysis, DET and DGT: in situ diffusional techniques for studying water, sediments and soils Em: J. Buffle e G. Horvai (Eds), *In Situ Monitoring of Aquatic Systems: Chemical Analysis and Speciation*, John Wiley & Sons, Ltd.
- EPA 1631. Mercury in Water by Oxidation, Purge and Trap, and Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry. EPA1631, 1-46.
- Ferreira, A, C. Cortesão, O. Castro e C. Vale, 1990. Accumulation of metals and organochlorines in tissues of the oyster *Crassostrea angulata* from the Sado estuary. *Science Total Environment*, 97/98, 627-639.
- Vale, C., 1986. Distribuição de metais e material particulada em suspensão no sistema estuarino do Tejo. Dissertação apresentada para para as provas de acesso a Investigador Auxiliar. INIP, Lisboa, 183 pp.

Heavy minerals from Porto, Aveiro and Nazaré canyon head areas

J. Cascalho (1), M. Ribeiro (2), J. Pombo (2), A. Rodrigues (2), R. Taborda (3), C. Guerreiro (2)

(1) Centro de Geologia. Faculdade de Ciências. Universidade de Lisboa, 1749-016 Lisboa e Museu Nacional de História Natural da Universidade de Lisboa 1250-102 Lisboa. jpcascalho@fc.ul.pt

(2) Instituto Hidrográfico. Rua das Trinas, 49, 1249-093 Lisboa

(3) FCUL, LATTEX, IDL. Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016

Abstract: The heavy mineral suite identified in 101 samples collected from the adjacent areas of Porto, Aveiro and Nazaré submarine canyons are related with the sedimentary processes affecting the western Portuguese margin. On the two most northern areas (Porto and Aveiro canyon heads areas) two main assemblages were identified which can be linked with two different main sources. One of them has a distal source and corresponds to the igneous and metamorphic rocks of the old Iberian Massif that outcrop on the northern Portuguese river basins. The other assemblage has a local source and may be linked with the likely presence of local igneous basic rocks close to the Porto and Aveiro canyon head areas. On the Nazaré canyon head area, the local particle selecting sorting process explain the heavy mineral suite with some extreme high, or low frequencies, of some heavy minerals.

Key words: heavy minerals, provenance, submarine canyons

Resumo: O cortejo de minerais pesados identificado em 101 amostras colhidas nas áreas adjacentes aos canhões submarinos do Porto, Aveiro e Nazaré reflecte os processos sedimentares da margem continental ocidental portuguesa. Nas duas áreas mais setentrionais (Porto e Aveiro) foram identificados dois cortejos mineralógicos distintos que podem estar relacionados com a existência de duas proveniências distintas. Uma, de característica regional e longínqua, relacionada com as rochas ígneas e metamórficas do soco antigo que se encontram presentes nas bacias hidrográficas dos rios setentrionais portugueses e outra, de característica local, relacionada com a possível existência de rochas ígneas básicas nas imediações das cabeceiras dos canhões do Porto e Aveiro. Na área mais meridional (Nazaré), os processos hidrodinâmicos de selecção das partículas minerais explicam os cortejos mineralógicos padrão que regista, em determinados locais, variações extremas na proporção relativa de alguns minerais pesados

Palavras chave: minerais pesados, proveniência, canhões submarinos

1. INTRODUCTION AND OBJECTIVES

Sand heavy minerals are very often used as sediment provenance indicators both in continental and marine environments because they are characteristic of specific source rocks. However, during the sedimentary cycle, source weathering, particle transit and post depositional phases can imprint deep changes on the original mineral suites yielded from the source rocks (Morton and Hallsworth, 1999). The present work is based on the analysis of the heavy mineral content on a set of about 100 samples, collected from 3 distinct canyon head areas of the northern Portuguese continental margin – Porto, Aveiro and Nazaré (figure 1) - to achieve de following objectives:

- Identification of the transparent heavy mineral content from Porto, Aveiro and Nazaré canyon head surrounding areas;
- Interpretation of the heavy mineral provenance (discrimination of the main sources) considering the mineral frequency, the prevailing supplier and distribution processes in the three distinct sectors.

2. METHODS

A total of 101 samples were analysed from which 30 were collected from Porto, 35 from Aveiro and 36 from Nazaré canyon head surrounding areas (figure 1). Porto and Aveiro samples were collected during several cruises between 1988 and 1993, using Smith-McIntyre grab on board oceanographic vessels (*Almeida Carvalho*, *Andrómeda* and *Auriga*) within the scope of the Portuguese Instituto Hidrográfico SEPLAT programme and DISEPLA II project. The Nazaré samples were collected with a Smith-McIntyre grab on board hydrographic vessel *Auriga* in the scope of the *Hotspot Ecosystem Research on the Margins of European Seas (HERMES)* project, during July of 2005, and on board oceanographic vessel *NRP D. Carlos I* in the scope of the *Sedimentary Conduits of the West-Iberian Margin (DEEPCO)* project, during October of 2006. All the samples were first washed using hydrogen peroxide and distilled water in order to eliminate organic matter and marine salts. These samples were wet sieved using the 2 and 0.063 mm sieves. The sand fraction was oven dried and sieved to obtain five principal grain-size classes: very

coarse, coarse, medium, fine and very fine sand. Heavy minerals were separated using bromoform (CHBr_3) or sodium polytungstate ($\text{Na}_6(\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40})$) and then mounted in Canada balsam on glass slides using the medium (0.5 – 0.25 mm), fine (0.25 – 0.125 mm) and very fine (0.125 – 0.063 mm) sand fractions. The required amount of grains for each slide was obtained using a micro-splitter. In average over than 300 heavy minerals per slide were identified and counted under the petrographic microscope in each sand fraction according to the ribbon method (Galehouse, 1971 *in*: Mange and Maurer, 1992).

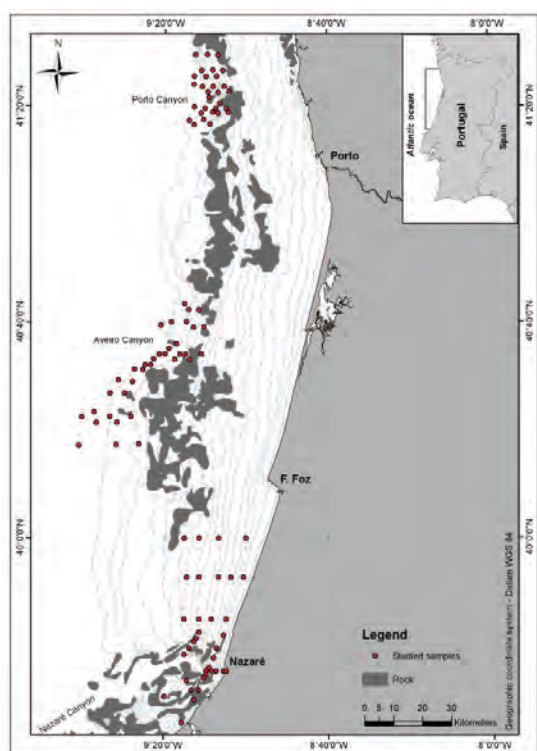


Fig. 1. Samples location (red dots) in the bathymetric map (bathymetric interval of 10m until 200m curve, and 200m after that depth). Gray areas correspond to hard rock outcrops.

3. RESULTS

The translucent minerals mean frequencies in each canyon head area denote the existence of a heavy mineral suite composed by 19 different minerals: tourmaline (TOU), andalusite (AND), staurolite (ST), garnet (GA), mica (MI), amphibole (AM), zircon (ZI), apatite (APA), monazite (MO), kyanite (KY), silimanite (SI), rutile (RU), epidote (EP), anatase (ANA), sphene (SP), brookite (BRO), clinopyroxene (CPX), orthopyroxene (OPX) and olivine (OL). Each one of the 3 canyon head areas seems to have a specific mineral signature regarding to the heavy mineral content and considering the median frequency and percentile 25-75 %.

Porto area is characterized in decrease order of frequency by AND, TOU, GA, AM, ST, MI, ZI, APA, CPX and OPX; Aveiro area contains as most representative minerals by decrease order of frequency: AM, GA, AND, TOU, CPX, OPX, ST, OL, ZI and MI and, finally, Nazaré area is characterized, in decrease order of frequency, by MI, AND, TOU, AM, GA, ST and ZI (figure 2).

4. DISCUSSION

The heavy minerals identified in the heads of the three studied canyons reveal the effect of both distinct sources (distal/regional and proximal/local) and weathering processes, which contribute to particle selective sorting and also the post-depositional solution phenomena responsible for the elimination of the less stable species (Morton and Hallsworth, 1999). In what concerns particle hydraulic sorting, the relevant presence of APA, detected only in Porto area, must be highlighted since it denotes the hypothetical influence of the northern Portuguese river basins as an important source (distal/regional source). In another way, the higher frequency of CPX, OPX and OL in Aveiro area give emphasis to the importance of an igneous basic rock as a proximal/local source. Finally, in the Nazaré area the main heavy mineral spectrum dominated by MI denotes the importance of dynamic processes and the influence of the hydraulic sorting processes in masking the original provenance signal. Electron microprobe analyses performed on several pyroxene, olivine and amphibole grains confirmed the presence of diopside, augite and enstatite (pyroxenes), forsterite (olivine) and magnesium hornblende (amphibole). These minerals, exclusively presented in the Porto and Aveiro canyon heads, represent the proximal/local source. The chemical composition of the pyroxenes and olivines analysed is very uniform which can be indicative of a homogenous igneous basic source for these minerals. Regarding to amphiboles, the 10 grains of magnesium hornblende identified may have also a source compatible with the referred igneous basic rocks (Mange and Maurer, 1992). The common presence of angular and/or euhedral grains of these minerals supports the hypothesis of little or inexistent transport *priori* to their sedimentation of these particles. For example, the presence of euhedral olivine grains on unconsolidated sediments can be considered an uncommon occurrence since this mineral is an exceptionally scarce detrital phase in sandstones, despite its abundance in basic and ultrabasic igneous rocks (Morton and Hallsworth, 2007). Besides, the well cleaved minerals, such as the pyroxenes and amphiboles - having two well-developed sets of cleavage plans that parallel the *c*-axis, are especially vulnerable during long residing times on the sedimentary cycle and do not resist to a

long transport path (Bateman and Catt, 2007). So, the Porto and Aveiro canyon head areas must contain an igneous basic proximal/local source responsible for the expressive representation of the heavy mineral suite CPX, OPX, OL and magnesium hornblende. The hypothetical presence of an igneous basic source was only detected near Porto canyon head with the reference to a morphological feature that can be recognised as a dyque, probably related with intrusive igneous activity (Rodrigues *et al.*, 1995). The Nazaré area contains a specific dominant heavy mineral assemblage characterized by the high mean frequency of MI (with a median frequency of about 50 %) followed at a considerable distance by AND (12 %), AM (12 %) and TOU (11 %) and other translucent heavy minerals that have very low median frequencies (figure 2). These results show the influence of the hydraulic sorting processes and are also a consequence of the Nazaré canyon head particular morphology and location in the context of the west Portuguese margin. The high frequency of MI followed by the other main minerals (AND, AM and TOU) resembles much of the Portuguese northern river heavy mineral suite (Cascalho and Fradique, 2007) and, consequentially, this supports the hypothesis that the major part of these minerals have distal/regional sources located elsewhere on these river basins. Besides, a more detailed analysis of the heavy mineral content of this area is indicative of extreme differences on the relative proportion of the most frequent minerals according to the samples location. For example, the mineral assemblage found on sediments from Nazaré canyon upper head valleys reveal high median frequencies of MI and AM which represent together almost 90 % of the mineral translucent spectrum. On inner shelf to the north of the canyon head the presence of MI and AM is still dominant representing almost 70 % of the entire transparent mineral spectrum. In another way the middle shelf sediments to the north of the Nazaré canyon head contain a mineral assemblage dominated by TOU and AND representing together about 60 % of the translucent mineral spectrum and where the denser transparent species are also well represented (GA and ZI with about 15 %). These contrasting heavy mineral suites are certainly the consequence of the complex interplay between supplier and distributor processes acting on this specific shelf area. In Nazaré area the “canyon heavy mineral suite” is very likely the result of a long hydraulic sorting process that implies also a long transport path since the distal source (northern Portuguese river basins) until the depocenters of this canyon head area.

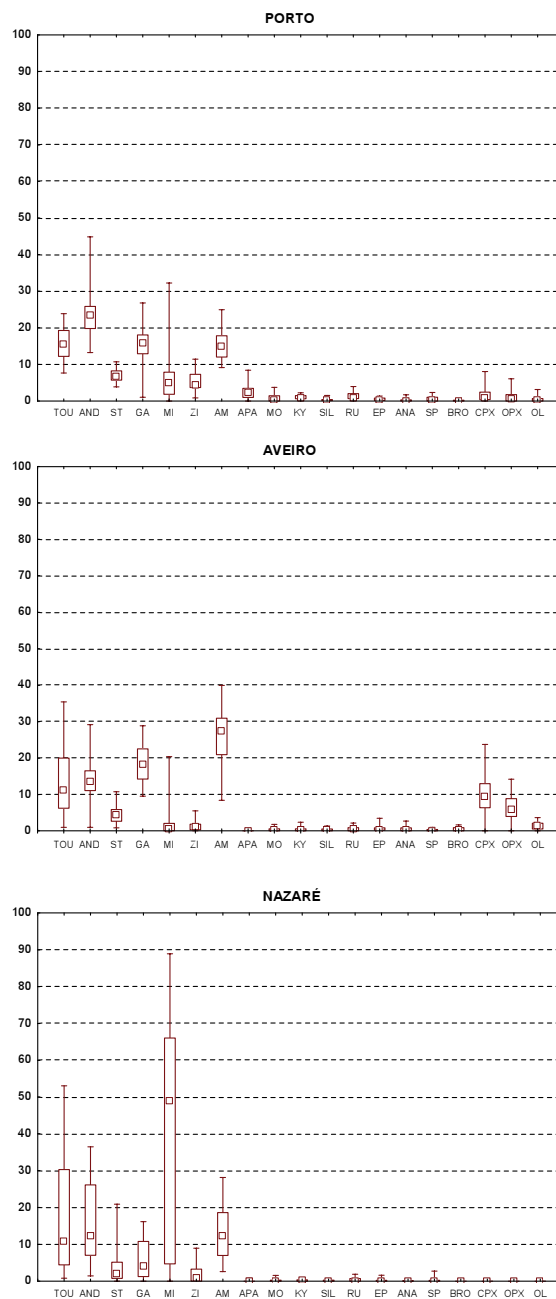


Fig. 2. Median, percentile 25-75, maximum and minimum of each transparent heavy mineral frequency (in %)

5. CONCLUSIONS

The translucent heavy minerals identified on 101 samples provide a very useful knowledge in order to a better understanding of the sedimentary processes operating in Porto, Aveiro and Nazaré canyon upper head areas. In the two most northern areas (Porto and Aveiro) two distinct mineral assemblages can be defined according to the source. A main heavy mineral assemblage represented by all the most frequent minerals compatible with a distal/regional source – the igneous and metamorphic rocks from

the northern Portuguese major river basins. A subordinate heavy mineral assemblage, represented by the pyroxenes, olivines and Mg-hornblende, compatible with a proximal/local source – basic igneous rocks, probably outcropping elsewhere on the Porto and Aveiro canyon heads vicinity. The influence of this local source seems to be, by far, more intense on Aveiro than on Porto area which can be a consequence of these canyon heads location relatively to the principal river mouths. The most southern area (Nazaré) is characterized by a dominant heavy mineral assemblage indicative of a distal/regional source - the igneous and metamorphic rocks from the northern Portuguese major river basins. The effect of the particle hydraulic sorting seems to be most effective on Nazaré area where the existence of some samples with a heavy mineral assemblage very rich on mica and amphibole is a consequence of an efficient particle selective entrainment and transport. These results show major differences regarding canyon head activity: while at Nazaré canyon the mineral signature is compatible with the present sediment input deduced from the morphological features of this canyon head (Duarte *et al.*, 2000), Porto and Aveiro canyons can be regarded as relict morphological features since local source signature is still preserved (indicated low present terrigenous input).

Acknowledgements

This work is a contribution of the project Deep Sedimentary Conduits of the West-Iberian Margin (POCTI/CTA/46367/2002).

REFERENCES

- Bateman, R. M., Catt, J. A., (2007). Provenance and paleoenvironmental interpretation of superficial deposits, with particular reference to post-depositional modification of heavy mineral assemblages, In: M. A. Mange and D. T. Wright (eds.). *Developments in Sedimentology*, Vol. 58, 151-188.
- Duarte, J., Dias, J. M. A., Taborda, R., (2000). Nazaré Canyon Head: erosion versus sedimentation. 3rd Symposium on the Iberian
- Cascalho, J., Fradique, C., (2007). The sources and hydraulic sorting of heavy minerals on the northern Portuguese continental margin. In: M. A. Mange and D. T. Wright (eds.). *Developments in Sedimentology*, Vol. 58, 75-110.
- Malone, J. (2007). The rivers of southeast Ireland and the sands of the Irish Sea: Heavy minerals show that proximity does not always predetermine provenance. In: M. A. Mange and D. T. Wright (eds.). *Developments in Sedimentology*. Elsevier, Amsterdam, Vol. 58, 547-568.
- Mange, M. A., Maurer, H. F. W., (1992). *Heavy minerals in color*. Chapman & Hall, London, 147pp.
- Morton, A.C., Hallsworth, C.R., (1999). Processes controlling the composition of heavy minerals assemblages in sandstones. *Sedimentary Geology* 124, 3-29.

Sedimentary dynamics of the upper Nazaré canyon and adjacent shelf based on sedimentological, geochemical and mineralogical analysis of short sediment cores

Guerreiro, C. (1,2,3), Oliveira, A. (1), De Stigter, H. (2), Jesus, C. (4), Mil Homens, M. (5), Duarte, J. (1) & Rodrigues, A. (1)

(1) Div. Geologia Marinha. Instituto Hidrográfico (IH); catarina.guerreiro@hidrografico.pt

(2) Royal Netherlands Institute for Sea Research (NIOZ); henko.de.stigter@nioz.nl

(3) Centro de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

(4) GeoBioTec, Dep. Geociências, Universidade de Aveiro; carlos.jesus@ua.pt

(5) Unid. Geologia Marinha. Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG); mario.milhomens@ineti.pt

Abstract: Here we present a detailed study of three multicores collected from the upper Nazaré canyon and adjacent shelf: 64PE252-44mc from the upper canyon (485m depth), and 64PE252-45mc and 64PE252-46mc, from the shelf north and south of the canyon, respectively (118m and 106m depth). Differences between the cores indicate that different processes affect the three sectors; (1) high mass accumulation rate (MAR) in core 44 emphasizes the role of the canyon as a morphological trap for sediments derived from the shelf; (2) similarity in particle size and composition between the fine-grained part of the upper canyon sediment (core 44) and the northern muddy deposit (core 45) suggests sedimentary coupling of the two areas, by mutual particle feeding and/or erosion; (3) the coarser particle size of core 46 indicates more energetic conditions south of the canyon, possibly related to hydrodynamic constraints between the canyon and the coastline; (4) MAR core 46 > MAR core 45 suggests that sediment arrives to the canyon mainly from the south, probably associated with winter storms; whereas coarse silt and fine sand transported during SW storms is intercepted by the Nazaré canyon, part of the suspended fine silt and clay can cross the canyon and settle on the northern shelf.

Key words: Nazaré canyon, middle shelf, particle size, mineralogy, organic matter, MAR

1. INTRODUCTION

One of the goals of the European HERMES project is to understand the natural drivers that control biodiversity and ecosystem functioning of ocean margin ecosystems, in particular those associated with hotspots such as submarine canyons. Submarine canyons are deep and sharp incisions of the continental margins that act both as temporary depositories of sediment particles and organic matter, and as sedimentary conduits through which particle transport processes between the coast and the deep sea are intensified (*e.g.* through gravity-driven flow events) (Van Weering *et al.*, 2002; Oliveira *et al.*, 2007; De Stigter *et al.*, 2007).

As submarine canyons are known for trapping organic matter input, leading to enhanced faunal diversity, several biological studies have been focused on benthic ecosystems of canyons (*e.g.* Tyler *et al.*, 2009). In the often highly dynamic canyon environment, sedimentary processes are likely to play a key role in determining the distribution of benthic organisms.

This study aims to contribute to a better understanding of the Portuguese margin sedimentary dynamics, through a detailed sedimentological, geochemical and mineralogical study of three multicores collected from the upper part of the Nazaré canyon and adjacent shelf.

2. METHODS

Multicores were collected from the upper part of the Nazaré canyon and adjacent shelf (Fig.1) and sub-sampled for particle size, silt-clay fraction mineralogy, ²¹⁰Pb and C_{org}/N_{tot} analysis. The sediment cores were split longitudinally in the lab and described concerning its macroscopic features, and photographed (high resolution photographic imaging and X-radiography). Dry bulk density (DBD) and porosity were determined to evaluate the water content and compaction of the cores. Particle size analysis and determination of sedimentary

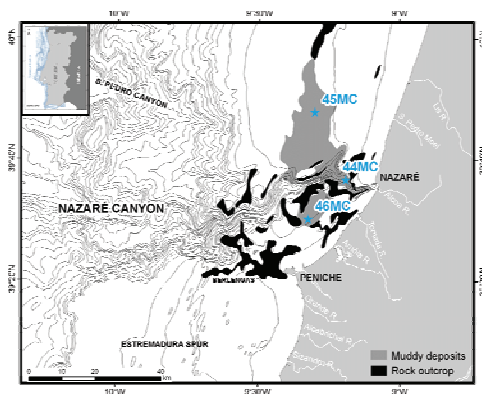


Fig.1. Geographical location of multicores 44, 45 and 46 in the upper Nazaré submarine canyon (W off Portugal). Middle shelf muddy deposits (MD) location from Pombo (2004).

organic and inorganic carbon and nitrogen followed the procedure described in De Stigter *et al.* (2007). Semi-quantitative determination of the silt-clay mineralogical content was performed by X-ray diffraction, according to the methodology described in Oliveira *et al.* (2007).

Determination of Mass Accumulation Rate (MAR) over the last ~100 years followed the lab procedure described in De Stigter *et al.* (2007). Model fits of ²¹⁰Pb profiles were calculated on the basis of a CF/CS-model (one layer) for core 44 and a CF/CS+SML model (two layers) for cores 45 and 46, both assuming a constant (steady state) deposition rate of sediment and unsupported ²¹⁰Pb, and physical and chemical immobility of ²¹⁰Pb after deposition. Occasional turbidite layers and occasional subsurface maxima in excess ²¹⁰Pb produced by larger burrowing fauna were not included in the model fitting (white dots),

3. RESULTS

Core 44 (Fig.2) consists of stratified fine to medium silt in which intercalated mm to cm-thick layers of fine to medium sand reflect the occurrence of sediment gravity flow events of variable magnitude, typical of an active submarine canyon (e.g. De Stigter *et al.*, 2007). The increase of K-feldspar and decrease of calcite in the fine fraction appear to be the markers of such events. The fine-

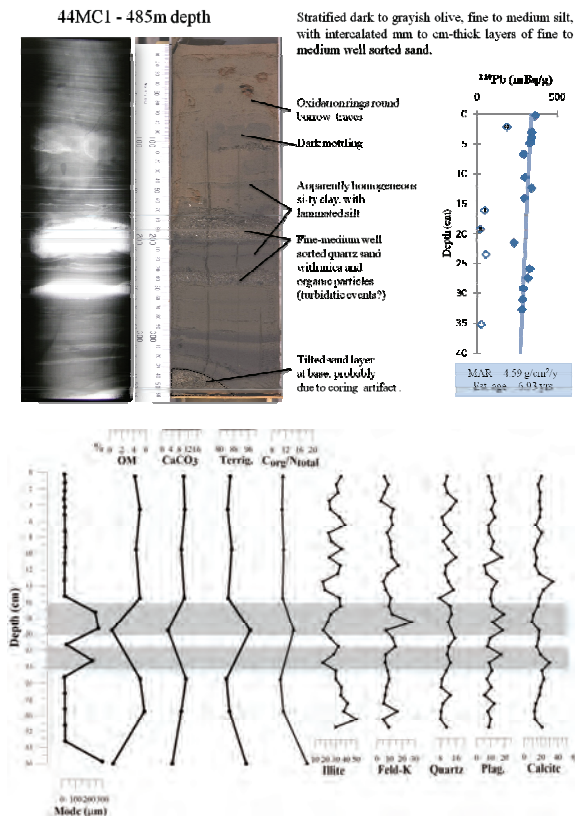


Fig.2. Core 44, recovered from the upper Nazaré canyon stands out for its stratified structure, with sandy turbidite layers (grey bands) intercalated within fine to medium silt matrix illite-rich. ²¹⁰Pb activity profile revealed the highest MAR.

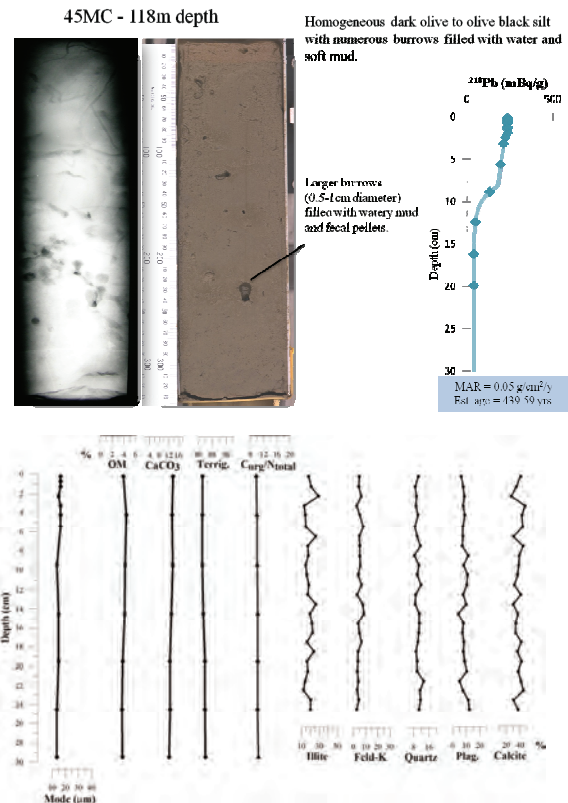


Fig.3. Core 45, recovered from the northern MD, is characterised by its homogeneous and very fine-grained texture. It has a lower MAR, higher percentage of organic matter (OM). The mineralogical variability downcore is less evident when compared with cores 44 and core 46.

grained sediment in which the sandy layers are embedded consists of olive gray fine-medium silt with modal particle size between 13 and 50µm, consisting of 88% of lithogenic material, 8% calcium carbonate and 4% organic material. It has the higher content of illite in the fine fraction.

In contrast to the stratified canyon core 44, cores 45 and 46 recovered from muddy deposits (MD) on the adjacent shelf (Figures 3 and 4) consist of homogeneous silt with numerous burrows filled with water or soft mud. Core 45 from the northern shelf is essentially similar in grain size and bulk composition to the fine-grained intervals in upper canyon core 44, with modal grain size of 16 µm and composed of 83% lithogenic material, 13% calcium carbonate and 4% organic material. However, it has a much lower MAR of 0.05 g/cm²/yr. Core 46 from the southern shelf is distinctly coarser grained (mode 66µm) than cores 44 and 45, with similar percentage of lithogenic material (82%), with more calcium carbonate, and less organic material, resp. 16% and 2%. It has a MAR of 0.13 g/cm²/yr. In terms of mineralogy, core 46 is richer in terrigenous detritic minerals (quartz, K-feldspar and plagioclase) and shows higher downcore variability than core 45, suggesting a more dynamic environment south of the canyon. Results from the cores' 1st 0.5 cm and downcore mean values are presented in Table 1.

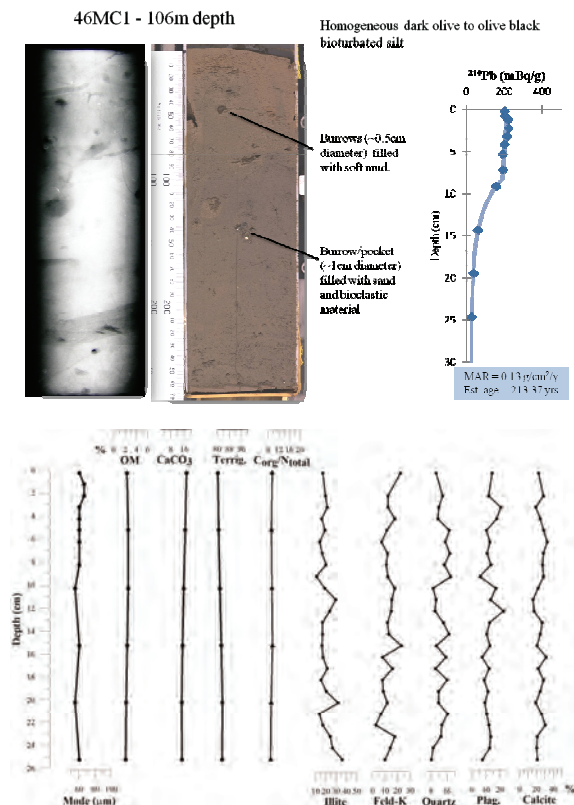


Fig.4. Core 46, recovered from the MD south of the canyon, differs from the northern sector by its coarser texture, higher MAR and higher downcore mineralogical variability. The higher values of $CaCO_3$, C_{org}/N_{tot} ratio and significantly high values of immature (unstable) terrigenous minerals (K-feldspar and plagioclase) are also registered.

4. DISCUSSION

The high MAR determined from the upper canyon (core 44) is in agreement with the high rates of sediment accumulation from the upper and middle part of the Nazaré canyon, one or two orders of magnitude more than at comparable depths on the open slope, reported previously by Van Weering et al. (2002). This clearly indicates that the upper Nazaré canyon acts as a preferential sediment depocenter within the central Portuguese margin.

The stratified fine to medium silt rich in illite with intercalated layers of fine to medium sand reflects the dominance of tide-related sedimentary processes in the upper canyon versus the down-canyon transport, usually by traction, during the occasional occurrence of high-energy gravity flow (De Stigter et al., 2007). Such events may be triggered by winter storms induced by strong southerly downwelling-favorable winds. This is supported by the occurrence of several peak events of high turbidities extending along all the upper canyon section, related with a down-canyon offshore flow under such storm conditions (Vitorino, 2009).

Differences between the two shelf cores indicate that different processes affect the middle shelf north and south of the canyon; the coarser particle size,

variability of the southern MD (core 46) suggests the existence of more energetic and oxidating conditions south of the canyon, possibly related to stronger current activity due to the morphologic constraint caused by the Carvoeiro cape (Luís Quaresma, pers. com.). This is consistent with the widespread rock outcrops and coarse sediments in the area (Pombo, 2004) and enhances the role of the limestones outcropping on the shelf south of the canyon (ridges > 10 m high; Rodrigues, 2004) as an important morphological trap for fine sediments in transit along the shelf, as confirmed by the significant MAR in core 46.

According to Oliveira et al. (2002) shelf turbid plumes derived from the more important northern rivers tend to flow northwards by the poleward current under downwelling prevailing winter conditions, when river discharge and resuspension are more important. Furthermore, although some southward transport of sediment will surely occur during winter upwelling-favorable wind conditions (e.g. suspended sediments from Mondego river), most of the sediment transported southwards comes by littoral drift and seems to be caught by the canyon head (Duarte et al., 2000).

We argue that the small rivers input during winter storms and the erosion of cliffs and beaches between Nazaré and Peniche, are an important source of fine particles for the southern MD (core 46) and the canyon (core 44), transported northward by the poleward current during downwelling conditions. This hypothesis is also suggested by the higher MAR and lithogenic content (K-feldspar and plagioclase) in core 46. Field observations revealing high turbidity and low salinity plumes in the shelf derived from these rivers during winter supports this (João Vitorino, person. comunic.). Weathering of K-

Table 1 Comparison of MAR ($g/cm^2/yr$), particle size mode (μm), C_{org}/N_{tot} ratio, OM, $CaCO_3$ and terrigenous component, and the main minerals in the sediment fine fraction, for the top 0.5 cm of the sediment cores and the mean of downcore values.

	1st 0.5 cm			Mean values		
	45MC	44MC	46MC	45MC	44MC	46MC
Depth (m)	118	485	106			
MAR	0.05	4.6	0.13			
Mode (μm)	16.4	18.0	60.5	15.3	66.3	60.6
OM (%)	3.9	4.2	2.3	4.0	3.8	2.3
$CaCO_3$ (%)	13.7	9.9	17.2	13.0	8.4	15.6
Terrig. (%)	82.3	85.9	80.5	83.0	87.9	82.1
C_{org}/N_{tot}	9.8	11.1	9.4	10.1	12.3	9.3
Illite (%)	17.8	34.9	16.9	18.6	29.8	19.9
Quartz (%)	10.6	11.4	10.5	10.3	11.5	13.0
Feld-k (%)	5.0	5.9	22.2	5.0	9.9	12.6
Plag (%)	6.3	8.5	14.3	8.4	11.0	12.4
Calcite (%)	40.6	20.4	22.3	37.5	17.8	24.4

feldspar-rich granites from Berlengas (SW of core 46) followed by poleward transport may explain the high percentage of K-feldspar in core 46. The higher CaCO₃ content south of the canyon suggests that the outcrops may favor the local benthonic productivity, and/or an increase of primary productivity due to upwelling intensification south of the canyon during summer (Oliveira *et al.*, 2007). Such productivity is also contributing for the higher MAR in this sector.

The resemblance between fine-grained sediment of the upper canyon (core 44) and the northern MD (core 45) suggests sedimentary coupling of the two areas, by mutual particle feeding and/or erosion. During summer, the northern MD is resuspended by internal waves activity (Quaresma *et al.*, 2007) generating a BNL, with subsequent transport of suspended fine particles towards the canyon by upwelling currents (Oliveira *et al.*, 2007). During winter, the northern MD is probably fed by the same fine-grained suspended shelf sediment transported in BNLs coming from south, through the formation of INLs on the canyon rim that are able to reach the northern shelf. Particles may well be distributed over a much wider area, but conditions for settling and incorporation in sediment deposits are only optimal in the canyon and on the mud patches. The cohesive effect derived from its high clay-richness (38% clay; Duarte, 2002) also contributes for its maintenance in the shelf.

5. CONCLUSIONS

The high MAR within the Nazaré canyon, as compared to MAR on the adjacent shelf, emphasizes the role of the canyon as a morphological trap for fine sediments derived from the shelf.

Differences between core 45 (north) and core 46 (south) indicate that different processes affect the middle shelf, north and south of the canyon: the coarser particle size and higher downcore mineralogical variability in 46mc indicates a more dynamic environment south of the canyon.

Results indicate an important supply of fine particles from south, associated with winter storms. Such storms may also be the cause of occasional higher energy sediment gravity flow events recorded in the upper canyon core.

Further studies integrating coast-to-shelf sedimentary dynamics and physical oceanographic mechanisms are needed for a better understanding of the fine-grained sediment transport and deposition in this area.

Acknowledgements

This work was funded by HERMES project (GOCE-CT-2005-511234). Multicores were collected during RV Pelagia cruise 64PE252 (2006), funded by the Netherlands Org. for Scientific Res. Sediment analysis performed at NIOZ. X-ray diffractometry performed at IH. A special thanks to Wim Boer and Rineke Gieles-Witte for their assistance and friendship at NIOZ. To Luís

Quaresma, Francisco Silva and Mariana Costa (IH) for their generosity during data discussion. First author benefits from a PhD grant (FCT-SFRH/BD/41330/2007).

REFERENCES

- De Stigter, H., Boer, W., Mendes, P., Jesus, C., Thomsen, L., Van Den Bergh, G., & Van Weering, T. (2007). Recent sediment transport and deposition in the Nazaré Canyon, Portuguese continental margin. *Mar. Geol.*, 256, 144 – 164
- Duarte, J.F., 2002. Distribuição espacial dos sedimentos no Canhão da Nazaré e plataforma adjacente. Proc. 3^o Assembleia Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica, Valencia, Spain, pp. 1162–1166
- Duarte, J., Dias, J.A. & Taborda, R. (2000). Cabeceira do canhão da Nazaré: erosão versus sedimentação. 3^o Simpósio sobre a Margem Ibérica Atlântica, Faro, 227 – 228.
- Oliveira, A., Santos, A.I., Rodrigues, A. & Vitorino, J. (2007). Sedimentary particle distribution and dynamics on the Nazaré canyon system and adjacent shelf (Portugal). *Mar. Geol.*, 246, 105–122
- Oliveira, A., Vitorino, J., Rodrigues, A., Jouanneau, J.M., Dias, J. & Weber, O. (2002). Nepheloid layer dynamics in the northern Portuguese shelf. *Prog.s in Oceanography* (52): pp.195–213
- Pombo, J. (2004). Sedimentos superficiais da plataforma continental portuguesa entre o Cabo Mondego e S. Martinho do Porto. *MSc Thesis, Faculty of Sciences Coimbra Univ.*, 185pp (*unpublished*). Pombo, J. (2004).
- Quaresma, L.S., Vitorino, J., Oliveira, A. & Silva, J. (2007). Evidence of sediment resuspension by nonlinear internal waves on the western Portuguese mid shelf. *Mar. Geol.* 246, 123 – 143
- Rodrigues, A. (2004). Tectono-Estratigrafia da Plataforma Continental Setentrional Portuguesa. *Doc. Téc. IH*, 35, 227pp.
- Tyler, P., Amaro, T., Arzola, R., Cunha, M., De Stigter, H., Gooday, A., Huvenne, V., Ingels, J., Kiriakoulakis, K., Lastras, G., Masson, D., Oliveira, A., Pattenden, A., Vanreusel, A., Van Weering, Vitorino, J., Witte, U. & Wolff, G. (2009). Europe's Grand Canyon: Nazaré submarine canyon. *Oceanog.*, 22 (1): pp. 46–57.
- Van Weering, T., De Stigter, H., Boer, W. & De Haas, H. (2002). Recent sediment transport and accumulation on the NW Iberian margin. *Progress in Oceanography*, 52, 349 – 371
- Vitorino, J. (2009). Latest views on the physical oceanography of the Nazaré canyon. *HERMES Final Meeting*, 2-6 March, Carvoeiro, Conference Program and Abstracts, p. 7

Assinatura geoquímica das ribeiras no Esporão da Estremadura

M. Balsinha (1), A. Rodrigues (1), A. Oliveira (1), C. Palma (1), Valença M. (1), M. Mil. Homens (2), R. Taborda (3)

(1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 49, 1249-093 Lisboa – Portugal. maria.balsinha@hidrografico.pt

(2) Unidade de Geologia Marinha, Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P., Estrada da Portela, Bairro do Zambujal – Alfragide, Apartado 7586 - 2720-866 Amadora

(3) Lattex, IDL, Universidade de Lisboa, Campo Grande 1700 Lisboa – Portugal

Resumo: Uma das características fisiográficas mais notáveis da margem continental Portuguesa é o Esporão da Estremadura, que se projecta para oeste da plataforma e é limitado por uma profunda quebra na plataforma. As características oceanográficas (ondas, correntes e marés), vento (meteorologia) e geológicas (morfologia e sedimentares) controlam e ditam os padrões de sedimentação.

Neste estudo, traçadores sedimentológicos e geoquímicos foram utilizados para investigar as possíveis contribuições das ribeiras para a plataforma continental. Através da composição geoquímica (elementos maiores e em traço) e mineralógica (minerais pesados) dos sedimentos marinhos, é possível efectuar a caracterização da sua origem (terrígena continental, biogénica, autigénica, ou detrítica relacionada com a erosão de afloramentos sub-marinos). Pretende-se com todos estes elementos fornecer uma compreensão mais profunda do hidrodinamismo do Esporão da Estremadura.

Palavras-chave: Esporão da Estremadura, ribeiras, metais pesados, minerais pesados.

1. INTRODUÇÃO

O estudo global do registo sedimentar da plataforma continental é essencial na interpretação das mudanças climáticas a nível local, regional e global (Lobo *et al.*, 2001). Na plataforma continental, é possível identificar os principais mecanismos forçadores que controlam a sedimentação, bem como o impacto das actividades humanas sobre o ambiente marinho. A plataforma continental do "Esporão da Estremadura", está limitada a norte pelo Canhão da Nazaré e a oeste por uma vertente abrupta e densamente recortada com uma característica morfológica peculiar na medida em que o seu bordo se encontra localizado entre os 330 e os 400 m de profundidade. Esta característica não é observada na restante plataforma continental portuguesa (Balsinha, 2008). No que respeita a zona emersa, esta é caracterizada por uma planície litoral, limitada a norte pela serra de Candeeiros, a leste pela serra de Montejuento e a sul pela serra de Sintra. A morfologia a ocidente destes relevos é caracterizada por uma superfície de erosão talhada preferencialmente em formações mesozóicas predominantemente areníticas ou margosas do Cretácico inferior. Por último, destaque para a Lagoa de Óbidos que constitui uma bacia sedimentar pouco profunda separada do ambiente marinho por uma barreira natural formada por um cordão de dunas litorais (Freitas, 1989). No que respeita a rede hidrográfica esta é hierarquizada, normalmente de tipo dendrítico. Os principais cursos de água de

pequena dimensão que afluem à região são, a ribeira de Alfeizerão, os rios Arnóia, S. Domingos, Grande, Alcabrichel, Sizandro e Lizandro. No litoral, a zona a norte de Peniche é caracterizada por um litoral arenoso, com instalação de um sistema dunar. Imediatamente a sul de Peniche e até à Ericeira, observa-se uma costa de carácter recortado predominantemente rochosa, com arribas abruptas, e com frequentes plataformas de abrasão.

2. OBJECTIVOS

Tendo por base a caracterização textural, geoquímica e mineralógica dos sedimentos dos cursos de água, das praias e da plataforma continental do Esporão da Estremadura, pretende-se averiguar a distribuição espacial de minerais e metais pesados que podem ser utilizados como traçadores de fontes sedimentares e de actividade humana.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram analisadas 16 amostras de sedimentos não consolidados (7 amostras nas principais ribeiras que drenam para a área de estudo e 9 em praias adjacentes) e utilizados os dados de 68 amostras na plataforma continental colhidas no âmbito do programa SEPLAT (Sedimentos da Plataforma Continental Portuguesa) com um amostrador superficial do tipo Smith-McIntyre, durante

cruzeiros realizados pelo Instituto Hidrográfico, entre 1995 e 1999 (figura 1).

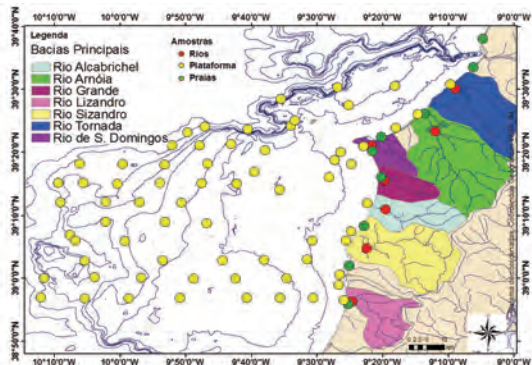


Figura 1 – Localização das amostras e principais bacias hidrográficas.

Após a digestão da matéria orgânica, o trabalho laboratorial consistiu na análise granulométrica de amostras de sedimentos de ribeira, praia e plataforma: as partículas > 500 micra foram analisadas por peneiração enquanto que as de dimensão inferior foram analisadas no sedimentógrafo Malvern 2000. A separação, identificação e contagem de minerais pesados nas fracções (1-2φ), (2-3φ) e (3-4φ) das amostras dos sedimentos de ribeira, praias e da plataforma foi realizada ao microscópio de luz polarizada. A análise de elementos químicos maiores (alumínio (Al), ferro (Fe) e manganês (Mn)) e metais pesados (arsénio (As), cádmio (Cd), crómio (Cr), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb), zinco (Zn)) foi quantificada após digestão em microondas ETHOS PLUS com ácido fluorídrico e água-régia na fracção <2 mm. Após a digestão as amostras foram neutralizadas com ácido bórico e analisadas por Espectrometria de Absorção Atómica (EAA) (Loring e Rentala, 1990).

A análise estatística multivariada dos dados de minerais pesados foi realizada com recurso ao software *Statistica7*. Os mapas foram realizados através do software *ArcGIS 9.3*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados aqui apresentados são preliminares e ainda em desenvolvimento, no entanto já é possível retirar algumas considerações. A composição textural das amostras de sedimentos de praia, da plataforma e das ribeiras é bastante diferente (figuras 2, 3 e 4). As amostras de praia apresentam uma textura mais grosseira e bem calibrada, as de plataforma são mais finas e moderadamente calibradas, enquanto que as das ribeiras são mal calibradas variando de areias muito grosseiras a muito finas.

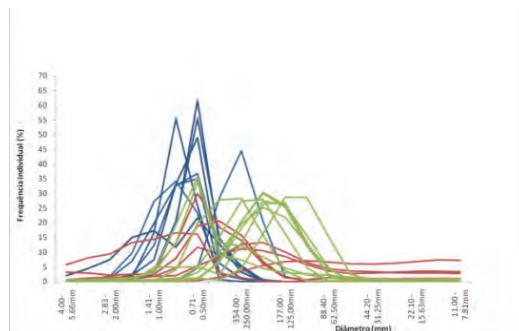


Figura 2 – Curvas granulométricas, azul-praia, vermelho-rio e verde-plataforma.

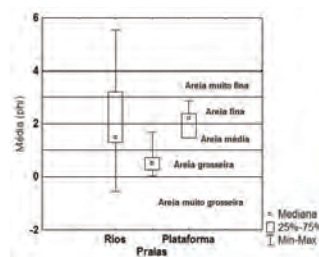


Figura 3 – Distribuição da média granulométrica para as amostras de ribeiras, praias e plataformas.

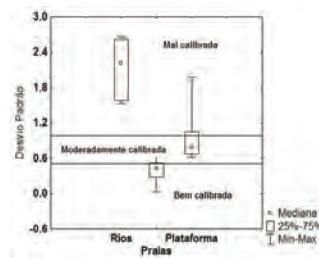


Figura 4 – Distribuição do desvio padrão para as amostras de ribeiras, praias e plataformas.

No que respeita à percentagem de minerais pesados ponderados para a fracção areia (figura 5), efectuada nas amostras das ribeiras e das praias, os resultados obtidos indicam que a percentagem de minerais pesados aumenta com a diminuição do tamanho do grão. O valor mais elevado de minerais pesados é de cerca de 20% (figura 6). As maiores percentagens localizam-se na praia a norte da Nazaré, na foz do rio Alfeizerão e depois a sul, na praia de Santa Cruz, na praia da Calada, na praia de São Julião e na foz do rio Lizandro.

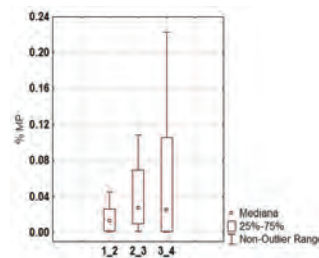


Figura 5 - Percentagem de minerais pesados nas fracções (1-2 φ), (2-3 φ) e (3-4 φ) ponderada para a fracção areia.

Os minerais pesados das ribeiras terão origem possivelmente em filões localizados a montante das ribeiras; e os das praias poderão ter origem local e/ou serem também provenientes de ribeiras onde, por deriva litoral, são transportados para as praias mais próximas.

Através da análise estatística dos mesmos foi possível agrupar os minerais em quatro clusters (figura 6). Os clusters permitem agrupar as amostras analisadas, com base na percentagem dos vários minerais pesados, através de iterações sucessivas até chegar a um valor mínimo de variância. As amostras consideradas para este processo foram as das ribeiras, praias e plataforma até aos 50 m de profundidade. O primeiro cluster (a laranja) é formado pelas amostras a montante do rio Lizandro e Sizandro, (figura 6) e onde predominam as piroxenas e anfífolas. O segundo cluster (a vermelho) é formado pelas amostras da foz do rio Grande e da foz do rio Alfeizerão, estas são amostras onde predomina a biotite (figuras 6 e 7). O cluster três (a azul) apresenta menor variedade de minerais pesados e predominância de turmalina e andaluzite (figuras 6 e 7), o quarto cluster (a verde), pelo contrario, é representado por amostras com maior variedade de minerais pesados e onde predomina a granada e o zircão com diminuição evidente de turmalinas e andaluzites (figuras 6 e 7).

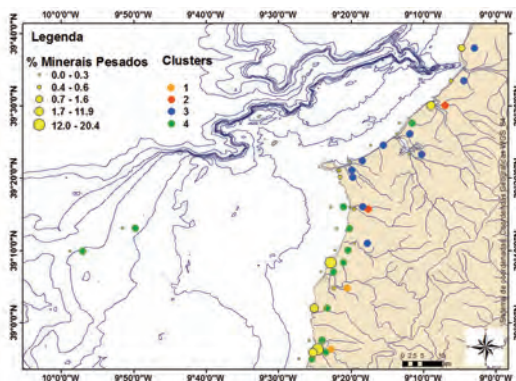


Figura 6 – Percentagem de minerais pesados e distribuição de clusters.

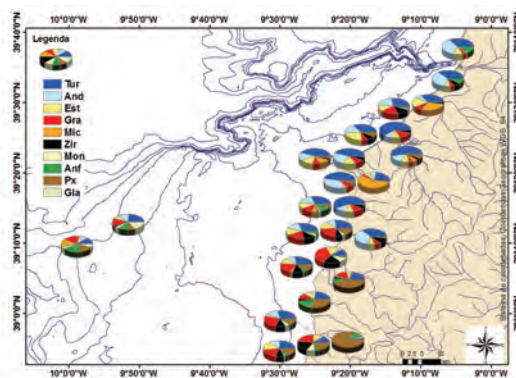


Figura 7 – Distribuição espacial do tipo de minerais pesados.

A tabela 1 apresenta os valores médios, mínimos e máximos de metais nas amostras de plataforma (Palma, 2000) e ribeiras. Estes valores médios são semelhantes estando dentro dos valores do critério de avaliação ambiental (CAE) definidos pela OSPAR (2008). O Pb, Ni e Cr apresentam valores máximos superiores aos estabelecidos pela CAE assim como o Cu (rio Grande) e o As (ribeira de S. Domingos). Estes teores elevados no rio Grande podem ser devidos à zona industrial do Bombarral e Lourinhã (horticultura, pecuária, pesticidas e adubos), enquanto que a da foz da ribeira de S. Domingos, por não existir ETAR para tratamento destes resíduos, contém resíduos sólidos urbanos e industriais não tratados.

Tabela 1 – Valores médios, máximos e mínimos de metais na plataforma e ribeiras.

	Hg (mgkg ⁻¹)	Cu (mgkg ⁻¹)	Fe (mgkg ⁻¹)	Pb (mgkg ⁻¹)	Ni (mgkg ⁻¹)	
Plataforma =68	media	0.035	6.13	18.2	23	9.23
	min	0.005	< 2	0.310	10.5	< 2
	max	0.200	24	110	75	60
Ribeiras =7	media	0.012	25	10.9	7.34	4.04
	min	0.005	< 5	4.30	< 2	< 2
	max	0.034	89	20	17.3	13.6
	Zn (mgkg ⁻¹)	Al (mgkg ⁻¹)	Cr (mgkg ⁻¹)	Mn (mgkg ⁻¹)	As (mgkg ⁻¹)	
Plataforma =68	media	39	10.0	44	92	-
	min	3.72	1.35	3.54	14.1	-
	max	110	43	172	380	-
Ribeiras =7	media	35	20	28	173	7.82
	min	14.0	13.1	10.6	90	3.06
	max	81	30	46	250	12.1

De acordo com os mapas das figuras 8, 9, 10, 11 e 12 é possível verificar os teores de metais nas amostras das ribeiras mais a sul de Peniche, e que na plataforma estão associados a sedimentos mais finos.

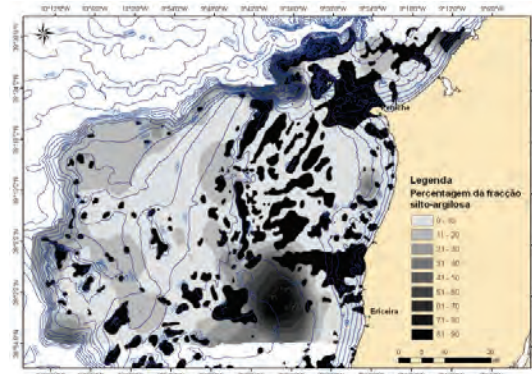


Figura 8 – Distribuição da percentagem silto-argilosa na plataforma (adaptado de Balsinha, 2008).

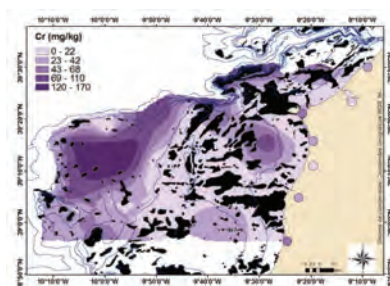


Figura 9 – Distribuição de cromo na plataforma e ribeiras.

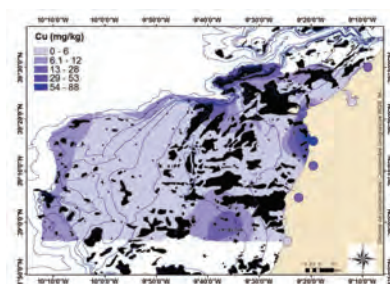


Figura 10 – Distribuição de cobre na plataforma e ribeiras.

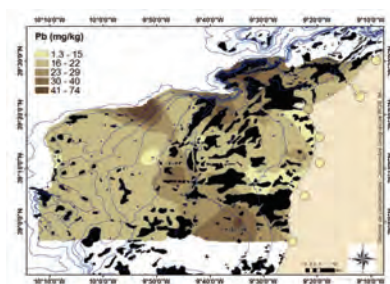


Figura 11 – Distribuição de chumbo na plataforma e ribeiras.

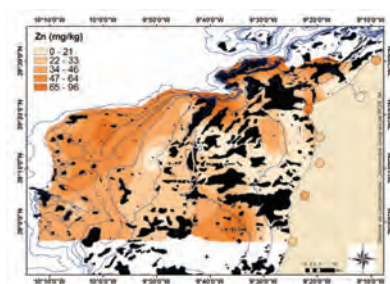


Figura 12 – Distribuição de zinco na plataforma e ribeiras.

5. CONCLUSÕES

A partir da análise dos minerais pesados e da geoquímica sedimentar, as amostras de sedimentos colhidas em ribeiras, praias e na plataforma parecem indicar a importância da contribuição fluvial para o sistema sedimentar oceânico.

Os minerais pesados existentes nas amostras de ribeiras, principalmente anfíbois e piroxenas, podem ser utilizados como traçadores. A análise estatística efectuada salienta o papel dos processos oceanográficos que afectam os sectores a norte e a

sul de Peniche na distribuição das diferentes espécies de minerais.

Os valores plataforma são da mesma ordem de grandeza dos valores encontrados nas ribeiras com excepção dos valores de Cu no rio Grande, havendo esporadicamente nas amostras da plataforma valores de Cr, Ni e Pb que ultrapassam levemente os valores máximos do critério de avaliação ambiental (CAE) definidos pela OSPAR (2008).

Os teores de metais mais elevados estão relacionados com a presença de finos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Balsinha M. (2008). Estudo da dinâmica sedimentar da plataforma continental Portuguesa entre o canhão submarino da Nazaré e a Ericeira, Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências de Lisboa, 174pp.
- Freitas, C. (1989). A Evolução da Lagoa de Óbidos nos Tempos Históricos. *Geolis – Revista de Geologia Aplicada e do Ambiente*, vol. III, fasc. I e 2, FCUL, Lisboa.
- Lobo F.J., Hernández-Molina F.J., Somoza L., Díaz del Río V. (2001). The sedimentary record of the post-glacial transgression on the Gulf of Cadiz continental shelf (Southwest Spain). *Marine Geology*, Volume 178, Issues 1-4, 15 August 2001, Pages 171-195.
- Loring, D.H. (1991). Normalization of heavy-metal data from estuarine and coastal sediments. *Journal of Marine Sciences*, 48, 101-115.
- Loring, D.H., Rantala, R.T.T. (1990). Techniques in *Marine Environmental Sciences*, 9, Sediments and Suspended particulate matter. Total and partial methods of digestion. I.C.E.S., Copenhagen.
- OSPAR Commission (2008). CEMP Assessment Manual, Co-ordinated Environmental Monitoring Programme Assessment Manual for Contaminants in Sediment and Biota. Monitoring and Assessment Series. 39pp.
- Palma, C. e M. Valença (2000). Distribuição de metais pesados em sedimentos na plataforma continental na zona compreendida entre os paralelos da Ericeira e Figueira da Foz, X Seminário Ibérico de Química Marinha, Cádiz, Spain.

Recent sedimentary cover of the Loukkos and Sebou rivers adjacent shelf (Morocco- Gulf of Cadiz)

Oliveira, A.⁽¹⁾, Silva, S.⁽¹⁾, Baptista, C.⁽¹⁾, Santos, A.I.⁽¹⁾, & Pombo, J.⁽¹⁾

(1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 49, 1249-093 Lisboa, anabela.oliveira@hidrografico.pt

Abstract: In the Hermione project framework a sedimentological (grain-size) and compositional study of fine surface sediments (<63 μm) were made in order to deduce sources and particles pathways in the Loukkos and Sebou adjacent shelf (Morocco's). The mineralogy was determined by X-ray diffraction (XDR) in non oriented powder samples and grain-size analysis was performed by Malvern 2000. The campaign performed in June of 2009, revealed the increase of mud content to the middle-shelf and the high amount of carbonated debris to the slope (biogenic carbonated sands). A particular mineralogical signal was observed in shelf bottom sediments adjacent to the Loukkos and also Sebou rivers denoting some local contribution.

Key words: Morocco, shelf, sediments, grain-size, mineralogy

1. INTRODUCTION

In the framework of HERMIONE Project, a multidisciplinary oceanographic survey (1-29 June 2009) was performed in the slope/shelf NW of Morocco, between Tanger and Casablanca, in order to understand the prevailing physical processes and sediment dynamics in a continental margin diverse from the Portuguese one.

The western continental margin of Morocco is directly affected by upwelling events under favourable northward winds, poleward slope current and Mediterranean Water eddies. The pattern of the large scale circulation in the Gulf of Cadiz seems to be anticyclonic in spring-summer and less clear but cyclonic-like circulation in Winter (Lafuente & Ruiz, 2007). The final course of Loukkos and Sebou rivers are flat and meander with the presence of large muddy salt-marshes occupied by intense farming. The very irregular hydraulic regime is mainly dependent of precipitation (normally higher in the Loukkos area) and in natural regime large transport of fine sediments can occur during winter exceptional floods (December-January). However, in both rivers, discharges are controlled by dams that in the case of Loukkos are located ~40 km upstream. Both estuaries waterfront are currently protected by jetties and in the Loukkos these were constructed to facilitate the fish harbor entrance.

In this paper, grain-size and fine fraction mineralogical signal of bottom sediment samples collected in the adjacent shelf of Loukkos and Sebou *oueds* were used to recognize sediment dispersion patterns and preferential accumulation areas.

2. METHODS

During the survey, 58 shelf sediment samples were collected using a Smith-McIntyre grab (fig. 1). 3 samples were also collected inside each estuary. In the lab, sediment grain-size was analyzed by laser forward-scattering in a MALVERN 2000 equipment.

For the preparation of non-orientated powders of the <63 μm fraction, 1g of the fine sediment was dried, disaggregated and placed with minimal compression on a standard sample holder, after destruction of organic matter (10v Hydrogen Peroxide). XRD measurements were performed on a PANalytical diffractometer, using $\text{CuK}\alpha$ radiation. Scans were run between 2° and 60° 2θ . Peak areas of the basal reflections of the main minerals were determined using the X'Pert HighScore program (Version 1.0f) and weighted by empirically estimated factors. For semi-quantitative determination, criteria recommended by Schultz (1964), Thorez (1976) and retaken by Rocha (1993) have been followed. The following mineralogical ratios were constructed: Carbonates/Silicates– (Ca + Dolom/Qz + Fk+ Plag + mica); Fine / Coarse– (mica / Qz + Fk+ Plag); and Sediment maturity - (Qz/Plag).

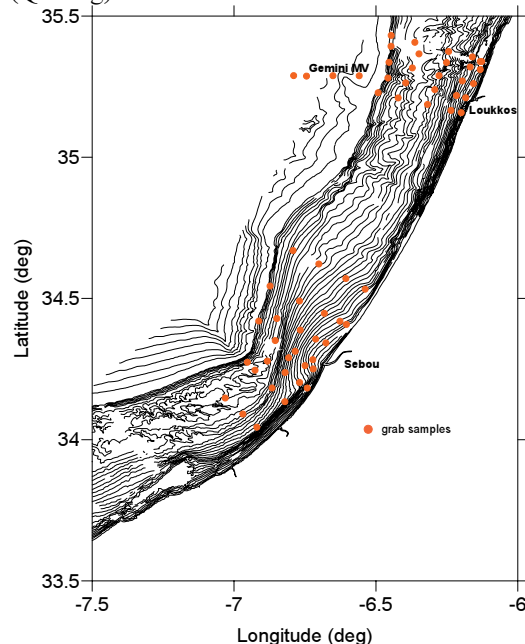


Fig. 1. Study area and bottom sediments sample site.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The estuarine sediments are enriched in fine particles, especially the Sebou river (>76%). Sandy carbonated sediments were only present in Loukkos lower estuary. Surface sediments from the adjacent shelf of Loukkos and Sebou rivers exhibit a very heterogeneous texture (fig.2).

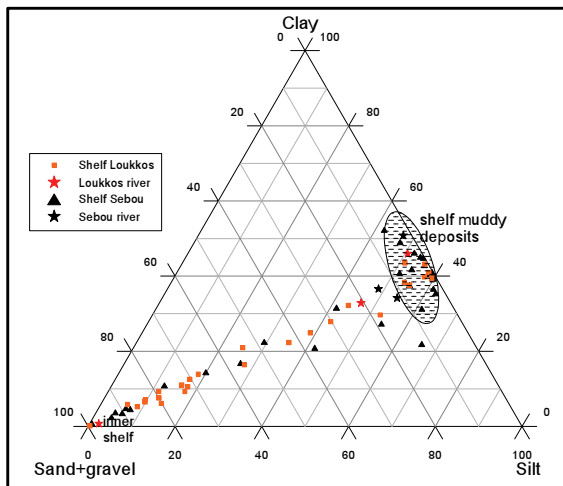


Fig.2 Shepard ternary diagram.

Three sedimentary deposits can be distinguished as follows: a) an inner-mid shelf zone (<50m depth) with very fine well sorted terrigenous sands but where very poorly sorted fine sands can also be found (mainly in Sebou) (fig.3); b) a mid-outer shelf muddy area (55-120m depth) formed by very well sorted muds (>40%) and c) an outer shelf with generally poorly sorted and polymodal very fine biogenic sand.

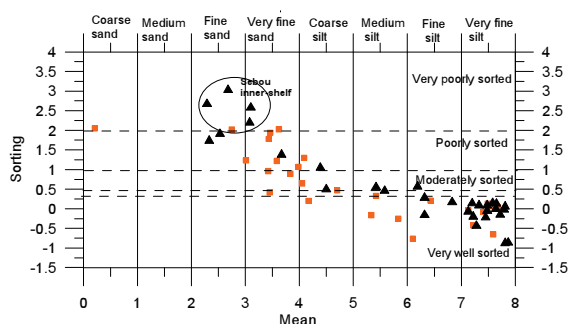


Fig.3 Textural classification of the sediment.

Results of X ray diffraction analyses of fine fraction (<63µm) assemblage determined in non-oriented powder samples, show a complex association of minerals. In general the dominant mineral is calcite with an average content of 63% (min: 42%, max: 72%), followed by quartz, (average 12%, min:5%, max:21%), the other minerals (dolomite, phyllosilicates, plagioclase, opal C/CT, siderite and pyrite) are present but in smaller proportions (<10%).

In the Loukkos area (fig.4), the distribution of calcite shows that higher values are found in the

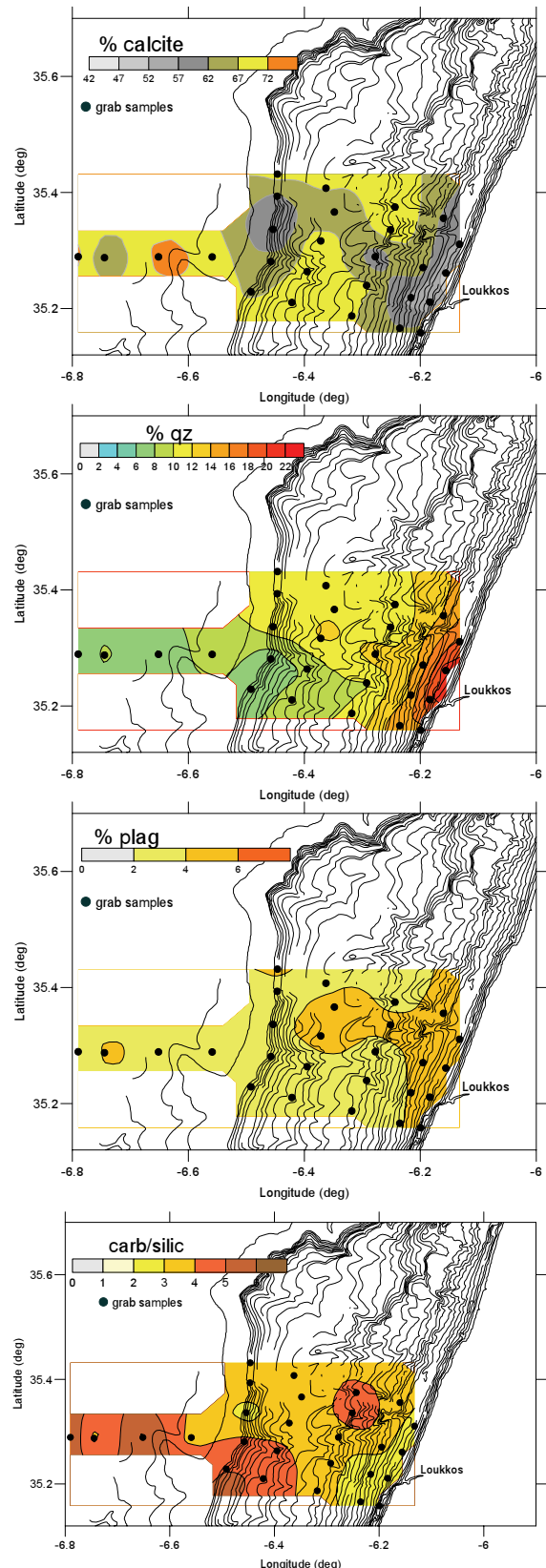


Fig.4. Distribution maps of calcite, quartz, plagioclase percentage and the carbonate/silicate ratio (Loukkos shelf).

mid-shelf and associated with the Gemini mud-volcanoes site (slope area), normally richer in biogenic debris (corals, mollusks and forams). Higher values of quartz (>20%) were found in the inner shelf (close to Loukkos river) with a general decrease to the slope and SW area, denoting its dilution by other minerals, namely calcite and dolomite. Plagioclase distribution seems to mark the preferential pathway for terrigenous sediments in the shelf.

River samples also show higher content of calcite (mean 54%), quartz (mean 21%) and plagioclase (mean 6%).

For shelf samples adjacent to Sebou river the dominant mineral is also calcite but the distribution is slightly different (fig.5). Calcite shows higher values up to the river mouth and apparently there is no dilution with other minerals namely quartz and plagioclase. Carbonated muddy estuarine samples, (mean inorganic carbon of 2.6%, decreasing slightly upstream), also show high values of calcite (mean 67%), and lower importance of quartz (mean 11%), mica/illite (7%) and plagioclase (mean 4.5%). In this system calcite/dolomite can also be transported to the adjacent shelf by fluvial sources (geological formations with limestones - chinks and dolostone, and sandstones), and shelf terrigenous influence seems to be less clear and covered by the calcite dominance. Nevertheless terrigenous signature can be identified to the north, south (other fluvial sources and/or coastal erosion?) and also to the mid-shelf in front of Sebou river.

4. CONCLUSION

The grain-size and mineralogy seems to indicate different sources of terrigenous sediments to the shelf in front of Loukkos and Sebou rivers, and also different interconnectivity between river/shelf. In the Loukkos some marine influence exist in the lower estuary (richer in biogenic sand component) decreasing upstream, with suggestion of fine sediments transport to the shelf. For the Sebou area the marine/estuarine influence is less clear because calcite dominates in both environments and fine sedimentation (silt+clay>76%), prevail inside estuary. More terrigenous sediments deposits were only found in the mid-shelf and also to the north and south of Sebou influence.

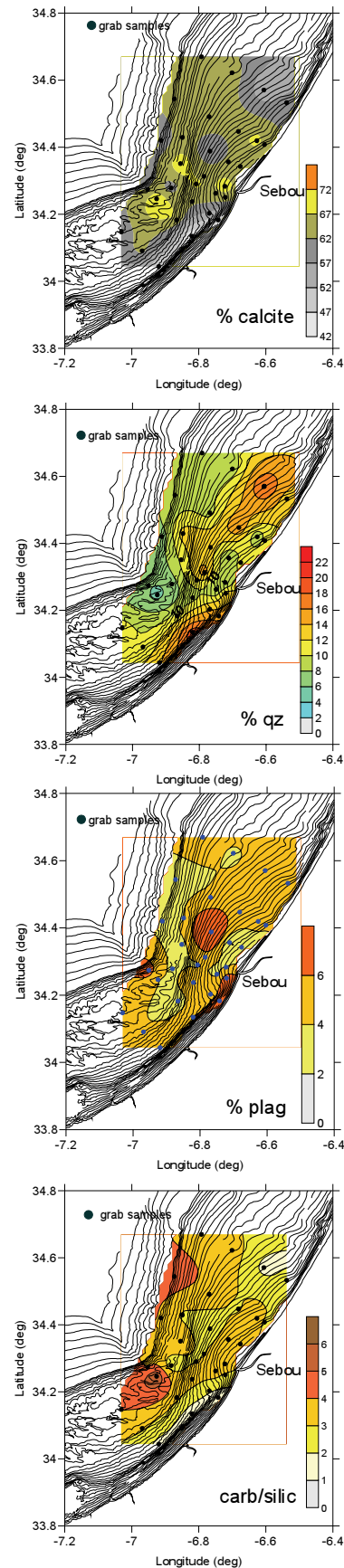


Fig.5. Distribution maps of calcite, quartz, plagioclase percentage and the carbonate/silicate ratio (Sebou shelf).

Acknowledgements

This research is a contribution to the Hermione project (Hotspot Ecosystem Research and Man's Impact on European Seas- Contract n^o: 226354, FP7 Theme: Environment) and to the Portuguese-Morocco's cooperation between the Centre National de Recherche Scientifique et Technique (CNRST) of Maroc's and the "Gabinete de Relações Internacionais da Ciência e do Ensino Superior (GRICES)", with the participation of the "Institut de Formation aux Carrières de Santé (IFCS)", "Institut Scientifique (IS)" and Instituto Hidrográfico.

We thank our colleges Nadia Mhammd and Ayoub Filali Zegzouti for the river sediment samples.

REFERENCES

- Lafuente, J. & Ruiz, J. (2007). The Gulf of Cádiz pelagic ecosystem: A review. *Progress in Oceanography*, 74, 228-251.
- Rocha, F. (1993). *Argilas Aplicadas a Estudos Litoestratigráficos e Paleoambientais na Bacia Sedimentar de Aveiro*. PhD Thesis, Aveiro University, 399pp. (*unpublished*).
- Schultz, L.G. (1964). Quantitative interpretation of mineralogical composition from X-ray and Chemical data for the Pierre shale. United States Geological Survey Professional Paper, 391-C:1-31.
- Thorez, J. (1976). *Practical identification of clay minerals*. Ed. G. Lelotte, Belgique. 99pp.

Distribuição de Metais Pesados e Compostos Orgânicos em Sedimentos na Margem NW Marroquina

C. Palma (1), M. Valença (1), A. Oliveira (1), A. Rocha (1), P. Santos (1)

(1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 49, 1249-093 Lisboa, carla.palma@hidrografico.pt

Resumo: No âmbito do projecto Hermione e do projecto de cooperação com Marrocos foram efectuadas colheitas de sedimentos de superfície para determinação de metais pesados e compostos orgânicos. Os resultados obtidos para os metais são homogêneos e inferiores aos valores de referência da OSPAR, aos valores considerados no critério de avaliação ecotoxicológico e com factores de enriquecimento inferiores a 1, com excepção do As e Cr que apresentam valores considerados elevados.

Palavras chave: metais pesados, compostos orgânicos, sedimentos, normalização, margem marroquina

1. INTRODUÇÃO

Os sedimentos marinhos desempenham um papel importante como reservatórios para os contaminantes constituindo um indicador para avaliar a qualidade do ambiente marinho (Rowlatt e Lovell, 1994, Balls *et al.*, 1997). A distribuição espacial dos contaminantes pode ser utilizada para detectar áreas de contaminação, identificar fontes de poluição e encontrar percursos preferenciais de dispersão.

A contribuição antropogénica pode ser detectada e quantificada (Loring, 1991) através de estudos de normalização que permitem compensar a variabilidade natural dos metais nos sedimentos. Contudo os compostos orgânicos aparecem nos sedimentos apenas devido a fontes antropogénicas (Phillips, 1995).

No âmbito do projecto “Hotspot Ecosystem Research and Man’s Impact on European Seas (Hermione)” realizou-se, no período de 1 a 29 de Junho de 2009, uma campanha oceanográfica conduzida pelo Instituto Hidrográfico a bordo do N.R.P. Gago Coutinho. Esta campanha multidisciplinar de observações da margem continental Atlântica de Marrocos, cobriu as áreas de influência dos rios Loukkos e Sebou. Associada a esta campanha decorreu a colheita de amostras de sedimento de superfície nos estuários e curso inferior dos rios Loukkos e Sebou no âmbito do projecto “Avaliação do impacto e do risco ecológico na contaminação química: promoção da gestão duradoura e integrada dos recursos marinhos”.

Neste estudo pretende-se avaliar a qualidade dos sedimentos em termos de metais pesados (alumínio, arsénio, cobre, crómio, cádmio, ferro, níquel, chumbo, manganês, zinco e lítio) e compostos orgânicos (dieldrina e Σ PCB₇ (CB28, CB52, CB101, CB118, CB138, CB153, CB180)). A concentração destes parâmetros é comparada com os valores de referência da OSPAR e com o critério de avaliação ecotoxicológico (EAC) (OSPAR, 2008). São ainda apresentados estudos de normalização e

factores de enriquecimento de modo a detectar possíveis contribuições antropogénicas.

2. AMOSTRAGEM E MÉTODOS

Foram efectuadas colheitas de amostras de sedimento na margem Marroquina na área de influência dos rios Loukkos e Sebou utilizando colhedor Smith-McIntyre. Na área de influência do rio Loukkos (35,1°N – 35,5°N) foram efectuadas colheitas de 26 amostras de sedimento no período de 13 a 15 de Junho. A 9 de Junho foram seleccionadas três estações de amostragem no rio Loukkos e efectuada a colheita de amostras de sedimento. Na área de influência do rio Sebou (34°N – 34,8°N) foram efectuadas colheitas de 31 amostras de sedimento no período de 18 a 24 de Junho. A 23 de Junho foram seleccionadas três estações de amostragem no rio Sebou e efectuada a colheita de amostras de sedimento. Para as amostras colhidas nos rios e em 2 amostras colhidas na margem continental foram efectuadas análises de compostos organoclorados. Na Figura 1 estão representadas as estações de amostragem.

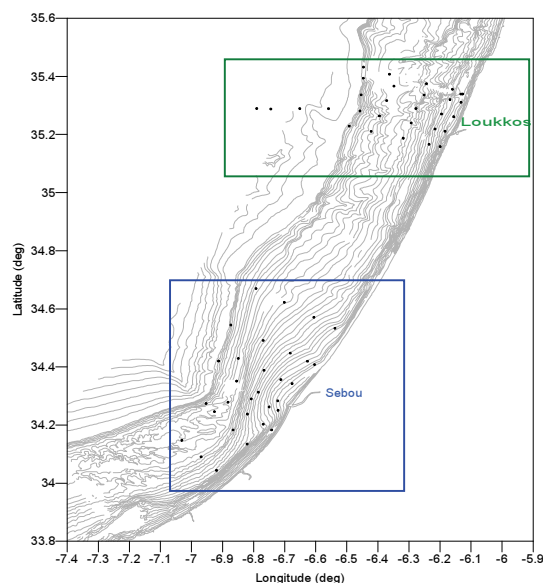


Fig. 1. Localização das estações de amostragens.

Após a colheita as amostras foram fraccionadas com um peneiro <2 mm, congeladas a -18°C, secas por liofilização e homogeneizadas num moinho de ágata. A granulometria foi efectuada por difracção laser num MALVERN 2000; os metais foram quantificados após digestão em microondas ETHOS PLUS com ácido fluorídrico e água régia. Após digestão as amostras são neutralizadas com ácido bórico e analisadas por espectrometria de absorção atómica (Loring e Rantala, 1990). A extracção de pesticidas organoclorados e policlorobifenilos em amostras de sedimento foi efectuada com solventes orgânicos, seguida de purificação do extracto e fraccionamento por cromatografia de adsorção em coluna, com adsorventes específicos. A análise qualitativa e quantitativa dos compostos foi efectuada por cromatografia gasosa, com coluna capilar e detector de captura de electrões (Smedes e Bøer, 1997).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A granulometria é um dos factores mais importantes que controla a distribuição dos metais nos sedimentos. Os sedimentos na área de influência do rio Sebou (34°N – 34,8 °N) apresentam um valor médio de % de finos (< 63 µm) de 69% enquanto que no rio Loukkos (35 °N – 35,5 °N) esse valor é de 49%.

A tabela I apresenta os valores médio, máximo e mínimo dos metais nos rios Loukkos e Sebou assim como nas suas áreas de influência; estão ainda apresentados os valores relativos ao critério de avaliação ecotoxicológico (CAE), (OSPAR, 2008).

Os valores médios de Al, Fe, Li e Mn mantêm-se constantes e da mesma ordem de grandeza não se verificando uma influência dos rios na plataforma adjacente. O Cd apresenta valores ao nível do LQ (Limite de 0,03 mgkg⁻¹); a maioria dos valores de Pb situam-se próximo do LQ, atingindo em algumas situações valores até 25 mgkg⁻¹. Os valores médios de Ni e Cr não apresentam diferenças significativas, embora se verifiquem para os dois metais valores mais baixos na plataforma.

Os valores de As na área de influência do rio Sebou são ligeiramente inferiores aos valores na área de influência do rio Loukkos. Os valores de As mais elevados encontram-se nas zonas mais afastadas da costa (plataforma externa).

No rio Sebou os teores de Cu e Zn são ligeiramente superiores aos do rio Loukkos, mas a sua influência não se faz sentir na plataforma adjacente. Não se verificam variações significativas nas restantes zonas estudadas.

As concentrações médias dos metais estão dentro dos valores recomendados pelo CAE, com excepção do As que apresenta valores médios superiores ao CAE em todas as zonas estudadas, excepto no rio Sebou. O Cr apresenta valores máximos superiores aos valores de CAE em todos os locais estudados.

Relativamente aos compostos orgânicos verifica-se que todos os teores são baixos sendo o valor da dieldrina ao nível do LQ.

Tabela I – valores médios, máximos e mínimos de metais nos rios Loukkos e Sebou e plataforma adjacente e CAE

	Loukkos		Sebou		CAE (OSPAR)
	Plataforma n = 26	Rio n = 3	Plataforma n = 29	Rio n = 3	
Al (mg g ⁻¹)	46 (2,77-76)	57 (19,2-82)	61 (24-95)	62 (52-69)	—
As (mg kg ⁻¹)	18,8 (10,6-35)	13,5 (7,96-18,5)	14,1 (6,74-41)	7,97 (7,77-8,34)	1 - 10
Cd (mg kg ⁻¹)	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0.1 - 1
Cr (mg kg ⁻¹)	89 (10,1-124)	99 (33-137)	97 (47-123)	99 (88-109)	10 - 100
Cu (mg kg ⁻¹)	13,3 (<5-20)	18,3 (6,99-25)	18,5 (6,90-28)	31 (25-34)	5 - 50
Fe (mg g ⁻¹)	32 (5,70-46)	29 (18,9-35)	33 (16-83)	32 (27-36)	—
Li (mg kg ⁻¹)	41 (6,89-56)	45 (22-60)	50 (24-86)	46 (40-51)	—
Mn (mg g ⁻¹)	0,380 (0,270-0,610)	0,291 (0,217-0,350)	0,377 (0,310-0,590)	0,338 (0,289-0,363)	—
Ni (mg kg ⁻¹)	16,5 (<2-25)	15,9 (3,17-24)	22 (5,40-30)	21 (17,6-23)	5 - 50
Pb (mg kg ⁻¹)	3,76 (<2-13,6)	3,01 (2,88-3,15)	5,58 (<2-25)	8,24 (5,92-9,43)	5 - 50
Zn (mg kg ⁻¹)	70 (9,60-94)	92 (42-117)	80 (31-96)	124 (109-154)	50 - 500

Na Figura 2 apresenta-se a distribuição da fracção < 63 µm e dos metais As, Cr e Zn. Verifica-se que o Cr e Zn seguem uma distribuição espacial semelhante à da percentagem de finos, do mesmo

modo que os metais, Cu, Fe, Ni e Li. A distribuição do As não apresenta o mesmo comportamento que os metais referidos anteriormente.

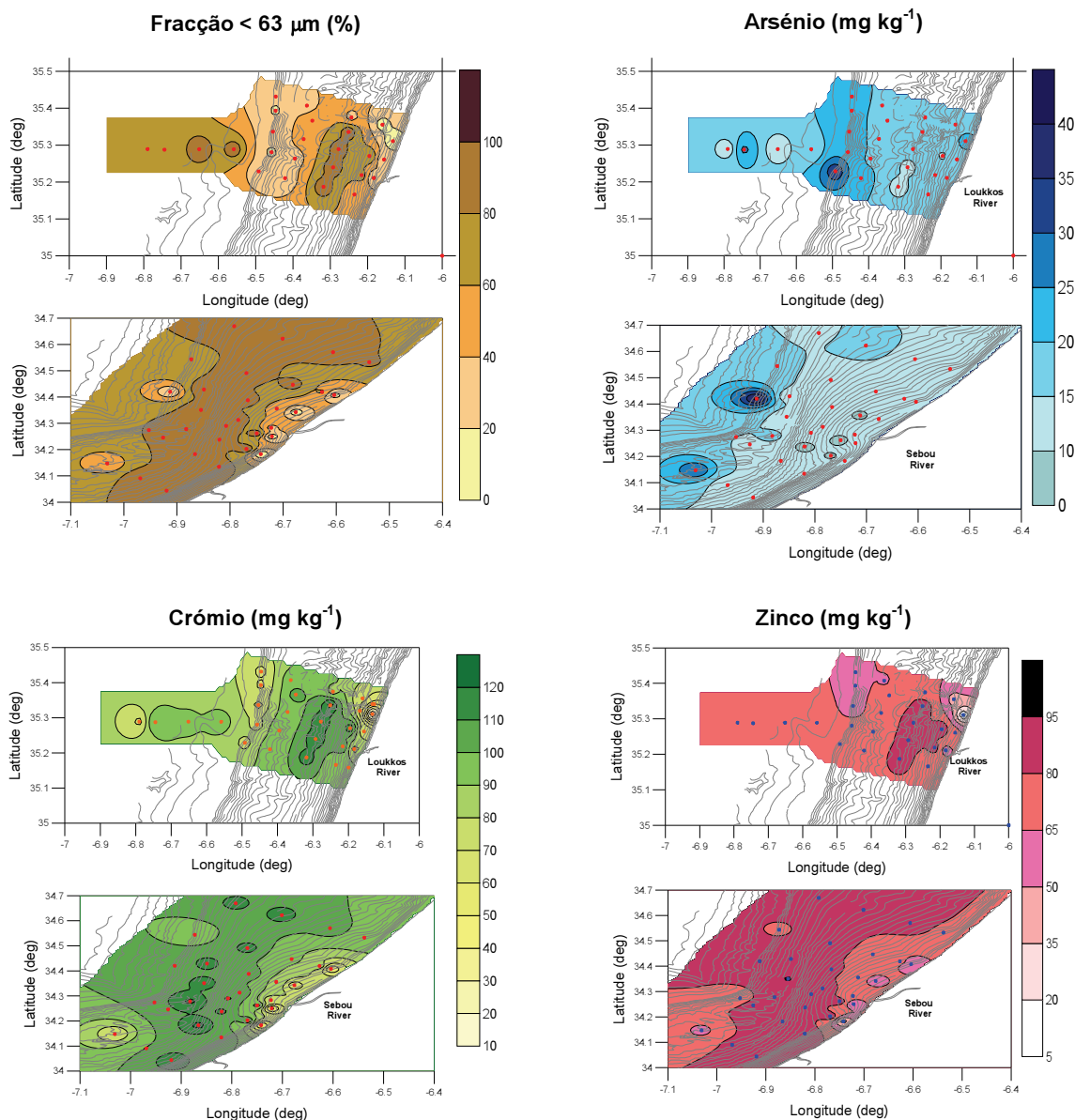


Figura 2 – Mapas de distribuição fracção < 63µm, arsénio, crómio e zinco

A interpretação dos dados através da normalização geoquímica pode ser efectuada através do factor de enriquecimento (FE) dado pela expressão:

$$FE = (Me/Al)_{\text{sedimento}} / (Me/Al)_{\text{background}}$$

(Me/Al)_{sedimento} refere-se à razão da concentração de metal e alumínio num determinado local e (Me/Al)_{background} refere-se a valores considerados de *background*, ou seja valores correspondentes a zonas não contaminadas.

Convencionalmente valores de FE entre 0,5 e 1,5 são indicativos de que o metal é proveniente de fontes naturais; valores de FE superiores a 1,5 indicam que o metal é proveniente de fontes biológicas, diagenéticas e antropogénicas (Mil-Homens, M., 2006).

Utilizando os valores de *background* de Martin e Meybeck (1979) para os metais Cr, Cu, Ni, Pb e Zn, foram calculados os factores de enriquecimento

(FE). Com excepção do Cr a maior parte destes factores são inferiores a 1,5 indicando uma origem natural. O Cr apresenta na maioria das estações FE superiores a 1,5 indicando que nestas zonas existe uma forte contribuição antropogénica deste metal.

No estudo de normalização verificam-se correlações significativas ($p < 0,05$) para os metais As, Cu, Ni, Zn e Cr com a fracção $< 63 \mu\text{m}$ (normalização textural) e com o Al e Fe (normalização geoquímica). O As apresenta correlação negativa com o Al nas duas áreas estudadas e com a fracção $< 63 \mu\text{m}$ na área de influência do rio Loukkos.

A Tabela II mostra as concentrações de referência (OSPAR, 2008) calculadas utilizando a concentração de metal normalizada com o Al e as razões recalculadas para uma composição de amostra de 5% de Al. Os valores tratados para esta área mostram valores médios de concentração inferiores aos valores de referência estimados pela OSPAR para os metais Cu, Ni, Pb e Zn. Para o As e Cr os valores médios são superiores aos valores da OSPAR (2008) indicando alguma contaminação antropogénica.

Tabela II – valores de referência da OSPAR (2008) e valores calculados para as amostras colhidas.

(OSPAR)		Loukkos		Sebou	
		Plataforma	Rio	Plataforma	Rio
As	15	39	21	14,0	6,48
Cr	60	111	86	82	80
Cu	20	16,4	16,6	15,2	25
Ni	45	18,3	12,5	18,0	16,7
Pb	25	4,49	1,99	4,59	6,55
Zn	90	88	88	68	101

4. CONCLUSÕES

Ao metais Al, Fe, Li e Mn, apresentam teores baixos e homogéneos em toda a zona estudada. O Cd e Pb apresentam valores baixos e ao nível do LQ. Os metais Cu, Zn, Ni apresentam valores sem variações significativas. De um modo geral estes metais apresentam valores mais elevados no rio Loukkos, embora não se verifiquem quaisquer influência nas plataformas adjacentes. Os sedimentos na plataforma continental adjacente aos rios Loukkos e Sebou apresentam valores de As e Cr superiores aos valores de referência estimados pela OSPAR (2008), pelo que se consideram contaminados nestes metais. A distribuição de Cr está associada à granulometria inferior a $63 \mu\text{m}$, ou seja à fracção silto-argilosa. Pelo contrário, o As está associado aos sedimentos bioclásticos predominantemente arenosos da plataforma externa. Esta distribuição diferente mostra que estes dois metais apresentam origens também diferentes. O FE calculado para o Cr

confirma uma fonte de contribuição antropogénica para este metal.

Agradecimentos

O projecto “Avaliação do impacto e do risco ecológico na contaminação química: promoção da gestão duradoura e integrada dos recursos marinhos” decorreu ao abrigo da cooperação entre o Centre National de Recherche Scientifique et Technique (CNRST) de Marrocos e o Gabinete de Relações Internacionais da Ciência e do Ensino Superior (GRICES), de Portugal no período 2008-2009. Agradece-se aos colegas Nadia Mhammdi e Ayoub Filali Zegzouti a colheita dos sedimentos nos rios Loukkos e Sebou. O projecto HERMIONE é financiado pela Comissão Europeia.

REFERÊNCIAS

- Balls, P.W., Hull, S., Miller, B.S., Pirie J.M., Proctor, W. (1997). Trace Metal in Scottish Estuarine and Coastal Sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 34, 1, 42-50.
- Smedes, F., de Bóer, J. (1997). Determination of Chlorobiphenyls in Sediments Analytical Methods. *Trends in Analytical Chemistry*, 16, 9 503-517.
- Loring, D.H. (1991). Normalization of heavy-metal data from estuarine and coastal sediments. *Journal of Marine Science*, 48, 101-115.
- Loring, D. H., Rantala, R.T. T. (1990). Techniques in Marine Environmental Sciences, 9, Sediments and Suspended particulate matter: Total and partial methods of digestion. International Council for the Exploration of the Sea, Copenhagen.
- Martin, J.M.; Meybeck, M. (1979). Elemental mass-balance of material carried by major world rivers. *Marine Chemistry*, 7, 173-206.
- Mil-Homens, M.(2006). “Assessment of Heavy Metal Contamination in Three Areas of the Portuguese Shelf” Doctoral Thesis, Earth Sciences Centre, Goteborg University.
- OSPAR Commission 2008, CEMP Assessment Manual, Co-ordinated Environmental Monitoring Programme Assessment Manual for Contaminants in Sediment and Biota. Monitoring and Assessment Series. 39pp.
- Phillips, D.J.H. (1995). The Chemistries and Environmental fates of Trace Metals and Organochlorines in Aquatic Ecosystem. *Marine Pollution Bulletin*, 31, 4, 193-200.
- Rowlatt, S.M., Lovell, D.R. (1994). Lead, Zinc and Chromium in Sediments Around England and Wales. *Marine Pollution Bulletin*, 28, 5, 324-329.

Classificação da Origem Geográfica de Ramas Petrolíferas usando Redes Neurais

C. Borges (1) (§), A. Rocha (1)

(1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 47 1249-093 Lisboa Portugal.

(§) Email: carlos.borges@hidrografico.pt

Resumo: O processo de identificação da origem do derrame de um produto petrolífero é habitualmente efectuado por comparação entre o produto derramado e um conjunto de amostras suspeitas, processo este que pode ser muito moroso, particularmente nos casos com grande número de amostras a analisar. A aplicação das redes neurais a este tipo de situação, em particular das redes de Kohonen, se bem que ainda recente e pouco evidenciado, tem demonstrado uma grande fiabilidade na determinação da origem geográfica de petróleos brutos.

Após o treino de redes de Kohonen efectuado com 263 amostras, provenientes de seis origens geográficas distintas e analisadas em condições analíticas distintas, foram testados quatro petróleos brutos de diferentes origens e duas misturas de petróleos. Apesar de os petróleos brutos terem sido correctamente classificados, e de as redes demonstrarem ser extremamente robustas, estas apresentam fragilidades no que se refere à classificação de misturas, particularmente quando há grandes diferenças entre os petróleos que as originaram.

Palavras chave: derrames petrolíferos, GC-MS, classificação geográfica, redes neurais

1. INTRODUÇÃO

Anualmente, são transportadas por via marítima milhões de toneladas de produtos petrolíferos, quer na sua forma bruta, quer como produtos derivados. Este grande volume de tráfego faz com que a existência de derrames destes produtos, quer devida a acidentes quer devida a operações ilegais como a lavagem de tanques fora das áreas permitidas, seja muito frequente.

Em Portugal, a situação é bem demonstrada, na sua dimensão, pelo número de acidentes reportados entre 1971 e 2000 – mais de 1600 – (Gouveia, 2001) e nas suas consequências, com danos mais ou menos profundos nos ecossistemas.

Enquanto que no caso de grandes desastres ambientais o causador é facilmente reconhecido e a imputação de responsabilidades é geralmente um processo claro, o mesmo já não se passa em derrames de menor dimensão, em que podem existir múltiplos suspeitos. É nestes casos que se torna necessária uma identificação o mais completa possível do produto derramado, de modo a que se possam tomar as medidas necessárias para permitir a imputação de responsabilidades ao culpado.

No entanto, nem sempre é fácil delimitar em tempo útil o número de suspeitos pois o trabalho de imputação de responsabilidades implica a recolha de amostras testemunho para comparação com o produto derramado. Assim, a situação ideal seria a de dispor de um sistema que permitisse indicar,

antes da recolha de amostras testemunho, qual a origem provável do derrame.

Dada a multiplicidade de acidentes registados, desde muito cedo se tentou caracterizar as diversas ramas petrolíferas, recorrendo-se a vários métodos analíticos de identificação ou a um método que permita o estudo simultâneo de um grande número de propriedades dos petróleos. O conjunto de características determinado constitui a chamada “impressão digital” (ou *fingerprint*) do produto analisado. Mais recentemente, tornou-se de uso comum o tratamento matemático e estatístico de algumas propriedades distintivas dos petróleos para encontrar semelhanças entre estes e, assim, correlacioná-los com a possível origem do derrame (Wang *et al*, 1999, Wang e Fingas, 2003). Em Portugal, o trabalho desenvolvido para a caracterização de produtos petrolíferos (Biscaya, 1997) tem por base a determinação analítica e tratamento matemático de um conjunto de compostos constituintes de petróleos – nomeadamente, alguns alcanos, hopanos, fenantrenos mono- e di-metilados e dibenzotiofenos – que são considerados como bons diferenciadores de diferentes origens geográficas.

Em termos da utilização de métodos quimiométricos recorrendo aos chamados “sistemas inteligentes” na classificação da origem geográfica de petróleos, pouco trabalho tem sido publicado (Fonseca *et al*, 2006, Borges *et al*, 2010).

Os “sistemas inteligentes”, acima referidos, recorrem a modelos matemáticos e algoritmos que tentam mimetizar o modo como o processamento da informação e a aquisição de conhecimentos são processados no cérebro humano. Dentre estes, destacam-se os modelos de redes neuronais de Kohonen,

As redes de Kohonen são um exemplo típico de redes neuronais de camada única onde os objectos são distribuídos numa superfície bidimensional (mapa) de forma que objectos (amostras) semelhantes, em termos dos seus descritores, - isto é, as razões entre compostos considerados diferenciadores - activam a mesma zona do mapa sendo os dados interpretados e tratados não só em função dos valores algébricos dos descritores como também nas possíveis relações entre eles.

O principal objectivo deste trabalho é estudar a capacidade das redes de Kohonen para classificar amostras de petróleos brutos e de misturas destes, usando redes treinadas a partir de dados provenientes de diferentes origens, nomeadamente provenientes de diferentes equipamentos, distintas condições operacionais e sujeitos a múltiplos estádios de degradação ambiental.

2. METODOLOGÍA

2.1 Metodologia Analítica

Como conjunto de teste a submeter a redes de Kohonen foram seleccionadas, da Base de Dados de Petróleos do Instituto Hidrográfico, quatro amostras de petróleos brutos, cuja origem geográfica era conhecida com algum grau de fiabilidade. De modo a testar também a capacidade de classificação de amostras contaminadas foram ainda testadas duas misturas de petróleos. Na Tabela seguinte encontra-se compilada a informação referente às amostras analisadas:

Tabela I – Amostras constituintes do conjunto de teste

Nº	ID BD-IH	Origem (Classe)	Código	Obs.
228	C/SOY	Angola	C	Origem suspeita
250	C/BNM	Nigéria	E	Origem conhecida
253	C/EKO	Mar Norte	A	Origem conhecida
255	C/ARM	Arábia	D	Origem conhecida
M1	----	----	----	Mistura 228:250 proporção 10:1
M2	----	----	----	Mistura 253:255 proporção 10:1

As amostras constantes da tabela anterior foram submetidas a um processo de extracção de modo a permitir a quantificação dos compostos de interesse e analisadas por GC-MS usando um Cromatógrafo Gasoso Agilent 6890N associado a um Espectrómetro de Massa Agilent 5975B. Uma descrição mais detalhada das condições de preparação e análise pode ser encontrada na literatura (Biscaya, 1997, Borges, 2007).

Quanto ao conjunto de treino, foram compilados os dados disponíveis referentes a um conjunto de 38 petróleos brutos, não degradados e sujeitos a diversos estádios de degradação ambiental, num total de 263 amostras, provenientes de seis áreas geográficas distintas.

O trabalho de análise por GC-MS referente aos dados que constituem o conjunto de treino foi efectuado por Biscaya (1997) e Borges (2007) em condições distintas (equipamentos e condições operacionais) no âmbito de outros projectos.

2.2. Metodologia Computacional

Após a análise química e compilação dos dados do conjunto de treino foram quantificados os compostos de interesse, de modo a determinar os 22 descritores a submeter a tratamento computacional. Como referido anteriormente, estes descritores consistem em razões entre áreas de picos cromatográficos de compostos considerados bons diferenciadores. Na Tabela II encontram-se discriminados os diversos descritores.

De modo a tornar igual o impacto de todos os descritores para o treino da rede neuronal, os dados obtidos foram normalizados, por aplicação da equação:

$$N_i = -\frac{\bar{X} - X_i}{\sigma}$$

N_i – Valor normalizado do descritor na amostra i

\bar{X} – Valor médio do descritor

X_i – Valor normalizado do descritor na amostra i

σ – Desvio padrão do descritor

Desta forma, a média dos valores de cada descritor normalizado é 0 e o seu desvio padrão é 1.

Os valores normalizados dos descritores das amostras do conjunto de teste foram depois calculados por aplicação da mesma equação e usando os valores de média e desvio padrão determinados para o conjunto de treino.

O treino das redes de Kohonen foi efectuado usando o software JATOON – Java Tools for Neural Networks (Aires-de-Sousa, 2002), versão 2.18j^(*).

Esta versão apresenta, relativamente a trabalhos anteriormente desenvolvidos (Fonseca *et al*, 2005, Borges *et al*, 2010), algumas melhorias, sobretudo na definição de um novo parâmetro, RMSdist, que fornece uma medida de quão perto os neurónios ficaram dos valores de input.

De modo a encontrar-se a rede que apresentava os melhores resultados, isto é, o melhor aglomerado das diversas classes pré-definidas, foram efectuados testes prévios em que se fez variar o tamanho da rede (*size of network*), o número de ciclos de treino

(*) Versão 1.06 disponível em URL:

<http://www.dq.fct.unl.pt/staff/jas/jatoon>

(number of epochs) e o raio inicial de aprendizagem (initial learning span), RIA. A partir destes testes foi definido que as redes que apresentavam melhores resultados deveriam ter um tamanho de 17×17, com RIA=8, submetidas a 1000 ciclos de treino, e com um valor de RMSdist igual ou inferior a 0,125. Uma vez definidos estes parâmetros, foram treinadas as redes, sendo guardadas, para submissão dos dados de teste, as cinco redes que apresentavam o melhor aglomerado para as diversas classes geográficas. A estas redes foi depois submetido o conjunto de teste.

Tabela II - Listagem dos descritores utilizados na classificação de petróleos; descritores 1 a 9: razões entre compostos da família dos hopanos; descritores 10 a 21: razões entre compostos metil-aromáticos; descritor 22: razão entre alcanos seleccionados.

Descritor	Designação ^a
1	18α(H)-22,29,30-Trisnorhopano / 17α(H),21β(H)-Hopano
2	17α(H)-22,29,30-Trisnorhopano / 17α(H),21β(H)-Hopano
3	17α(H),18α(H),21β(H)-28,30-Bisnorhopano / 17α(H),21β(H)-Hopano
4	17α(H),21β(H)-30-Norhopano / 17α(H),21β(H)-Hopano
5	(22S)17α(H),21β(H)-30-Homohopano / 17α(H),21β(H)-Hopano
6	(22R)17α(H),21β(H)-30-Homohopano / 17α(H),21β(H)-Hopano
7	(22S)17α(H),21β(H)-30,31-Bishomohopano / 17α(H),21β(H)-Hopano
8	(22R)17α(H),21β(H)-30,31-Bishomohopano / 17α(H),21β(H)-Hopano
9	18α(H)-Oleanano / 17α(H),21β(H)-Hopano
10	(3-MF + 2-MF) / (1,3-DMF + 2,10-DMF + 3,9-DMF + 3,10-DMF + 1,6-DMF + 2,9-DMF + 1,7-DMF)
11	(9-MF + 1-MF) / (1,3-DMF + 2,10-DMF + 3,9-DMF + 3,10-DMF + 1,6-DMF + 2,9-DMF + 1,7-DMF)
12	3-MF / (9-MF + 1-MF)
13	2-MF / (9-MF + 1-MF)
14	1-MF / 9-MF
15	4-MDBT / (1,3-DMF + 2,10-DMF + 3,9-DMF + 3,10-DMF + 1,6-DMF + 2,9-DMF + 1,7-DMF)
16	(3-MDBT + 2-MDBT) / 4-MDBT
17	1-MDBT / 4-MDBT
18	(1,6-DMF + 2,9-DMF) / (1,3-DMF + 2,10-DMF + 3,9-DMF + 3,10-DMF)
19	1,7-DMF / (1,3-DMF + 2,10-DMF + 3,9-DMF + 3,10-DMF)
20	(2,6-DMF + 2,7-DMF) / (1,3-DMF + 2,10-DMF + 3,9-DMF + 3,10-DMF)
21	(2,3-DMF + 1,9-DMF + 1,8-DMF) / (1,3-DMF + 2,10-DMF + 3,9-DMF + 3,10-DMF)
22	C ₁₈ /F

^a MF – metilfenantreno; DMF – dimetilfenantreno; MDBT – metildibenzotiofeno

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De modo a melhorar a fiabilidade das previsões efectuadas pelas redes de Kohonen os dados, tanto do conjunto de treino como do conjunto de teste,

foram submetidos às cinco redes guardadas, de modo a obter as previsões individuais. Foi ainda definido o parâmetro “previsão de consenso”, associado a um grau de confiança, definido como a previsão obtida para o conjunto das redes individuais.

Na Tabela seguinte encontra-se resumida a informação relativa à classificação das amostras de treino para cada uma das redes treinadas.

Tabela III – Previsões geradas por 5 redes individuais para o conjunto de treino (263 amostras)

Rede	1	2	3	4	5	Consenso
Class. Correcta	263	263	262	263	263	263
%	100	100	99,6	100	100	100
Class. Errada	0	0	1	0	0	0
%	0	0	0,4	0	0	0
Class. Indeterminada	0	0	0	0	0	0
%	0	0	0	0	0	0

Faz-se notar que apenas para uma das redes treinadas, a percentagem de sucesso de classificação não é de 100%, devido a uma amostra da classe D ter sido classificada como E. No entanto, esta classificação errada não coloca em questão a validade dos resultados uma vez que de acordo com a previsão por consenso esta amostra apresenta uma classificação correcta com um grau de confiança de 4 (num máximo de 5)

Com base no mesmo raciocínio submeteu-se às mesmas redes o conjunto de teste, daqui resultando a informação coligida na Tabela IV:

Tabela IV – Previsões geradas por 5 redes individuais para o conjunto de teste (6 amostras)

Amostra	Classe	Grau de Confiança	Observações
228	C	4/5	1 Class. como A
250	E	5/5	
253	A	5/5	
255	D	5/5	
M1 (228+250)	C	3/5	2 Class. como A
M2 (253+255)	E	3/5	1 Class. como B e 1 Class. Indeterminada

Os resultados obtidos para os petróleos brutos estão concordantes com a informação previamente disponível, apresentando sempre um alto grau de confiança (4 ou 5 num máximo de 5), estando definido que em condições de rotina e para petróleos brutos, um grau de confiança 3 é ainda aceitável. No caso particular da amostra 228, em que a informação disponível não permitia definir com precisão a sua origem, os resultados da submissão às redes vêm confirmar as suspeitas iniciais quanto à sua origem geográfica.

Quanto às misturas analisadas, apesar de as redes lhes atribuírem preferencialmente uma determinada origem, o grau de confiança na previsão (3 em 5) é considerado pelos autores como sendo baixo, particularmente para a mistura M2, a que é atribuída a classe E, quando ela resulta da mistura de

petróleos das classes A (Mar do Norte) e D (Arábia), muito diferentes entre si. Quanto à mistura M1, apesar de classificada preferencialmente como C, tal deve-se, provavelmente, ao facto de resultar da mistura de petróleos com algumas características semelhantes e em que o petróleo classificado como C é o constituinte maior da mistura, o que permite a diluição do efeito de contaminação pelo segundo petróleo.

Na figura seguinte apresenta-se o mapa de Kohonen resultante do treino de uma das redes obtidas, encontrando-se nele assinalados os neurónios activados pelas amostras do conjunto de teste e onde se pode observar o comportamento descrito para as misturas M1 e M2.

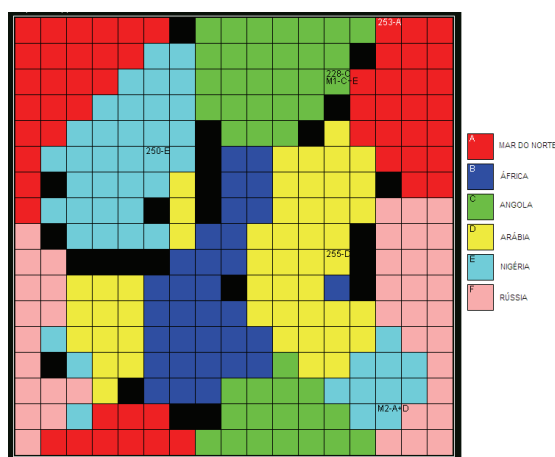


Fig. 1. Mapa de Kohonen (17 × 17 com RIA=8) resultante do treino com 263 amostras representadas por 22 descritores e com o mapeamento do conjunto de teste (amostras identificadas consoante a Tabela I).

4. CONCLUSÕES

Em função dos resultados, pode-se concluir que as redes neuronais constituem uma boa ferramenta na classificação da origem geográfica de petróleos brutos. Estas redes mostram ainda ser bastante robustas pois demonstram uma boa capacidade de classificação quando lhe são submetidos dados de origem distinta da do treino.

Para além de tudo o acima exposto, a grande vantagem de se dispor desta ferramenta automática advém do facto de a sua utilização ser extremamente expedita, o que permite que, em caso de desconhecimento do causador de um derrame, ela seja usada para reduzir uma lista extensa de possíveis fontes do derrame a alguns, poucos, suspeitos.

Realça-se que, idealmente, as bases de dados devem ser construídas com amostras envelhecidas e não envelhecidas e serem provenientes de um leque o mais alargado possível de origens geográficas, de modo a que o conjunto de treino constituído seja abrangente.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Doutor João Aires-de-Sousa a gentil cedência da versão do software Jatoon utilizada no presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- Aires-de-Sousa, J., (2002). JATOON: Java Tools for Neural Networks, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 61, 167-173.
- Biscaya, J. L., (1997). *Parâmetros Quimiométricos para Identificação / Classificação de Derrames de Produtos Petrolíferos*, Dissertação de Doutoramento, Universidade Nova de Lisboa. 310 pp.
- Borges, C., (2007). *Estudo do Factor Envelhecimento na Classificação Geográfica Automática de Ramas Petrolíferas*, Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa, 101 pp.
- Borges, C., Gómez-Carracedo, M.P., Andrade, J.M., Duarte, M.F., Biscaya, J.L., Aires-de-Sousa, J. (2010). Geographical Classification of weathered crude oil samples with unsupervised self-organizing maps and a consensus criterion, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 101, 43-55.
- Fonseca, A. M. P., (2005). *Classificação Geográfica Automática de Petróleos Brutos*, Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa. 154 pp.
- Fonseca, A. M., Biscaya, J. L., Aires-de-Sousa, J., Lobo, A. M.. (2006). Geographical classification of crude oils by Kohonen self-organizing maps, *Analytica Chimica Acta*, 556, 374-382.
- Gouveia, J. A. V., 2001. *Os Espaços Marítimos no Contexto do Ordenamento do Território Português: Contributo para uma Abordagem Integrada*, Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa.
- Wang, Z., Fingas, M.F., Page, D. S., (1999). Oil spill identification, *Journal of Chromatography A*, 843, 369-411.
- Wang, Z., Fingas, M. F., (2003). Development of oil hydrocarbon fingerprinting and identification techniques, *Marine Pollution Bulletin*, 47, 423-452.

Hidrografia

Contributo para a interpretação dos requisitos dos levantamentos hidrográficos estabelecidos na S-44

F. Artilheiro (1), R. da Silva (1), C. Monteiro (1)

(1) Instituto Hidrográfico - Rua das Trinas, 49 1249-093 Lisboa; freitas.artilheiro@hidrografico.pt

Resumo: A publicação S-44 “Normas para Levantamentos Hidrográficos” (5.^a Edição, de Fevereiro de 2008) estabelece os requisitos mínimos dos levantamentos hidrográficos, para preparação da cartografia náutica, com os principais propósitos de segurança da navegação de superfície e de protecção do ambiente marinho.

A elaboração da 5.^a edição desta publicação foi motivada pela necessidade de redefinir alguns dos aspectos que, embora já constassem na edição anterior (4.^a Edição, de 1998), necessitavam de clarificação e de adaptação às novas tecnologias de sondagem, em particular à nova geração de sistemas sondadores multifeixe de elevada resolução.

Neste artigo são analisados e discutidos os requisitos de detecção de obstruções, de busca total do fundo e das incertezas horizontal e vertical para as diferentes ordens de levantamentos. Estes são os aspectos mais sensíveis e que condicionam a utilização dos sistemas de medição de profundidades.

Palavras chave: hidrografia, multifeixe, incerteza, capacidade de detecção, insonificação

1. INTRODUÇÃO

Os requisitos para os levantamentos hidrográficos são definidos pela Organização Hidrográfica Internacional (OHI) através da publicação S-44 “Normas para Levantamentos Hidrográficos” (OHI, 2008).

A 1.^a edição da S-44, publicada em 1968, intitulada “Padrões de exactidão recomendados para Levantamentos Hidrográficos”, limitava-se à definição da densidade e exactidão das medições necessárias à representação do fundo do mar, de forma suficientemente exacta, para fins de navegação. Desde então, as tecnologias e os procedimentos evoluíram e grupos de trabalho, constituídos por técnicos dos Estados membros da OHI, procederam à actualização da S-44, tendo as capacidades adicionais dos sondadores multifeixe levado a OHI, em 1998, a actualizar as normas para a realização de levantamentos hidrográficos (publicação S-44, 4.^a Edição), adaptando-as a esta tecnologia. No entanto, tratando-se de uma tecnologia emergente e pela reduzida experiência na sua utilização, desde muito cedo os Serviços Hidrográficos sentiram a necessidade de clarificar alguns aspectos desta norma que culminou, em 2008, com numa nova edição orientada, essencialmente, para os levantamentos com sondadores multifeixe.

O mandato do Grupo de Trabalho criado para preparar a 5.^a edição da S-44 (GT S-44) incluía, entre outros aspectos, a clarificação da definição de estruturas submarinas, da capacidade de detecção

dos sistemas, assim como as características das estruturas que devem ser detectadas.

Foi parecer do GT S-44 que a referida publicação deve estabelecer padrões mínimos, sendo competência das autoridades nacionais a definição mais precisa das características das estruturas relevantes que devem ser detectadas e a determinação da capacidade de detecção dos sistemas de sondagem. O GT S-44 concluiu ainda que a concepção e construção de alvos utilizados para demonstrar as capacidades de detecção do sistema deve ser definida pelas autoridades nacionais, sendo a referência às estruturas cúbicas, com 1 ou 2 metros de aresta, utilizada como uma base de compreensão do tamanho das estruturas que devem ser detectadas. Este é um “Cubo de Rubik” que foi passado para os Serviços Hidrográficos.

A interpretação e estudo que se segue tem por base os requisitos mínimos para os levantamentos hidrográficos definidos na 5.^a edição da S-44. Este artigo tem como principal objectivo contribuir para a discussão de aspectos que, pela sua subjectividade, podem constituir-se como uma resistência à realização dos levantamentos com requisitos mais restritos, como sejam os levantamentos de Ordem Especial.

2. REQUISITOS DOS LEVANTAMENTOS HIDROGRÁFICOS

Em função da área a sondar e do tipo de navegação esperada, os levantamentos hidrográficos são classificados em quatro ordens: Especial, 1a, 1b e 2. A Tabela 1 apresenta os requisitos mínimos para as

ordens de levantamentos hidrográficos. As incertezas máximas admissíveis para a medição de profundidades e para o respectivo posicionamento são referidas a um nível de confiança de 95%. Os factores a e b , referem-se, respectivamente, a erros independentes da profundidade e a um coeficiente multiplicativo para a determinação do erro variável com a profundidade. A incerteza vertical é determinada por aplicação, para cada ordem de levantamento, da equação:

$$\sqrt{a^2 + (b \cdot z)^2}$$

em que z é a profundidade reduzida.

Ordem	Máxima Incerteza Vertical	Máxima Incerteza Horizontal	Capacidade de Detecção do Sistema	Máximo Espaço entre Feadas
Especial	$a=0,25$ m $b=0,0075$	2 m	Estruturas cúbicas com aresta superior a 1 m	Não aplicável (requerida busca total do fundo)
1	$a=0,5$ m $b=0,013$	$5m+0,05Z$	Estruturas cúbicas com aresta superior a: 2 m, $Z \leq 40$ m 10%Z, $Z > 40$ m	Não aplicável (requerida busca total do fundo)
			Não aplicável	Max (25 m ; $3Z_{\text{média}}$)
2	$a=1,0$ m $b=0,023$	$20m+0,01Z$	Não aplicável	$3Z_{\text{média}}$

Tabela 1 - Requisitos mínimos dos levantamentos hidrográficos

Porém, para os levantamentos com requisitos mais exigentes, a “busca total do fundo”¹ e a “capacidade de detecção dos sistemas” são aspectos que carecem de algum enquadramento, ao nível dos objectivos da entidade contratante e ao nível operacional, para o seu cumprimento pelo executante.

Conforme Tabela 1, são requisitos mínimos a busca total do fundo e a utilização de sistemas com capacidade de detecção de estruturas cúbicas de 1 e de 2 metros de aresta, respectivamente para levantamentos hidrográficos de Ordem Especial e de Ordem 1 a, em profundidades inferiores a 40 metros.

Os procedimentos para a realização e processamento dos levantamentos hidrográficos, não se encontram no âmbito da S-44, sendo referidos no Manual de Hidrografia da OHI (OHI, 2005). Mas, este Manual também não refere procedimentos ou orientações para a detecção das estruturas cúbicas.

¹ Método sistemático de exploração do fundo marinho, realizado com o objectivo de detectar a maioria das estruturas especificadas na Tabela I, utilizando sistemas de detecção adequados, procedimentos apropriados e pessoal treinado (OHI, 2008).

3. ANÁLISE DOS REQUISITOS

A busca total do fundo pode ser obtida através da cobertura por sondador multifeixe ou através de cobertura por sonar lateral, sendo que, neste caso, nas áreas onde forem detectadas eventuais obstruções é necessário, posteriormente, medir a profundidade mínima.

A busca total do fundo, conforme utilizada na S-44, tem por objectivo determinar as profundidades mínimas com relevância para a segurança da navegação, assegurando a detecção das estruturas cúbicas previstas na Tabela 1, ou de dimensões menores definidas nas especificações técnicas.

É de salientar que o conceito de busca total do fundo não deve ser confundido com cobertura total do fundo (sinónimo de insonificação total do fundo), sendo este conceito de difícil execução e monitorização (Miller *et al.*, 1997). Na prática, é muito difícil atingir a insonificação total ou cobertura total do fundo, sendo desaconselhada a utilização de tais expressões.

Presente o objectivo da busca total do fundo, deve ser garantido que, as estruturas cúbicas são detectadas e validadas. Neste caso considera-se que o melhor indicador é o número de medições de profundidade efectuadas sobre a estrutura, i.e., a densidade de medições por unidade de área.

A garantia da validação dessas estruturas, exige um número de medições suficiente, por forma a que, durante o processamento e limpeza dos dados essas medições sejam tomadas como representativas do fundo e devidamente validadas. A experiência mostra que, para preservar uma estrutura, é necessário que exista consistência e continuidade entre as medições efectuadas longitudinalmente, entre impulsos consecutivos, e transversalmente, entre feixes do mesmo impulso. Para este efeito, seguindo os exemplos de outros Serviços Hidrográficos como o United States Corps of Engineers (USACE, 2002) e o Land Information New Zealand (LINZ, 2008), considera-se que, para assegurar a detecção e validação de estruturas, devem ser efectuadas pelo menos 9 medições de profundidade sobre a face superior.

Com base nesta informação é possível planear um levantamento hidrográfico para corresponder, teoricamente, a este requisito. Na prática, a situação é mais complexa, pois a atitude da embarcação e estabilização dos feixes têm uma influência significativa na distribuição das medições e consequentemente na sua densidade.

As estruturas naturais, salientes do fundo, correspondem em geral a rochas ou estruturas dunares. Assim, as estruturas alvo deste estudo são essencialmente de natureza antropogénica, tipicamente destroços diversos, contentores e materiais utilizados em obras portuárias. Salvo os

contentores, que apresentam uma forma paralelipipédica, as restantes apresentam formas pouco previsíveis. Consoante a área de trabalho e o seu conhecimento prévio, assim se deve definir as características das estruturas a detectar.

A capacidade de detecção do sistema é uma função complexa de múltiplos factores. Dos factores intrínsecos ao sistema é de considerar o seguinte: algoritmo de detecção do fundo, frequência acústica, abertura do feixe transmitido, abertura do feixe formado na recepção, estabilização do feixe relativamente à atitude da plataforma de sondagem. Dos factores extrínsecos, referentes às condições e ao ambiente de operação, é de considerar o seguinte: velocidade da embarcação, profundidade média, ângulo de sítio (entre a vertical da embarcação e a posição da estrutura); constituição, rugosidade ou textura, forma e orientação da estrutura.

A combinação destes factores leva a um elevado número de hipóteses, cuja avaliação, além de dispendiosa, se revela, em geral, de pouco interesse prático.

Os Serviços Hidrográficos ao adquirirem sondadores multifeixe, definem especificações técnicas que permitam a sua efectiva utilização, com o cumprimento dos requisitos da S-44. Assim, devem ser os fabricantes a assegurar que a sua tecnologia satisfaz esses requisitos, em particular no que respeita à capacidades de detecção. Porém, os utilizadores são responsáveis pela sua correcta operação, o que pressupõe conhecimento profundo dos sistemas, experiência na sua utilização, no processamento dos dados e na sua interpretação.

4. METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA DETECÇÃO DE ESTRUTURAS

Após garantida a adequabilidade do sistema multifeixe para o levantamento hidrográfico, i.e., a estimação das incertezas horizontal e vertical total (Artilheiro e Vicente, 2009), deve ser estimada a densidade de sondas (número de sondas por metro quadrado), por forma a cumprir o requisito de detecção das estruturas cúbicas.

Para este efeito foi desenvolvido um modelo que tem por base a geometria das medições efectuadas, tendo em consideração as características técnicas do sistema e as condições de operação.

As figuras 1. e 2. apresentam a estimação da densidade de sondas ao longo de uma faixa sondada para dois modelos de sondadores (Kongsberg, 2001 e 2004). Estes modelos permitem avaliar a busca total do fundo, e ajustar o espaçamento entre fiadas ou a velocidade da embarcação para assegurar a condição de detecção das estruturas cúbicas.

Os resultados apresentados consideram apenas as sondas na parte superior da estrutura cúbica. Porém,

estas medições só serão efectuadas caso a reflexão dessa superfície seja difusa.

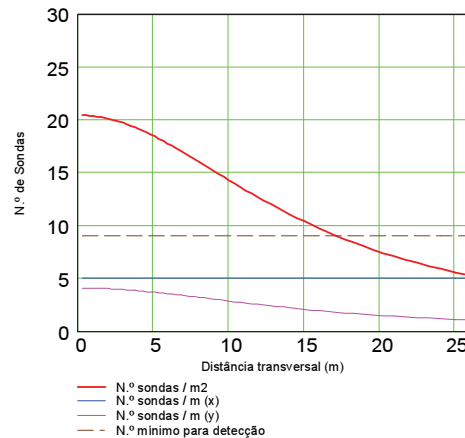


Figura 1 – Densidade de medições do sistema Kongsberg EM 3000 para uma profundidade de 15 m, considerando: velocidade de sondagem 8 nós; abertura do feixe transmitido = 120°; 129 feixes formados na recepção, com espaçamento equiangular.

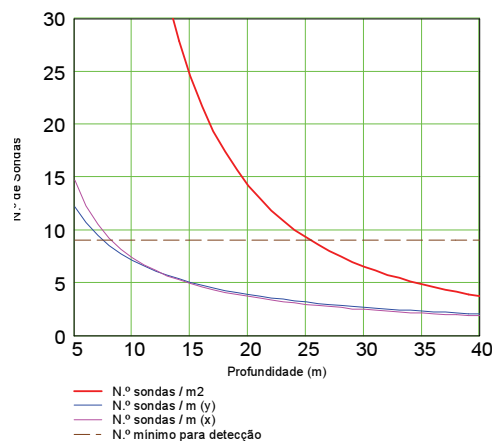


Figura 2 – Densidade de medições do sistema Kongsberg EM 3002 em função da profundidade, considerando: velocidade de sondagem 8 nós; abertura do feixe transmitido = 120°; 254 feixes formados na recepção, com espaçamento equidistante.

Caso as irregularidades da superfície sejam pequenas, relativamente ao comprimento da onda acústica, tem-se apenas reflexão especular, fazendo a onda reflectida um ângulo de igual valor, mas de sentido contrário, ao do ângulo da onda incidente. Assim, na presença de objectos com superfícies regulares ou polidas, a detecção só será possível através de reflexões múltiplas entre o fundo e o objecto.

A Figura 3. apresenta a modelação da detecção de uma estrutura cúbica de 1 m de aresta através de reflexão múltipla, no fundo e na face lateral dessa estrutura, sendo possível concluir que a profundidade mínima detectada é função da distância transversal. Os resultados são mais satisfatórios na parte exterior da faixa sondada.

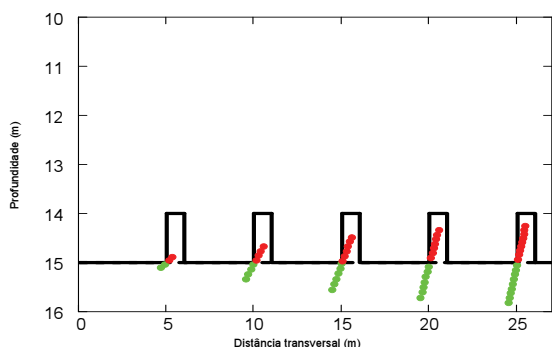


Figura 3 – Simulação da detecção da face lateral de uma estrutura cúbica de superfície regular, com 1m de aresta, através do sondador Kongsberg EM 3002, numa profundidade de 15 m.

Conhecendo a densidade estimada de sondas, é possível avaliar o cumprimento de busca total do fundo e identificar áreas onde, a diferença significativa entre a densidade de medições efectuadas e a densidade estimada se revela um bom indicador da existência de obstáculos à propagação da energia acústica.

5. DISCUSSÃO E RESULTADOS

No cumprimento dos requisitos de detecção é essencial, como garantia da segurança da navegação, a detecção de estruturas e obstruções existentes no fundo do mar.

A análise apresentada neste artigo deve ser tomada como um indicador ou base de trabalho que fundamente o cumprimento dos requisitos de detecção constantes na S-44.

O sucesso na detecção e validação de sondas mínimas sobre obstáculos, é conseguida através de uma utilização cuidada dos sondadores multifeixe, nas fases de planeamento, execução, processamento e controlo da qualidade dos dados.

Nos levantamentos efectuados com os sondadores multifeixe, tem-se constatado a existência de um número reduzido de obstruções com as características definidas na S-44. Na Figura 4 é apresentado um desses casos onde é detectada uma estrutura com uma dimensão aproximada de 1m³.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste contributo para a interpretação dos requisitos da S-44 foram apresentadas algumas condições para assegurar a busca total do fundo e uma adequada detecção de estruturas.

O modelo teórico de estimação da densidade de sondas é uma ferramenta com aplicação no planeamento dos levantamentos hidrográficos com requisitos mais exigentes, como por exemplo os levantamentos de Ordem Especial. A sua utilização também é útil durante a avaliação do levantamento

para a compreensão e interpretação dos resultados finais.

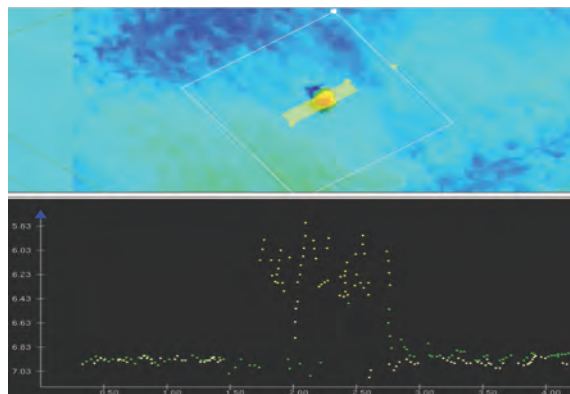


Figura 4 – Detecção de caixote com dimensão aproximada de 1m³.

REFERÊNCIAS

- Artalheiro, F., Vicente, J. (2009). Requisitos para os Levantamentos Hidrográficos e Capacidades dos Sistemas Utilizados. *Actas da Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia*.
- Kongsberg (2001). EM 3000 Multibeam Echo Sounder - Operator Manual. Kongsberg Maritime.
- Kongsberg (2004). EM 3002 Multibeam Echo Sounder - Operator Manual. Kongsberg Maritime.
- Miller, J., Hughes Clarke, J., Paterson J. (1997) How Effectively Have You Covered Your Bottom?. *The Hydrographic Journal*, N.º 83.
- LINZ (2008). *Contract Specifications for Hydrographic Surveys*. Version 1.1. Land Information New Zealand
- OHI (2005). *M-13 - IHO Manual on Hydrography*. 1ª Edição, Organização Hidrográfica Internacional.
- OHI (2008). *S44 - IHO Standards for Hydrographic Surveys*. 5ª Edição, Organização Hidrográfica Internacional.
- USACE (2002). *Hydrographic Surveying Manual*. United States Corps of Engineers.

Levantamentos hidrográficos para fins especiais: dragagens

L. Veiga (1), R. da Silva (1), F. Artilheiro (1)

(1) Divisão de Hidrografia, Instituto Hidrográfico (IH); leonor.veiga@hidrografico.pt

Resumo: No Instituto Hidrográfico (IH) os levantamentos hidrográficos são realizados por forma a cumprir as normas da Publicação Especial S-44 (5^a edição, Fevereiro 2008) da Organização Hidrográfica Internacional (OHI). Esta publicação tem como objectivo proporcionar um conjunto de requisitos mínimos de execução dos levantamentos hidrográficos para produção de cartografia náutica, visando a segurança da navegação de superfície e protecção do ambiente marinho.

As organizações podem ter que estabelecer requisitos mais rigorosos, para fins especiais, como sejam os trabalhos de dragagem.

Preende-se avaliar desses requisitos nas fases de aquisição, processamento e modelação dos dados provenientes dos levantamentos hidrográficos, quando o objectivo é que estes sirvam trabalhos de dragagem nas duas situações típicas: quantificação do material a dragar (levantamento pré-dragagem) e avaliação do cumprimento da dragagem (levantamento pós-dragagem).

Palavras chave: Normas S-44, incerteza, dragagens.

1. INTRODUÇÃO

Os levantamentos hidrográficos são um elemento chave no acompanhamento dos trabalhos de dragagem.

A sua realização justifica-se nas situações seguintes:

- detecção das necessidades de dragagem e quantificação do trabalho a realizar;
- definição da situação inicial do fundo, se efectuado imediatamente antes da dragagem – levantamento pré-dragagem;
- quantificação de volumes intermédios, se efectuado no decorrer dos trabalhos de dragagem;
- verificação da concordância entre os planos de dragagem planeado e executado, se efectuado no final da dragagem – levantamento pós-dragagem. Este levantamento tem como objectivo avaliar se o fundo se encontra à profundidade pré-estabelecida, garantir que as tolerâncias da dragagem foram respeitadas e quantificar o volume efectivamente dragado, pela diferença entre as situações hidrográficas final e inicial do fundo submarino, se assim estabelecido como método de quantificação.

Para assegurar a fiabilidade dos cálculos de volume como se pode melhorar o processo de planeamento, aquisição e tratamento de dados de um levantamento hidrográfico?

Para tentar responder a esta questão, a qual constitui preocupação desta apresentação, pretende-se analisar algumas normas para levantamentos hidrográficos, avaliar o seu impacto no cálculo de volumes, descrever os factores que contribuem para a

incerteza da medição de profundidades e fazer algumas recomendações.

2. NORMAS PARA LEVANTAMENTOS HIDROGRÁFICOS

O objectivo das normas da Publicação Especial S-44 (5^a edição, Fevereiro 2008) da OHI é proporcionar um conjunto de requisitos mínimos de execução dos levantamentos hidrográficos para produção de cartografia náutica. Assim, é questionável se estes requisitos são suficientes para levantamentos de apoio a trabalhos de dragagem.

Organizações há que criaram as suas próprias normas, outras adaptaram as normas S-44 às suas necessidades. Em geral, estas alterações são no sentido da menor incerteza.

Prende-se, de uma forma sucinta, apresentar algumas dessas normas.

Para tal, é relevante começar por definir o conceito de incerteza.

2.1 Incerteza de medição

Os resultados de uma medição afastam-se do verdadeiro valor da grandeza medida de uma quantidade denominada **erro de medição**.

Porque o verdadeiro valor da grandeza não é conhecido, os erros de medição também não o são. Por este motivo e, porque os efeitos sistemáticos e aleatórios não são facilmente diferenciáveis, surge a noção de **incerteza de medição**.

Segundo o Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia (INEMETRO, 2000), a incerteza de medição é o parâmetro

associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentalmente atribuídos a uma grandeza medida (mensuranda).

O método clássico de avaliação de incertezas tem por base a propagação de incertezas (desvios padrão) através do modelo matemático da medição, o que possibilita individualizar o efeito de cada contribuição para a incerteza. Genericamente, estas contribuições podem ser devidas a: equipamento de medição, operação do equipamento, procedimentos utilizados, condições ambientais e modelos matemáticos utilizados.

2.2 Normas S-44 (OHI)

Os levantamentos hidrográficos são classificados em quatro ordens: especial, 1a, 1b e 2, em função da profundidade, da área a sondar e do tipo de navegação esperada.

Os levantamentos hidrográficos de **ordem especial** são efectuados em áreas críticas, com características potencialmente perigosas para a navegação e onde a navegação típica tem reduzido resguardo ao fundo. São exemplos destas áreas, os portos e respectivas aproximações, as zonas de atracação e os canais de navegação, em que a margem de segurança é muito pequena. Um levantamento hidrográfico de ordem especial requer obrigatoriamente uma busca total do fundo e a detecção de estruturas de pequena dimensão (Hidrográfico, 2008).

As restantes ordens adequam-se a condições menos restritivas, pelo que não são objecto de análise nesta apresentação.

O conceito de incerteza horizontal refere-se à incerteza na posição da profundidade e das obstruções detectadas. Embora seja uma quantidade bidimensional pode ser representada por um valor que descreve a distribuição radial dos erros em torno do valor verdadeiro.

A incerteza vertical é a incerteza das profundidades reduzidas (d). Para um nível de confiança de 95%, é dada por:

$$IV_{95\%} = \sqrt{a^2 + (b \cdot d)^2} \quad (1)$$

Sendo a a componente independente da profundidade e b o coeficiente que representa a porção de incerteza que varia com a profundidade.

2.3 Outras normas (Pim Kuus, 2006)

o *Rijkswaterstaat (RWS)*

É uma organização governamental Holandesa que adaptou as normas S-44 fazendo a distinção entre normas para levantamentos a multifeixe e para levantamentos a feixe simples. Distingue ainda cobertura acústica (em unidades de área ou percentagem) de densidade das medições (expressa em número de sondas por célula).

Para cálculo da incerteza vertical é usada a expressão (1) acrescida de um valor c que só é aplicado em situações muito particulares (de suspeita de condições que propiciam o aumento da incerteza). Esta constante resulta de um valor estimado com base nos levantamentos executados pela RWS.

o *International Marine Contractors Association (IMCA)*

Adaptou as normas S-44, considerando para as incertezas verticais, múltiplos das incertezas das normas S-44.

Distingue quatro ordens de levantamentos, sendo a primeira a que apresenta requisitos mais rigorosos. Recomenda esta ordem para levantamentos de apoio a dragagens.

Impõe um tamanho mínimo de célula para os modelos digitais de terreno (MDT), em função da profundidade.

o *Swedish Maritime Association (SMA)*

Baseia-se nas normas S-44 mas cria uma ordem adicional, a ordem exclusiva. É pensada para levantamentos que requerem elevada exactidão, tais como em zonas de risco geológico.

Exige busca total do fundo para todas as ordens e substitui a incerteza na medição de profundidades pela incerteza do modelo batimétrico. Considera que este é mais útil na interpretação de um conjunto de dados, desde que tenha associada uma incerteza.

o *US Army Corps of Engineers (USACE)*

Considera duas classes de levantamentos: para navegação e dragagens e para os restantes estudos de engenharia. Os primeiros requerem requisitos mais elevados.

Faz ainda a distinção entre o tipo de fundo baseada nos potenciais riscos para a navegação.

Para qualificar os dados de um levantamento hidrográfico utiliza o parâmetro *Root Mean Square (RMS)* dado por:

$$\sigma_{RMS}^2 = \sigma_{\text{erro aleatório}}^2 + \sigma_{\text{erro sistemático}}^2 \quad (2)$$

o *Land Information New Zeland (LINZ)*

Reconhece as limitações das normas S-44 para levantamentos que não para fins cartográficos, apresentando uma proposta de norma para batimetria multifeixe.

Ao contrário das normas S-44 e das restantes aqui apresentadas, a LINZ não considera que a incerteza seja só função da profundidade. Inclui na sua norma a influência de outros factores como sejam a maré, arfagem e velocidade de propagação do som na água.

Na Tabela I resumem-se as incertezas máximas horizontal e vertical nas condições de especificação mais rigorosas das normas apresentadas.

	Máxima incerteza horizontal (95%)	Máxima incerteza vertical (95%)
OHI S-44 Ordem Especial	2m	a = 0.25m b = 0.0075
RWS Norma 1	0.30m (RTK)	a = 0.25m b = 0.0075 c = 0-0.5m
IMCA Ordem 1	---	1 x OHI S-44
SMA Ordem Exclusiva	---	incerteza do modelo batimétrico a = 0.15m b = 0.004
USACE Navigation & Dredging	< 2m	(RMS) fundo compacto ou rochoso ± 0.15m d < 5m ± 0.3m 5m < d < 12m ± 0.3m d > 12m
		(RMS) fundo pouco compacto ± 0.15m d < 5m ± 0.3m 5m < d < 12m ± 0.61m d > 12m

Tabela I – Incertezas máximas horizontal e vertical para algumas normas de levantamentos hidrográficos.

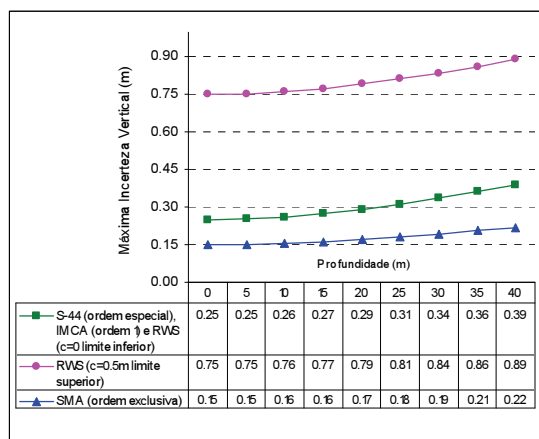


Fig. 1 – Máxima incerteza vertical em função da profundidade.

3. IMPACTO NO CÁLCULO DE VOLUMES

Segundo (USACE, 2002), os factores que mais influenciam a precisão do cálculo de volumes são a irregularidade do fundo submarino, a densidade de informação e as incertezas na medição das profundidades, por esta ordem.

3.1 Efeito da irregularidade do fundo e densidade de informação

O efeito da irregularidade do fundo depende do grau de resolução do fundo conseguida pelo levantamento hidrográfico, isto é, da densidade de informação.

Com a utilização de sistemas que garantem busca total do fundo, como os sistemas multifeixe, este factor é minimizado.

No entanto, ainda segundo (USACE, 2002) a irregularidade do fundo pode dar origem a um erro no volume até 2.5%.

3.2 Efeito das incertezas nas medições de profundidade

Analisando a expressão (1) e sabendo que a *a* está associado um erro constante, então, os volumes calculados são igualmente afectados de um erro constante. Deste modo, a incerteza no volume (IVol) vem dada por:

$$IVol_{95\%} (m^3) = \text{área} (m^2) \cdot 2 \cdot IV_{95\%}(m) \tag{3}$$

Ou:

$$IVol_{95\%} (\%) = IVol_{95\%} (m^3) \cdot 100 / Vol(m^3) \tag{4}$$

Levantamentos hidrográficos que cumpram as normas S-44 (ordem especial), podem contribuir para a incerteza do volume nos valores que se apresentam:

Prof	até 40m
Máx. IV_{95%} (m)	de 0.25m a 3.9m
Máx. IVol_{95%} (%)	de 10% a 1.95%

Tabela II – Máxima incerteza no volume por influência da incerteza vertical das normas S-44 (ordem especial).

Note-se ainda que as normas apresentadas referem-se a um nível de confiança de 95%. Este valor pode ser interpretado com se em 5% da área dragada não foram cumpridas as especificações da dragagem. Isto é, foi dragado um valor superior ou inferior à profundidade de dragagem pré estabelecida e, conseqüentemente, o volume vem afectado deste erro.

Segundo (Pim Kuus, 2006), a tolerância do erro na aquisição dos dados é maior para áreas menores.

4. FACTORES QUE CONTRIBUEM PARA A INCERTEZA DA MEDIÇÃO DE PROFUNDIDADES

A incerteza vertical é resultado da contribuição de várias fontes de incertezas sistemáticas, aleatórias e residuais que se propagam na dimensão vertical. Dividem-se em duas componentes: incertezas na medição e incertezas na redução das profundidades.

3.1 Incertezas na medição

São resultantes das incertezas na medição da distância e ângulo do feixe acústico, resolução da largura do feixe, das medições do balanço, cabeceio e velocidade de propagação do som na água (efeitos da refração na distância, ângulo do feixe e guiamento não ortogonal do feixe).

3.2 Incertezas na redução

Os erros na redução da maré são o resultado da contribuição dos erros na medição e na concordância da maré, entre o local da medição efectiva da maré e a área da sondagem (Artilheiro *et al.* 2005).

As incertezas dependem do método de redução utilizado: método clássico com medição de maré e redução ao *datum* vertical ou método GPS On-The-Fly (GPS-OTF).

O método clássico tem incertezas associadas à arfagem, calado dinâmico da embarcação e maré.

O método GPS-OTF tem incertezas específicas do sistema, provenientes das observações na vertical, da posição relativa entre a antena GPS e o transdutor do sondador, do modelo de separação entre o WGS84 e o ZH e do posicionamento da estação de referência com respeito ao elipsóide.

Nos levantamentos hidrográficos em que são utilizados sondadores multifeixe, se forem seguidas as boas práticas hidrográficas é de esperar que a maior contribuição para a incerteza vertical tenha origem na variação do perfil de velocidade do som na água e na medição da altura de maré.

A variação do perfil de velocidade de propagação do som na água tem implicações directas no caminho de ida e volta do raio sonoro devido à refração. Pode ser minimizado pela diminuição do intervalo de tempo entre medições de perfis (o que nem sempre é exequível) ou através da utilização duma faixa mais estreita, ou seja, utilização dos feixes mais centrais que são menos afectados pela refração.

No sentido de garantir uma elevada exactidão na medição da maré no local efectivo da sondagem, considera-se recomendável a implementação da medição da maré a bordo com recurso ao GPS, método RTK/OTF (Artilheiro *et al.* 2005).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A principal vantagem do conceito de incerteza é fornecer bases para melhorar o processo de medição.

Neste sentido, entendem os autores apresentar um conjunto de recomendações a aplicar nas fases de planeamento, aquisição, processamento e modelação dos dados provenientes de um levantamento hidrográfico para um fim específico, as dragagens:

- Fazer o planeamento da área a sondar numa extensão maior que a área efectiva de intervenção da dragagem por forma a poder ser

feita, posteriormente e se necessário, confirmação da consistência dos levantamentos;

- Executar o levantamento pré-dragagem o tempo adequado antes da dragagem por forma a garantir que não se verifiquem variações significativas no fundo, até ao início dos trabalhos de dragagem;
- Executar o levantamento pós-dragagem alguns dias após o fim dos trabalhos de dragagem, evitando que os sedimentos em suspensão comprometam a aquisição das profundidades;
- Executar os levantamentos pré e pós-dragagem, preferencialmente com a mesma configuração de equipamentos;
- Utilizar sondadores multifeixe por forma a garantir elevada densidade de medições;
- Ter em conta as calibrações dos sistemas de aquisição e procedimentos de operação que minimizem os erros na aquisição dos dados, tal como mencionado em 4.;
- Na fase de processamento, ter especial prudência na aplicação de filtros automáticos;
- Ter em conta a irregularidade do fundo na modelação da superfície batimétrica;
- Escolher uma resolução compatível com a ordem do levantamento, na criação da superfície final e exportação das sondas validadas;
- Utilizar métodos de interpolação adequados na modelação dos dados, para cálculo automático de volumes.

REFERÊNCIAS

- Artilheiro, F., Pimentel, F., Vicente, J. (2005). *Estimação dos Erros dos Sondadores Multifeixe*. Anais do Instituto Hidrográfico, N.º 17, Págs. 41-50.
- Hidrográfico (2008). *Especificação Técnica para Planeamento, Execução e Processamento de Levantamentos Hidrográficos*. Instituto Hidrográfico.
- INEMETRO (2000). *Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia*. 2ª Edição, Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial.
- OHI (2008). *S44 - IHO Standards for Hydrographic Surveys*. 5ª Edição, Organização Hidrográfica Internacional.
- Pim Kuus (2006). *Hydrographic Survey Design for Dredging*. University of New Brunswick.
- USACE (2002). *Survey Accuracy Estimates for Dredging and Navigation Projects. Engineering and Design – Hydrographic Surveying*. U.S. Army Corps of Engineers.

Validação de dados hidrográficos

C. Monteiro (1), J. Vicente (1), R. da Silva (1)

(1) Instituto Hidrográfico - Rua das Trinas, 49 1249-093 Lisboa; cristina.monteiro@hidrografico.pt

Resumo: Para estabelecer um processo rigoroso de validação de dados hidrográficos é essencial definir, para cada tipo e ordem de levantamento hidrográfico, quais os elementos essenciais a analisar (pré-requisitos, dados, leituras de maré, perfis de velocidade de propagação do som na água, metainformação, configurações do navio, parametrizações e calibrações dos equipamentos, etc), para que se possa efectuar uma avaliação objectiva e integral da qualidade dos dados finais.

Esta comunicação centraliza-se no sistema sondador multifeixe pela sua elevada densidade de medições de profundidade por unidade de área e, nalguns casos, pela redundância dessas medições.

A complexidade deste sistema, inerente às condições de operacionalidade e à integração dos distintos equipamentos e sensores, associada às conhecidas fontes de erro permitem identificar os elementos a avaliar, relacioná-los com os diversos tipos de erro e com a respectiva etapa do levantamento onde é esperado que os erros ocorram.

Deste modo, a avaliação será transversal a todas as etapas, sendo necessário analisar os produtos finais para avaliar a representação dos dados, os dados processados para indagar a adequabilidade das decisões tomadas no processamento e os dados brutos para aferir sobre a qualidade dos dados no momento da aquisição.

Palavras-chave: validação, qualidade, hidrografia, multifeixe, avaliação

1. INTRODUÇÃO

Este artigo tem como objectivo apresentar as linhas orientadoras do controlo de qualidade dos levantamentos hidrográficos e surge no seguimento do estudo que tem sido levado a cabo no Instituto Hidrográfico (IH) para otimizar o processo de revisão e validação final de dados adquiridos com Sistema Sondador Multifeixe (SSMF) pela Brigada Hidrográfica para o propósito da actualização cartográfica.

O SSMF, por ser o mais complexo dos sistemas que o IH dispõe e por se encontrar numa fase de grande desenvolvimento e evolução, exige uma investigação continua do próprio sistema, dos equipamentos e dos algoritmos de processamento, obrigando a reiterados aperfeiçoamentos quer aos próprios procedimentos de trabalho (PT), quer ao processo de revisão e validação final dos dados processados.

2. SISTEMA SONDADOR MULTIFEIXE

A complexidade do SSMF está associada ao enorme volume de informação gerado pelo sistema e à sua própria constituição, uma vez que este integra diversos componentes:

- sondador multifeixe (SMF): constituído por unidades electrónicas de transmissão, recepção e processamento de sinal, transdutores (transmissão e de recepção) e uma unidade de operação.

- módulo de integração dos dados de posicionamento (GPS) com os dados de atitude da unidade de referência vertical (URV).

- sondas para medição da velocidade de propagação do som (VPS) na água, à face dos transdutores e ao longo da coluna de água.

As principais fontes de erro do SSMF, associadas à aquisição de dados são: o desvio na medição dos dados de atitude da plataforma de sondagem, nomeadamente do balanço, cabeceio, proa e arfagem; o erro azimutal de instalação da URV; atraso de resposta da URV; variabilidade do perfil de VPS na água; erros de medição do calado; variação do deslocamento do navio, erro na localização dos sensores; atraso da medição do posicionamento relativamente à medição de profundidade e erros inerentes ao sondador multifeixe (Artilheiro *et al.*, 2005). Além destas, existem as fontes de erro associadas ao processamento, que dependem de um modo geral, do cumprimento dos procedimentos de trabalho em vigor, dos conhecimentos técnicos, da acuidade e experiência do hidrógrafo.

Entre as diversas operações de processamento, salienta-se a construção da superfície batimétrica recorrendo ao algoritmo *Combined Uncertainty and Bathymetric Estimator* (CUBE), pela automatização do processo da limpeza dos dados e pela forte componente estatística que possibilita uma avaliação qualitativa e quantitativa da área sondada.

De uma forma geral, o processamento automático sobre a superfície consiste na eliminação de profundidades que distam mais do que um valor indicado, função da incerteza ou do desvio padrão, em relação à superfície (CARIS, 2009). Este, e qualquer outro procedimento automático, deverá ser validado manualmente, recorrendo às ferramentas de visualização 2D e 3D do *software* de processamento (HIPS).

3. PROCESSO DE VALIDAÇÃO FINAL

O processo de revisão e validação final tem como objectivo principal a validação do produto básico final (PBF) de um LH, i.é. do conjunto de sondas validadas no processamento incluindo a respectiva metainformação. Todos os outros produtos que descendem do PBF, como por exemplo: implantações gráficas, ficheiros ASCII, modelos batimétricos, cálculo de volumes, entre outros, não são abrangidos nesta comunicação.

É pertinente esclarecer que a validação do PBF não se limita à verificação do ficheiro digital que contém o conjunto das sondas mínimas validadas. Obriga à revisão e validação das várias etapas do LH: planeamento, aquisição, processamento e exportação de dados. Será a análise transversal e cuidada de todas as operações efectuadas sobre os dados que permitirá determinar a qualidade dos mesmos, verificando se estes respeitam os requisitos mínimos definidos para a ordem do LH (OHI, 2008).

3.1 Metodologia

Na definição do processo de controlo de qualidade dos LH adoptou-se a seguinte metodologia: estabelecer a ligação entre as fontes de erro associadas ao funcionamento geral do Sistema Sondador Multifeixe (quer as fontes teóricas, quer as práticas que advêm da experiência adquirida) às várias fases do levantamento e aos diversos elementos que, na sua totalidade, constituem o próprio LH.

Estes elementos poderão ser por exemplo: registos, documentos, dados brutos, dados processados, estudos estatísticos, leituras de maré, perfis verticais de velocidade de propagação do som, superfícies batimétricas, datagramas, parametrizações dos equipamentos, configurações do navio.

Conhecidos os elos de ligação entre as fontes de erro, os momentos onde é espectável que os erros ocorram e o(s) respectivo(s) elemento(s), conseguiu-se definir uma lista de itens que serão sujeitos a análise. Esta, tem o intuito de despistar possíveis erros e/ou avaliar a sua influência no cumprimento dos requisitos mínimos exigidos de uma forma geral e em particular no cálculo da incerteza vertical total (TVU) e da incerteza horizontal total (THU).

A lista inclui ainda outros itens dedicados à inquirição da conformidade dos dados em relação aos pré-requisitos específicos de cada LH, definidos nas Instruções Técnicas (IT) e à avaliação do cumprimento das normas técnicas (NT) e dos procedimentos de trabalho (PT) em vigor.

3.2 Procedimento

Todo o processo de revisão e validação final dos dados batimétricos é efectuado em gabinete, através da consulta e análise dos elementos do LH definidos na lista de itens resumida na Tabela 1.

Neste processo, será necessário rever e/ou reproduzir, por amostragem, algumas das operações a que os dados foram sujeitos, analisando as correcções e os filtros automáticos aplicados na detecção e limpeza dos ecos falsos, assim como avaliando as decisões finais do hidrógrafo de uma forma geral e, em particular, nos pontos críticos para a segurança da navegação.

Tabela 1. Lista de itens do processo de revisão e validação final de um LH com SSMF

N.º	Item (fontes de erro)	Elementos sujeitos a avaliação e *documentos de consulta
Transversal a todas as fases		
1	Conformidade	PBF e IT*
2	Balço de incertezas	Folha de cálculo do balanço de incertezas; perfis de VPS
Itens associados às fases de planeamento e aquisição		
3	Planeamento e execução	Fiadas principais; fiadas de verificação; fichas de pontos coordenados*; marcas de nivelamento*; registos de campo (condições de operacionalidade)
4	Parâmetros de instalação (offsets)	Installation parameters vs ficheiro com os parâmetros de instalação das embarcações de sondagem*
5	Maré	Ficheiro de maré vs tabela de marés*; fiadas principais vs fiadas de verificação
6	VPS	Perfis de VPS; dados processados
7	Posicionamento (GPS ; DGPS)	Ficheiro estatístico com os dados da verificação do posicionamento
8	Registos	Registos de campo
9	Calibrações (atitude)	Fiadas de calibração e fiadas principais
Itens associados à fase de processamento		
10	Correcções aos parâmetros de calibração e de instalação (atitude; offsets)	VesselConfig; fiadas de calibração; fiadas principais; dados processados
11	Operações sobre as fiadas (conversão de dados; maré; cálculo das incertezas: THU e TVU)	Log file

12	Navegação e atitude	Datagramas
13	Sobreposição	Dados processados; superfícies individuais por faixa sondada
14	Superfície (resolução; densidade; limpeza)	Superfícies CUBE
15	Avaliação estatística (cálculo das incertezas no HIPS)	Dados processados (sondas rejeitadas e sondas validadas); superfícies CUBE (<i>layers</i> estatísticos); fiadas principais; <i>VesselConfig</i>
16	Consistência dos dados em posição e profundidade (maré; arfagem e período de ondulação)	Fiadas principais (zonas de sobreposição); superfície CUBE final vs fiadas de verificação
17	Limpeza das sondas e detecção de estruturas (erros de processamento)	Dados processados; superfícies; <i>layer</i> das sondas designadas; ficheiros de topografia (dxf ou caris); isóbatas; LH anteriores
Itens associados à fase de exportação de dados		
18	Exportação	Dados processados; PBF (ficheiro digital e ficha de metainformação); PT*

Seguidamente é apresentada uma breve descrição dos itens segundo as fases do levantamento hidrográfico a que estão associados:

3.2.1 Transversal a todas as fases

1. **Conformidade entre as IT e o PBF** – verificar se os dados validados satisfazem os pré-requisitos definidos inicialmente para o LH (área, ordem do LH, sistema geodésico de referência, redução ao zero hidrográfico, entre outros).

2. **Balanço de incertezas do IH** – analisar a informação dos perfis de VPS na água no início e no fim de cada sessão de sondagem, as incertezas individuais dos sensores e as condições de operacionalidade usadas no balanço de incertezas de posicionamento e da medição da profundidade.

3.2.2 Itens associados às fases de planeamento e aquisição

3. **Planeamento e execução do LH** – verificar as condições de operacionalidade na aquisição e a conformidade entre o planeamento e a execução, analisando a distribuição e orientação das fiadas, a adequabilidade da localização do marégrafo, dos perfis VPS, dos pontos de apoio e das marcas de nivelamento.

4. **Parâmetros de Instalação do SSMF** – avaliar por cada sessão de sondagem, o ficheiro *Installations Parameters*, comparando os *offsets* de localização dos sensores (transdutor, antenas GPS, URV) e a linha água introduzidos na aquisição, com os

homólogos contidos no ficheiro das configurações de instalação das embarcações.

5. **Maré** – indagar a adequabilidade e qualidade dos registos de maré através da confrontação com as previsões de maré; verificação das concordâncias em tempo ou fase aplicadas. No HIPS, confrontar os feixes centrais das fiadas de verificação com as fiadas principais.

6. **VPS** – verificar a consistência gráfica de cada perfil de VPS na água. Avaliar o erro relativo entre perfis consecutivos em áreas comparáveis e a sua influência na estimação do cálculo das incertezas (ver item 2). No HIPS, analisar os feixes exteriores das fiadas mais afastadas (em tempo e posição) da medição do perfil de VPS.

7. **Posicionamento da embarcação** – conferir o cálculo estatístico dos dados de verificação do posicionamento absoluto (comparação da solução DGPS com as coordenadas conhecidas de um ou mais pontos de controlo).

8. **Registos de campo** – analisar as informações relevantes e, se necessário, averiguar as respectivas implicações sobre os dados processados.

9. **Calibrações do SMF** – avaliar os parâmetros de calibração (balanço, latência, cabeceio e proa) usados na aquisição através da análise das fiadas de calibração e/ou de fiadas principais adequadas.

3.2.3 Itens associados à fase de processamento

10. **Correcções aos parâmetros de aquisição aplicadas no processamento** - verificar se foram introduzidas correcções aos parâmetros de calibração e aos parâmetros de instalação, através da análise do ficheiro das configurações do navio (*VesselConfig*) e avaliar a sua adequabilidade.

11. **Registos das operações de processamento** - analisar o ficheiro (*Log file*) que contém, para cada fiada, os registos das operações de processamento. Escolher aleatoriamente uma fiada, por cada sessão de sondagem e verificar:

- se a conversão dos dados foi efectuada segundo o procedimento de trabalho em vigor;
- a utilização do ficheiro correcto na redução da maré;
- os parâmetros das incertezas associadas às leituras de maré e à medição do perfil de VPS, que contribuem para o cálculo das incertezas totais;
- os diversos filtros aplicados sobre as fiadas.

12. **Navegação e atitude** – avaliar o processamento efectuado sobre os datagramas de navegação e atitude escolhendo, de modo aleatório, uma fiada por cada sessão de sondagem.

13. **Sobreposição entre faixas sondadas** – averiguar se as zonas de sobreposição respeitam os requisitos definidos para a ordem do LH (OHI, 2008).

14. **Avaliação das superfícies CUBE** – das várias superfícies que possam ter sido criadas, duas serão

alvo de avaliação final: a superfície CUBE inicial (representativa dos dados adquiridos) e superfície CUBE final (representativa dos dados validados incluindo as sondas designadas). Sobre estas superfícies será necessário avaliar:

- a adequabilidade da resolução para a ordem do LH, profundidade média e relevo do fundo;
- a densidade dos dados de profundidade: avaliação do n.º de sondas por pixel da superfície final para avaliação da detecção de estruturas;
- os filtros automáticos aplicados na limpeza das sondas, mediante diferentes zonas de trabalho.

15. Avaliação estatística dos dados – esta avaliação baseia-se nas capacidades estatísticas do *software* de processamento HIPS, e consiste em analisar:

- o *layer* da classificação das ordens no editor de visualização 2D e 3D;
- os valores da THU e TVU calculados para cada sonda e os parâmetros individuais que contribuíram para este cálculo (*VesselConfig*);
- a informação estatística das fiadas e das sondas;
- os *layers* estatísticos da superfície CUBE final (incerteza vertical; desvio padrão, densidade e confiança);
- a comparação estatística entre as superfícies CUBE inicial e final (confrontação entre a qualidade da aquisição e do processamento de dados).

16. Consistência dos dados – efectuar uma avaliação da consistência dos dados em posicionamento e profundidade nas zonas onde existe redundância de informação, entre:

- fiadas adjacentes – comparar a posição e a profundidade das sondas, nas zonas de sobreposição das fiadas principais;
- superfície CUBE final e fiadas de verificação – analisar o estudo estatístico de comparação entre a superfície final criada a partir das sondas validadas e as sondas das fiadas de verificação e examinar o processamento efectuado sobre as fiadas de verificação.

17. Avaliação geral da limpeza das sondas e detecção de estruturas – esta avaliação divide-se em várias etapas:

- analisar a superfície das diferenças entre as superfícies CUBE inicial e final. Identificar na superfície das diferenças, as zonas de maior limpeza e avaliá-las no editor de visualização 2D e 3D;
- avaliar ainda no mesmo editor todas as sondas designadas na superfície final que deverão incluir todas as estruturas significativas para a ordem do LH;
- verificar a inexistência de outras estruturas, além das identificadas pelo hidrógrafo, nas zonas críticas para a navegação: canais de navegação, zonas portuárias, entrada de barras, zonas de atracação e fundeadouros;
- nas situações de dúvida recorrer ao mosaico do *Backscatter*;

- avaliar o traçado das isobatimétricas criadas sobre a superfície final;
- comparar os dados validados com os LH anteriores através da criação da superfície das diferenças;
- confrontar os dados validados com ficheiros de topografia, para avaliar se todas as medições efectuadas sobre as infra-estruturas portuárias foram identificadas.

3.2.4 Itens associados à fase de exportação de dados

18. Exportação de dados – verificar se a exportação foi efectuada conforme o PT em vigor. Reproduzir a exportação de algumas fiadas por amostragem e confirmar os dados do ficheiro digital do PBF e os conteúdos da ficha de metainformação.

O processo de revisão e validação dos dados batimétricos não se reduz à avaliação dos itens listados, pois é ainda necessário definir objectivamente para cada item, os procedimentos técnicos adequados e o respectivo peso na avaliação global do levantamento hidrográfico, desde que a avaliação do item não comprometa os requisitos mínimos definidos para a ordem do LH.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A lista de itens, apresentada neste artigo, para o processo de revisão e validação final dos dados SSMF, é genérica e constituiu uma linha condutora a considerar, num futuro próximo, na implementação do controlo de qualidade de dados batimétricos.

A complexidade intrínseca dos levantamentos hidrográficos e em particular do SSMF tem implicações directas no processo de validação dos dados, nomeadamente na definição de procedimentos que sejam objectivos e que contemplem todas as condições possíveis.

Sabendo que o fundo real é dinâmico, segundo as leis da natureza e do homem, quaisquer conclusões sobre a qualidade de um levantamento hidrográfico, só podem ser inferidas a partir dos processos mensuráveis.

REFERÊNCIAS

- Artilheiro, F., Pimentel, F., Vicente, J. (2005). Estimação dos Erros dos Sondadores Multifixe. *Anais do Instituto Hidrográfico*, N.º 17, Págs. 41-50.
- Artilheiro, F., Vicente, J. (2009). Requisitos para os Levantamentos Hidrográficos e Capacidades dos Sistemas Utilizados. *Actas da Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia*.
- Organização Hidrográfica Internacional (2008). Publicação Especial S-44 IHO Standards for Hydrographic Surveys.
- CARIS (2009). Training Manual HIPS and SIS 7.0.1.

GNSS Precise Positioning without reference stations

Paulo Marreiros^{1,2}, Luisa Bastos² e M. Joana Fernandes²

¹Instituto Hidrográfico and Universidade do Porto, Portugal (ramalho.marreiros@hidrografico.pt)

²Universidade do Porto, Fac. de Ciências, Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental CIIMAR

Abstract: Positioning with the Global Navigation Satellite Systems (GNSS) can be performed by either one of two ways: point positioning or relative positioning. Point positioning, also known as the standalone or autonomous positioning, involves only one GNSS receiver. Relative positioning employs two or more GNSS receivers tracking the same satellites. Standard point positioning with GNSS provides worldwide 10 metre accuracy level. This accuracy level is far beyond the requirement of many applications such as geodetic control, hydrographic surveying and sea level measurement, which require centimetre level accuracy or better.

Most of current GNSS based positioning, capable of providing centimetre accuracy for a moving platform, is based in relative positioning methods. Such methods need to work on the vicinity of one or more reference stations, within a few tens of kilometres, and require simultaneous observations at reference and rover stations. Precise Point Positioning (PPP) involves the use of measurements from a single GNSS receiver to obtain accurate position without the use of measurements from reference stations. Such improvement is accomplished through the use of precise satellite ephemerides and satellite clock corrections produced from a network of worldwide monitoring stations.

A PPP based methodology is being developed at the Instituto Hidrográfico (IH) and Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP) as part of a research project for positioning static stations and marine platforms used in Hydrography and Oceanography. This methodology is being implemented with the GPSTK (abbreviation for GPS Tool Kit) open source C++ library. The first results show uncertainty (standard deviation) of centimetre level for static and decimetre level for kinematic applications.

Keywords: GNSS, satellite positioning, precise positioning

1. INTRODUCTION

Accurate position of bathymetry data requires no less accurate position of the platform where the survey sensors are installed, either single beam, multibeam or LIDAR systems. The accuracy requirement for hydrographic surveys follows a standard issued by the International Hydrographic Organization (IHO) in its publication S44 (IHO, 2008). For the special order surveys, the most demanding ones, the S44 defines an accuracy of 2 metres for horizontal and 0.25 metres for vertical coordinates of surveyed depths. Such accuracy level is for 95% confidence level and includes all the possible error sources involved in depth measurement and tidal reduction.

Currently, GNSS is in great use at the Instituto Hidrográfico (IH) as it happens worldwide. To accomplish with the IHO standards, the hydrographer uses GNSS in relative position mode, usually a local differential GNSS (DGNSS) or Real Time Kinematic (RTK) with carrier phase observations. The DGNSS provides positioning accuracy at metre level while the RTK accuracy is at centimetre level. The advantage of RTK, when compared to DGNSS, lies in the possibility of tide measurement at the locations along the track of a survey vessel, for example.

Different from the traditional relative GPS positioning techniques, that require access to

observations from one or more reference stations with known coordinates, Precise Point Positioning (PPP) involves the use of a single station. The main feature of PPP is based on the use of precise orbits and clock corrections, available free for download on the Internet from the International GNSS Service and other organizations. As precise orbit and clock products continue to improve, PPP based techniques are being developed as an efficient alternative to relative positioning, with special impact in remote areas and for positioning of airborne and marine sensors.

PPP is based on processing un-differenced code and carrier phase observations. This eliminates the range limitation related to the conventional methods, resulting in potential advantages in hydrographic operations. PPP algorithms may be employed in real-time or post-processing, however post-processed results have higher accuracy when compared to real time, due to highest precision of available post-processed orbits and clocks.

Many marine applications have only modest requirements for real-time positioning accuracy. For hydrographic surveying, Standard Point Positioning (SPP) is generally accurate enough for guidance and navigation of the survey vessel. Post-processed PPP may be considered a complementary approach for the

improvement of vessel positions or for the tide measurement during a hydrographic survey. Also, for the coordination of new reference stations, PPP may be considered an advantageous approach when compared to relative positioning methods, mainly where geodetic support is not easily available, allowing the reduction of logistical requirements, personnel and costs in field surveying.

As part of a research project, carried out at IH and FCUP, a PPP processing software is being developed in order to meet the requirements of marine surveying and oceanographic operations. This paper presents some preliminary results of the IH-PPP software in static and kinematic mode, including a brief description of the mathematical model.

2. THE PPP METHOD

PPP is said to be “precise”, as opposed to SPP, because it relies on the so called “precise products” such as orbits and clocks that are used in the data processing. These products were called “precise” because they were produced by means of post-processing of GNSS data from several world-wide distributed monitoring ground stations, and provided information of better quality. The International GNSS Service (IGS) provides GNSS orbits and clock post-processed products at different latencies and freely available for download (www.igs.org). In its essence PPP is a refinement of the SPP. The term PPP applied to GPS positioning was proposed for the first time by Heroux and Kouba [1995], although at that time they presented a simple approach that could only offer an accuracy of about one metre. A more elaborate approach was first developed by Zumberge et al. [1997] for static positioning. Later developments extended the use to kinematic (e.g. Kouba and Heroux, 2001) and also real time (e.g. Gao and Chen, 2004). The most used PPP model is based on code and carrier phase of dual frequency observations, as described by Kouba and Heroux [2001]. The model for raw pseudorange and carrier phase observations is:

$$P = \rho + c(dt - dT) + Trop + \varepsilon_p$$

$$\Phi = \rho + c(dt - dT) + Trop + b + \varepsilon_\Phi$$

- P is the pseudodistance;
- Φ is the carrier phase in metric units;
- ρ is the geometric distance;
- $c(dt-dT)$ is the clock error for the receiver and satellite;
- $Tropo$ is the error due to troposphere propagation;
- ε represents all remaining terms and noise.
- b is the integer bias due to carrier phase ambiguity;

The ionosphere-free (IF) combination is the most famous formulation used to alleviate the cumbersome effect caused by the ionosphere:

$$P_{IF} = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} P(f_1) - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} P(f_2)$$

- f is the frequency.

The current IH-PPP model involves five types of parameters: station position, station velocity, receiver clock error, troposphere zenith path delay and carrier phase ambiguities. The solution is estimated epoch by epoch using an adjustment procedure based on a recursive filter. The station velocity is estimated from Doppler measurements. The troposphere zenith delay is estimated as one additional receiver unknown parameter due to its high spatial and temporal variability which make it difficult to model. One mapping function is used to model the effect to the observations on the line of sight to the satellites. In the IH-PPP the Neill mapping function is used.

Other effects are modelled or corrected using information from Internet available files. The following table summarizes the above mentioned effects as well as the methods used to correct them:

- Satellite dependent effects:

Sat. position error	Use precise ephemeris files
Sat. clock error	Use precise clock files
Sat. hardware error	Not considered
Sat. antenna offset and antenna variations	Use antenna information files

- Propagation effects:

Ionosphere effect	Use ionosphere free combination
Troposphere delay	Estimate zenith path delay and use mapping functions
Multipath effect	Not considered
Carrier phase wind up	Not considered

- Receiver dependent:

Receiver clock error	Estimate as an unknown
Rec. antenna offset and antenna variations	Use antenna data files

- Earth deformation and orientation:

Earth tide	Use models
Ocean loading tide	Use models
Polar motion	Use earth orientation parameters

Other effects, such as carrier phase wind up, atmospheric tide, satellite and receiver hardware delays have not been considered in this work and may be the cause for decimetre level error.

3. IMPLEMENTATION USING GPSTk

The “GPS Toolkit” (GPSTk) is an open source project sponsored by the Applied Research Laboratories of the University of Texas, having several external collaborators. It is intended to help to eliminate the “black box” nature of many commercial applications and to help software development of GNSS data processing systems. The software implementation is as platform independent, through the use of ISO-standard C++. The GPSTk suite consists of a core library, accessory libraries and some applications. The libraries provide a wide array of functions to handle data processing associated with GNSS such as position determination or use of standard formats such as RINEX or SP3. All the library functions source code, publications, examples, and other related information is available for free download over the web via links provided on the project website (<http://www.gpstk.org/>).

The development of the IH-PPP software was based on the routines already developed for the GPSTk with some modifications and enhancements. Modifications were required in some routines in order to allow kinematic positioning and new functions were build to integrate RINEX satellite clock files (CLK files). The IH-PPP software allows different processing strategies from SPS to PPP depending on the user options and available information. All the options are written in a configuration file. One secondary goal is to use the IH-PPP as a didactic tool at the School of Hydrography and Oceanography.

4. STATIC POSITIONING

For static positioning the IH-PPP is basically an adapted copy of one example described in the GPSTk project website.

The knowledge of precise clock corrections at the epoch of observation is essential for PPP. IGS satellite orbits and clock correction files have a sample interval of 900 seconds. Montenbruck et al. (2005) showed that linearly interpolated of satellite clock corrections at 300 seconds are not sufficient to achieve centimetre level accuracy. Another interpolation method, using Lagrange polynomials, was tested. The results show an accuracy of 0.5 metres. Thus, for static positioning it is advantageous to avoid interpolation and decimate the GPS receiver data in order to coincide with precise ephemeris and clock corrections epochs.

Note that the GPS receiver raw data was decimated to 900 seconds, in order to be coincident with precise ephemeris epochs. The computed coordinates are within cm level uncertainty, after a few epochs for

the solution converges after a few epochs, as shown in figure 1.

As part of a hydrographic campaign, the IH-PPP software was used to determine the coordinates of six reference stations at islands Selvagens, at the Atlantic Ocean, in December 2009. Due to the isolated location of these islands, the use of PPP simplified the coordination of static reference stations. Less than 5 cm difference for the tri-dimensional position was found when compared with carrier phase relative positioning results using geodetic software.

5. KINEMATIC POSITIONING

Kinematic positioning is a more complex problem when compared to static positioning, since the coordinates vary from epoch to epoch and usually one second or higher sample rate is required. Therefore, GPS receiver data decimation is not allowed. The use high data rate satellite clock correction files, also one IGS product designated as CLK file, with 30 seconds interval, allows interpolation without significant error. As shown in figure 1, the accuracy of PPP kinematic height improves significantly, when using CLK 30s files, with a standard deviation of 20 cm.

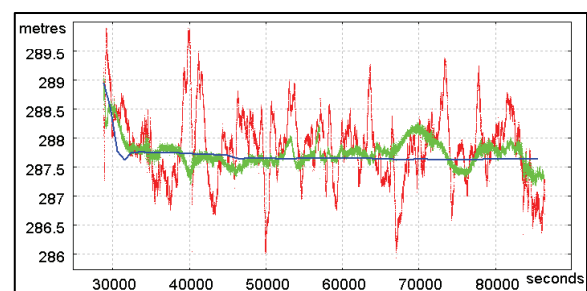


Figure 1 – Kinematic height of a reference station. In red is the PPP without CLK 30s files, in green is the PPP with CLK 30s files and in blue is the static PPP solution.

The highest differences of kinematic PPP with CLK files, when compared with the static solution, occur at periods with poor satellite geometry, represented by a PDOP value above 5. In good visibility conditions the PDOP is around 2 or 3. The observed higher PDOP values may be explained by obstruction, interference or missing data in satellite precise ephemeris files (SP3) or high data rate clock correction files (CLK). Also, due to the geometry influence in the position accuracy the horizontal coordinates have smaller differences than the height as shown in figure 2 and table 1. However, it should be remembered that, for marine applications, the vertical component is the one that requires the highest accuracy level.

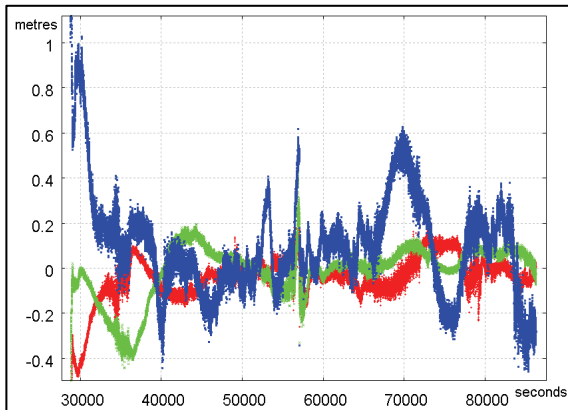


Figure 2 – Kinematic coordinates (in metres) of a fixed station plotted as a difference with its true position. In red is the latitude, in green is the longitude and in blue is the height.

Component	bias	std. dev.	max.
North	-0.02	0.06	0.18
East	0.00	0.12	0.43
Up	0.05	0.18	0.63

Table 1 – Summary statistics (cm) of component difference in kinematic position of a fixed station with reference to its true position.

The time for the solution to converge depends on the, system model and stochastic parameters used in the recursive filter to estimate the solution. The IH-PPP uses a kalman filter formulation, already implemented in the GPSTk library. In the example above a simple model with system noise considered as white noise was assumed for the coordinates. The convergence period was about 2500 seconds. This period may be reduced by fixing the carrier phase ambiguities; however this topic is under investigation and is not yet solved.

Another trial was conducted onboard a survey vessel, NRP Auriga, along the Portuguese coast at open sea. The purpose of this trial was to measure the Sea Surface Height along the track and coincident with the passage of altimetry satellites. Two shore stations were used as reference for RTK post-processing. The PPP positions were compared with relative positioning RTK positions, with fixed ambiguities and expected to be at centimetre accuracy level. As plotted in figure 3, the PPP results are not as accurate as RTK positions. The difference between RTK and PPP depends on the vessel kinematics. It seems that during high kinematic variations, caused by the sea motion, the PPP height error increases. An overall standard deviation of 30 cm was determined for the height, after cleaning all the gross errors.

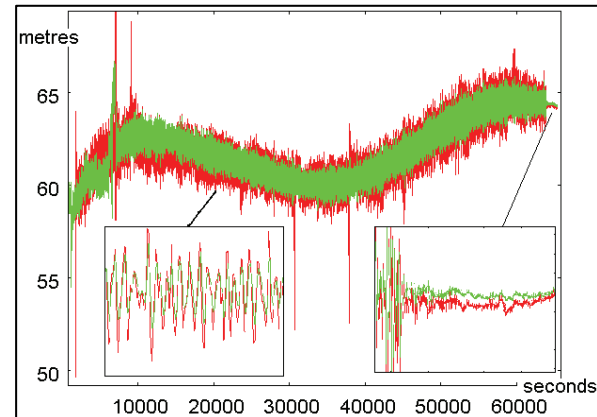


Figure 3 – Kinematic height versus time at NRP Auriga, along one track in the open sea. In red is the PPP solution and in green is the RTK solution.

6. CONCLUSIONS

The use of PPP for static positioning is an efficient method to determine the position of reference stations with centimetre level uncertainty.

Experiments on the use of PPP for kinematic positioning of a survey vessel revealed an accuracy of 30 cm (standard deviation), for the vertical component. The direct influence of visible satellite configuration on the accuracy of the final solution, mainly in the vertical coordinate is a weak point of PPP when compared to relative positioning. The user should install the antenna in a position with good visibility conditions and use as many satellites systems as possible.

The IH-PPP software is under development and further improvements are required in the system and stochastic models for the purpose of kinematic positioning of marine platforms.

REFERENCES

- Gao Y. And K. Chen (2004) "Performance analysis of Precise Point Positioning using real-time orbit and clock products". *Journal of Global Positioning Systems*, vol. 3, n° 1-2, pp 95-100.
- Heroux P. and J. Kouba (1995) "GPS Precise Point Positioning with a Difference". Paper presented at Geomatics'95, Ottawa, Ontario, Canada, June 13-15.
- Kouba and Héroux (2001) "Precise Point Positioning using IGS orbit and clock products" *GPS Solutions*, vol. 5, n° 2, pp 12-28.
- International Hydrographic Organization (2008) "IHO Standards for Hydrographic Surveys", Special publications n°44, 5th edition, February 2008.
- Montenbruck O., Gill E., Kroes R. (2005) "Rapid orbit determination of LEO satellites using IGS clock and ephemeris products" *GPS Solutions* vol. 9, pp. 226-235.

Oceanografia física – Agitação marítima

Modelação numérica da propagação das ondas ao longo de um perfil barra-fossa com dois modelos RANS

E. Didier (1, 2), M. G. Neves (1)

(1) NPE/DHA, LNEC, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, edidier@lnec.pt, gneves@lnec.pt.

(2) MARETEC, IST, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa

Resumo: Apresenta-se neste trabalho a modelação de um perfil barra-fossa utilizando dois modelos URANS (Unsteady Reynolds Average Navier-Stokes): o FLUENT 2D/3D e o COBRAS-UC 2D. As características do perfil correspondem ao perfil ensaiado no âmbito do projecto de investigação BRISA, para o qual existem medições de superfície livre e perfis verticais de velocidade em diferentes secções. No entanto, o canal apresenta uma variação de largura (secção transversal) que induz uma alteração da elevação de superfície livre e do perfil vertical de velocidade. O modelo COBRAS-UC, por ser 2DV, foi aplicado à parte do canal sem estreitamento que inclui a zona de rebentação, tendo como dados de entrada a elevação de superfície livre e o perfil de velocidades obtidos com o FLUENT na simulação da propagação da onda na parte do canal de largura variável. Os resultados de elevação da superfície livre e perfil de velocidades foram comparados com os dos ensaios.

Palavras chave: Modelação numérica, modelos URANS, superfície livre, perfil de velocidade

1. INTRODUÇÃO

A modelação da propagação de ondas ao longo de um perfil barra-fossa envolve diferentes fenómenos, tais como a rebentação e o espraiamento. Os modelos URANS são especialmente indicados para este tipo de problemas já que permitem o cálculo dos perfis verticais de velocidade e da elevação da superfície livre ao longo do canal.

Apresenta-se neste trabalho a modelação de um perfil barra-fossa utilizando dois modelos RANS: o modelo FLUENT 2D/3D e o modelo COBRAS-UC 2D. As características do perfil correspondem ao perfil ensaiado no âmbito do projecto de investigação BRISA, para o qual existem medições de superfície livre e perfis verticais de velocidade em diferentes pontos ao longo de um canal que apresenta uma variação de largura (secção transversal), o que induz uma alteração da elevação de superfície livre e do perfil de velocidade vertical.

O modelo COBRAS-UC, por ser 2DV, foi aplicado ao caso do canal sem estreitamento, incluindo a zona de rebentação.

Para ter em conta o efeito do estreitamento do canal e estudar a sua influência no perfil de velocidades, procedeu-se à modelação, com o programa FLUENT, da zona do canal com largura variável, que corresponde à zona sem rebentação (Figura 1). Modelou-se ainda um canal similar mas sem variação de largura, afim de definir a influência do referido estreitamento na transformação das ondas e do perfil de velocidade ao longo do canal, e um canal com estreitamento mas sem alteração de profundidade para verificar o efeito do fundo.

Com base nos resultados obtidos com o FLUENT, modificaram-se os dados de entrada do COBRAS-UC (elevação de superfície livre e perfil de velocidades) e aplicou-se o modelo à zona do canal com largura constante, de forma a reproduzir as características dos ensaios.

2. CASO DE ESTUDO

A fim de estudar os perfis verticais de velocidade ao longo de um perfil do tipo barra-fossa, especialmente na zona próxima da rebentação, foram realizados ensaios num canal no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) com 32m de comprimento e equipado com um gerador de ondas. A batimetria do fundo do canal é constituída por uma zona plana seguida de três rampas de inclinação 1:20, 1:40 e 1:80, tal como se mostra na Figura 1. O canal apresenta uma zona de largura variável, que se estende até 7.5m do início da rampa inicial que representa a barra e, a partir de aí, tem uma largura constante (Figura 1).

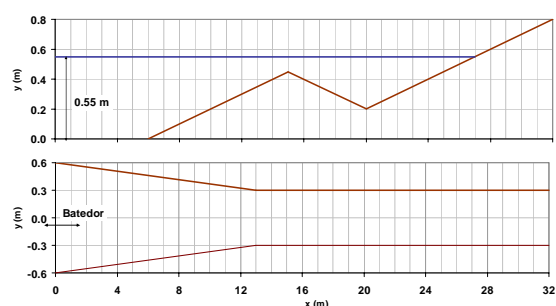


Fig. 1. Perfil esquemático barra-fossa utilizada nos ensaios e planta do canal.

Dos vários ensaios realizados, o caso de estudo que aqui se apresenta corresponde à propagação e rebentação de ondas regulares de período $T=1.5s$ e altura $H=0.08m$, com uma profundidade na zona de geração de $0.55m$. Para este caso, foram colocadas sete sondas que mediam a variação da superfície livre na zona próxima da rebentação ($x=14m$). Foram ainda registados, com um ADV (Acoustic Doppler Velocimeter), valores de velocidade medidas em pontos afastados de $1cm$ na vertical, até à profundidade máxima permitida pela dimensão da sonda do ADV e em seis posições ao longo do canal, que vão desde a zona imediatamente antes até à zona imediatamente depois da posição da rebentação.

3. MODELOS NUMÉRICOS

3.1. Modelo COBRAS-UC

O modelo COBRAS-UC (Lara et al., 2007) é um modelo 2D que resolve as equações completas de Reynolds na vertical (RANS), ao que se incorporou um modelo não linear de turbulência, $k-\epsilon$, tridimensional (“two-equation”) e um método de captura da superfície livre do tipo “Volume of Fluid” (VOF), Hirt and Nichols (1981). Desta forma, a superfície livre pode comportar-se de maneira arbitrária, o que permite que existam zonas desconexas, formação de gotas, etc. Os métodos utilizados para resolver as equações são os métodos interactivos de diferenças finitas, melhorando assim a precisão dos resultados. O modelo permite simular o escoamento em estruturas porosas, a rebentação e diferentes tipos de agitação incidente.

Para a execução de uma simulação numérica é gerada uma malha formada por elementos rectangulares, cuja dimensão pode variar de forma não linear, podendo formar uma malha fina na zona de interesse do estudo e uma malha grosseira onde não seja necessário um cálculo tão preciso.

Os obstáculos são definidos através de funções contínuas. O modelo permite obter informação completa de pressão, vorticidade, velocidades horizontais e verticais, posição da superfície livre, volume galgado, etc. e foi já validado em diferentes casos de engenharia costeira com bons resultados na simulação de escoamentos em estruturas porosas.

3.2. Modelo FLUENT

O código FLUENT (versão 6.3.26), Fluent (2006), é um modelo 2D e 3D que aplica uma técnica de volumes finitos para resolver as equações de Navier-Stokes-Reynolds (RANS). As variáveis são definidas no centro de cada elemento.

Utilizou-se um esquema de integração no tempo de segunda ordem, para a modelação numérica da propagação das ondas. O algoritmo SIMPLEX,

adaptado para as simulações não estacionárias, permite resolver o acoplamento entre a velocidade e a pressão. O esquema MUSCL de terceira ordem é utilizado para a discretização dos termos convectivos. A turbulência é modelada recorrendo ao modelo de turbulência $k-\epsilon$ na sua versão standard. Os termos convectivos são discretizados pelo esquema UPWIND de segunda ordem.

A modelação da superfície livre é realizada usando o método VOF, Hirt and Nichols (1981). O método consiste em capturar a posição da superfície livre a partir de um escalar, a fracção de volume, que toma o valor de 0.0 no ar e 1.0 na água. A posição da superfície livre é definida pelo valor 0.5 . A dificuldade deste método reside na conservação duma transição reduzida entre os fluidos. Assim, o termo convectivo é discretizado usando o esquema HRIC, Peric and Ferziger (1997), desenvolvido para a modelação de escoamento com superfície livre.

A geração das ondas é realizada impondo como condição de fronteira a elevação da superfície livre e o perfil de velocidade (considerando a teoria linear).

A malha é construída tendo em conta alguns critérios: refinamento na zona de evolução da superfície livre com 20 a 30 segmentos entre a cava e a crista da onda, 60 a 70 segmentos na direcção de propagação da onda, refinamento junto ao fundo.

4. RESULTADOS

4.1. Modelo COBRAS-UC

Para aplicação do modelo COBRAS-UC, foram inicialmente reproduzidas as dimensões e características da geometria experimental. No entanto, a posição do batedor não é a mesma nos dois casos: o canal experimental é mais longo que o numérico. Além disso, o canal experimental apresenta, como referido no ponto 2, um estreitamento de secção que não pode ser representado neste modelo 2D.

O domínio computacional é de $32m$ de comprimento por $0.8m$ de profundidade e o batedor está localizado na fronteira esquerda do domínio. A dimensão da malha na zona de rebentação é de $1.1cm$ por $0.55cm$, com número total de células de 27985 .

O modelo de turbulência utilizado no COBRAS-UC foi o modelo $k-\epsilon$. Foram colocadas diversas sondas numéricas: uma junto ao batedor para controlar a geração de ondas, quatro entre o batedor e a primeira sonda dos ensaios e mais cinco nas posições onde houve medições com o ADV.

Os resultados do modelo foram apresentados em Okamoto et al (2009) e permitiram concluir que o modelo COBRAS-UC reproduziu bem a frequência fundamental e as harmónicas ao longo do domínio, mas em geral subestima a amplitude máxima. Verificou-se também que em termos do perfil de

velocidades o modelo COBRAS-UC apresenta melhor concordância com os resultados experimentais junto à superfície mas piora quando se aproxima do fundo antes da rebentação. Na zona após a rebentação, as diferenças acentuam-se na superfície, e diferem em todo o perfil no que diz respeito ao valor máximo.

Esta diferença de comportamento com a distância à barra pode ser devida ao efeito do estreitamento, que termina já muito próximo da zona de rebentação. Para verificar a influência do estreitamento, é necessária a simulação com um modelo 3D, que se apresenta em seguida.

4.2. Modelo FLUENT

O modelo FLUENT foi aplicado a quatro geometrias distintas para definir separadamente o efeito do estreitamento do canal e da variação da profundidade na transformação das ondas e no perfil de velocidades. Assim, procedeu-se às modelações da zona do canal sem rebentação (Figura 2):

- ÷ Canal com largura constante
 - Caso 1 – sem variação de fundo
 - Caso 2 – com variação de fundo
- ÷ Canal com largura variável
 - Caso 3 – sem variação de fundo
 - Caso 4 – com variação de fundo

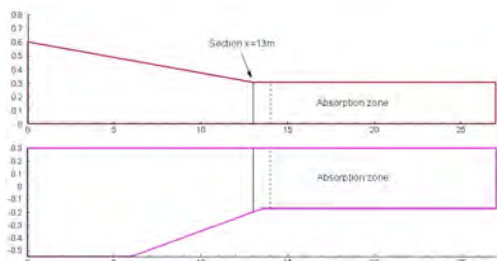


Fig. 2. Esquema do canal modelado com o FLUENT.

Na Figura 3 apresenta-se a elevação de superfície livre em três sondas localizadas em $x=6.0\text{m}$ (junto à rampa), $x=10.0\text{m}$ e $x=13.0\text{m}$ (no final do estreitamento da canal). O estreitamento do canal induz um aumento progressivo da altura da onda que, em $x=13.0\text{m}$, é de cerca de 40%. Quando há apenas variação do fundo verifica-se que a amplitude das cristas é maior que a das cavas e que o período e a celeridade da onda se conservam. Quando há variação do fundo e estreitamento (Caso 4), verifica-se um aumento da altura da onda em relação ao Caso 3, de cerca de 30% em $x=13\text{m}$ e ocorre um desfaseamento dos máximos de elevação da superfície livre.

Na Figura 4 apresentam-se, para os Casos 2 e 4, os perfis verticais das componentes horizontal e vertical da velocidade em $x=13.0\text{m}$. O estreitamento induz uma alteração importante nos perfis, particularmente para o associado às cristas (i.e. máximo positivo da velocidade).

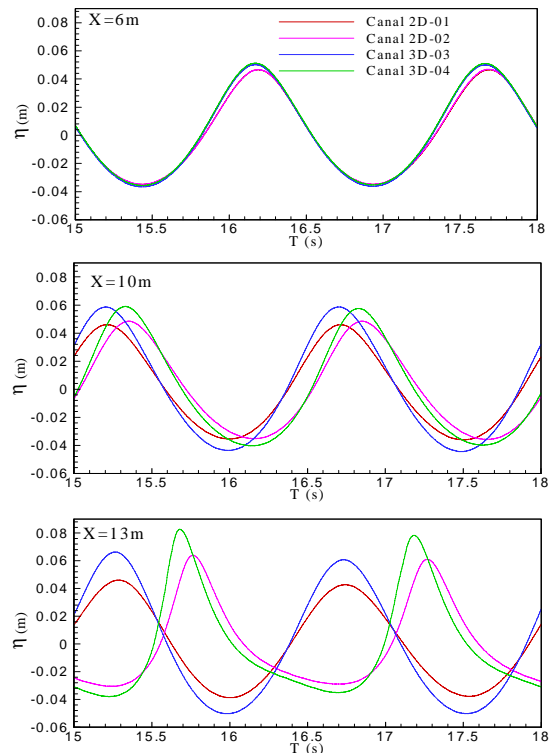


Fig. 3. Elevação de superfície livre em 3 sondas: comparação das quatro configurações de canal.

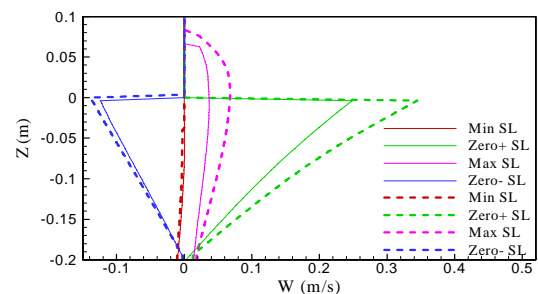
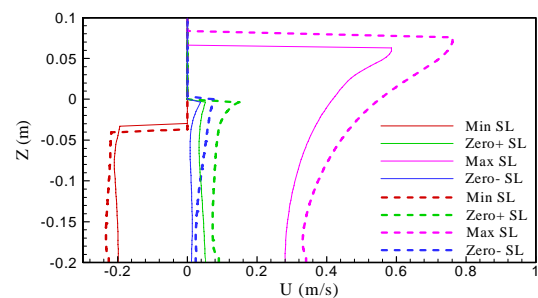
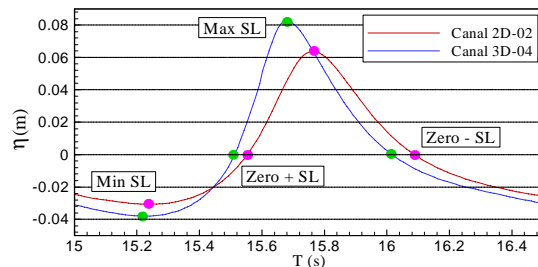


Fig. 4. Perfil das componentes horizontal e vertical da velocidade na seção $X=13.0\text{m}$ (Caso 2 - linhas contínuas, Caso 4 - linhas descontinuas).

4.3. Acoplamento dos modelos FLUENT e COBRAS-UC

Para estudar o efeito do estreitamento nos resultados do perfil de velocidades obtido com o modelo COBRAS-UC e afim de poder simular as condições experimentais, efectuou-se um acoplamento de modelos. Para tal, o modelo COBRAS-UC foi executado tendo como dados de entrada a elevação de superfície livre e o perfil de velocidades obtidos com o FLUENT para o Caso 4 (3D) e para o Caso 2 (2D), em $x=13\text{m}$, onde termina o estreitamento.

Na Figura 5 apresentam-se os resultados da elevação da superfície livre em $x=13.9\text{m}$, imediatamente antes da rebentação. Como se pode observar, a inclusão do efeito do estreitamento leva a uma melhor concordância dos resultados, reduzindo as diferenças da altura de onda de 16% para menos de 1%.

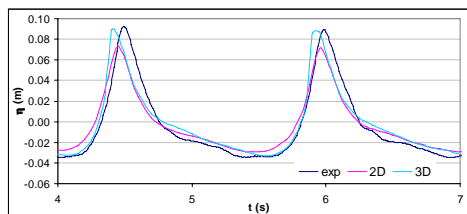


Fig. 5. Elevação de superfície livre em $x=13.9\text{m}$: comparação dos ensaios (exp) com o FLUENT+ COBRAS-UC (2D e 3D).

Na Figura 6 apresentam-se os resultados do perfil de velocidades obtidos em $x=13.5\text{m}$ (antes da rebentação) e em $x=16.5\text{m}$ (depois de se iniciar a rebentação).

Como se pode verificar, para $x=13.5\text{m}$ a inclusão do efeito do estreitamento leva a um aumento quer dos valores máximos quer dos mínimos de velocidade, mantendo-se os valores médios quase inalterados. Para as velocidades mínimas, este efeito é maior junto ao fundo. Já para as velocidades máximas a diferença aumenta à medida que nos afastamos do fundo.

Quando comparamos os resultados do modelo com os obtidos nos ensaios, verifica-se que, junto ao fundo, as velocidades máximas estão próximas das obtidas quando se tem em conta o efeito do estreitamento (3D), mas vão-se afastando à medida que nos afastamos do fundo até atingir erros da ordem de 17% e os valores medidos aproximam-se progressivamente dos valores obtidos sem estreitamento (2D). Já no que respeita aos valores mínimos ocorre o inverso, com o efeito do estreitamento a levar a uma aproximação dos valores medidos à medida que nos afastamos do fundo. No entanto, para $x=16.5\text{m}$, a inclusão do efeito do estreitamento leva a uma boa concordância das velocidades máximas, com erros inferiores a 8%. Quanto às velocidades mínimas e médias, esta concordância é boa junto ao fundo mas vai piorando consideravelmente à medida que nos afastamos do fundo, atingindo diferenças da ordem dos 27%.

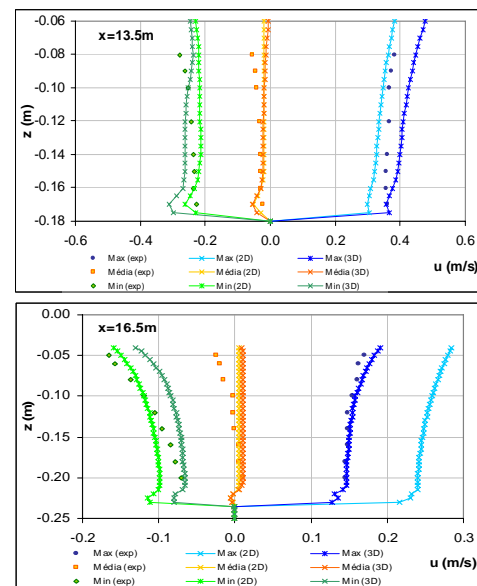


Fig. 6. Perfil das componentes horizontal e vertical da velocidade em $x=13.5\text{m}$ (cima) e $x=16.5\text{m}$ (baixo).

Como conclusão, verifica-se que, em geral, o acoplamento dos modelos levou a uma melhor concordância com os dados do perfil de velocidades obtidos nos ensaios, especialmente no que se refere às velocidades máximas. A variação de largura do canal induz a alterações importantes das características da onda que devem ser contabilizadas na simulação numérica.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece à FCT para o financiamento da bolsa SFRH/BPD/37901/2007. Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) pelo financiamento concedido através projectos PTDC/ECM/67411/2006. Agradecem ainda ao Instituto de Hidráulica Ambiental (IH Cantábria) a permissão para a utilização do modelo COBRAS-UC.

REFERÊNCIAS

- Fluent (2006), Fluent user guide.
- Hirt, C.W., e Nichols, B.D. (1981). Volume of fluid VOF method for the dynamics of free boundaries. *Journal of Computational Physics*, 39, 201-225.
- Lara, J.L., Garcia, N., Losada, I.J. (2006). RANS modelling applied to random wave interaction with submerged permeable structures. *Coastal Engineering*, 53 (5-6), 395-417.
- Okamoto, T., Fortes, C.J., Neves, M.G. (2009). Análise das velocidades horizontais na simulação da rebentação sobre um perfil barra-fossa. *Actas da III Conferência Nacional em Mecânica dos Fluidos, Termodinâmica e Energia*.
- Peric, M., e Ferziger, J.H. (1997) *Computational Methods for Fluid Dynamics*, Springer, 2nd. edition.

Implementação de um critério RTFN no modelo Coulwave para a simulação da rebentação

Theo Moura¹, Conceição J. Fortes¹ Takashi Okamoto¹

(1) Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas, Departamento de Hidráulica e Ambiente, LNEC
Av. do Brasil, 101, 1700 066 Lisboa, Tel. +351 21 844 3912, Fax. 351 21 844 3019
E mail: tmoura@lnec.pt, jfortes@lnec.pt, tokamoto@lnec.pt

Resumo: Nesta comunicação, descreve-se a implementação no modelo de Boussinesq COULWAVE de um novo modelo de rebentação baseado no conceito RTFN. É efectuada a validação do modelo no caso de propagação de ondas sobre uma rampa de inclinação 1:34.26, para o qual existem resultados experimentais. Este trabalho constitui uma das tarefas do projecto BRISA (Interação entre a rebentação das ondas e o transporte de areias) que prevê o desenvolvimento de modelos de rebentação mais adequados à descrição da hidrodinâmica da rebentação.

Palavras-chave: Rebentação, Modelação numérica, Campanhas de campo, COULWAVE

1. INTRODUÇÃO

A determinação da rebentação é essencial em estudos de hidrodinâmica costeira e de transporte de sedimentos. Nesse sentido, o projecto BRISA (Interação entre a rebentação das ondas e o transporte de areias) tem por objectivo contribuir para a compreensão e modelação numérica dos fenómenos de rebentação das ondas e do transporte de sedimentos em zonas costeiras, envolvendo a realização de ensaios experimentais, a modelação numérica e a realização de campanhas de recolha de dados de campo. Neste âmbito, uma das tarefas do projecto é o desenvolvimento de um modelo de rebentação mais adequado à descrição do fenómeno de rebentação e a sua implementação num modelo de propagação de ondas.

Para o modelo de ondas, foi escolhido o modelo numérico COULWAVE (Lynett e Liu, 2004), bastante utilizado em estudos de propagação, que é um modelo de diferenças finitas para a propagação de ondas fortemente não-lineares e dispersivas, em zonas de profundidade variável. Este modelo baseia-se nas equações do modelo, do tipo de Boussinesq, são deduzidas a partir da integração em profundidade das equações de continuidade e movimento, utilizando o conceito de camadas múltiplas (*multi-layer*).

Uma vez que a rebentação tem um comportamento físico diferente do movimento potencial de um fluido, é necessário um tratamento especial para reproduzir a rebentação neste tipo de modelos. Assim, a rebentação é tratada através da inclusão de termos de viscosidade turbulenta nas equações de conservação da quantidade de movimento, Kennedy et al. (2000). O modelo resultante depende de um conjunto de parâmetros relacionados com o início, fim e duração da rebentação. Estes parâmetros têm de ser calibrados para cada caso de estudo e condição de agitação, constituindo por isso uma

limitação do modelo numérico.

No sentido de resolver este problema, recorreu-se a um critério de rebentação desenvolvido por Uktu e Basco (2002) baseado no cálculo do número de Froude associado à cava da onda (*Relative Trough Froude Number, RTFN*) que se relaciona com o conceito do ressalto hidráulico móvel. Este critério é função da celeridade da onda na crista e na cava bem como da velocidade da onda na cava., pelo que não depende de coeficientes empíricos que tem de ser calibrados caso a caso, para a simulação da rebentação.

Nesta comunicação, descreve-se a metodologia utilizada para implementar o critério RTFN no modelo COULWAVE de modo a melhorar o seu desempenho na simulação de rebentação. Para validar o modelo assim modificado, este é aplicado a três casos simples de propagação de ondas sobre uma rampa de inclinação 1:34.26, para o qual existem resultados experimentais de Hansen e Svendsen (1979). Efectua-se uma análise comparativa dos resultados numéricos e experimentais dos valores de altura de onda ao longo do canal. Efectua-se também a comparação entre o original implementado no COULWAVE e o novo modelo baseado no critério de RTFN.

2. O MODELO COULWAVE

2.1 Breve descrição

O modelo COULWAVE (Lynett e Liu, 2004) é um modelo de diferenças finitas para a propagação de ondas fortemente não-lineares (a razão entre a amplitude da onda e a profundidade pode ser da ordem até 1) e dispersivas, em zonas de profundidade variável. O modelo permite simular a maioria dos fenómenos intervenientes na transformação da onda em fundos de profundidade variável e na presença de correntes, empolamento (linear e não linear), difracção, refracção pelo fundo e devida às correntes, dispersão de frequência e de

amplitude, espraçamento (*run-up*) e dissipação de energia por rebentação da onda.

As equações do modelo, do tipo de Boussinesq, são deduzidas a partir da integração em profundidade das equações de continuidade e movimento, utilizando o conceito de camadas múltiplas (*multi-layer*). Em cada camada admite-se um dado perfil de velocidades. Com estes perfis de velocidade que coincidem na fronteira entre camadas, é deduzida um conjunto de equações que permite estender a aplicabilidade do modelo a águas muito profundas e apresentar características lineares até $kh \sim 8$ e um comportamento não-linear de 2ª ordem até $kh \sim 6$.

Lynett e Liu (2004) introduziram termos adicionais nas equações de modo a ter em conta o atrito de fundo, a rebentação de ondas, o espraçamento, a geração de ondas no interior do domínio. Além disso, incluíram termos de profundidade dependentes do tempo para ter em conta a variações do perfil de fundo no tempo devido à ocorrência de um deslizamento ou de um sismo.

A resolução das equações referidas é semelhante à formulação apresentada por Wei e Kirby (1995) utilizando um esquema predictor-corrector de Adams-Bashforth. O esquema de diferenças finitas consiste num esquema explícito de Adams-Bashforth de 3ª ordem no tempo para o passo predictor e implícito de 4ª ordem no tempo para o passo corrector. Para as derivadas espaciais são utilizadas diferenças finitas centrais com uma precisão de 4ª ordem. As derivadas espaciais e temporais de ordem superior são efectuadas com uma precisão de 2ª ordem. O modelo é formalmente preciso até Δt^4 em tempo e Δx^4 em espaço. A diferença relativamente a Wei e Kirby (1995) refere-se a alguns termos não-lineares dispersivos e à existência de termos adicionais, devidos à dependência temporal da profundidade.

Para as fronteiras exteriores, dois tipos de condições são aplicadas: reflexão total e radiação. No primeiro caso utiliza-se a metodologia de Wei e Kirby (1995) enquanto que para a radiação ou condição de fronteira aberta, um esquema de fronteira absorvente (*sponge layers*).

É de salientar que o modelo como admite aproximações para a distribuição vertical da velocidade em cada uma das camadas em que é dividida a coluna de água, variações significativas do fundo podem não ser correctamente simuladas pelo modelo.

Os dados de entrada do modelo COULWAVE encontram-se explicados em Lynett e Liu (2004) e alguns dos resultados fornecidos pelo modelo constam das séries temporais e espaciais da elevação da superfície livre e velocidades horizontais nos pontos do domínio definidos pelo utilizador.

2.1 Modelo original de rebentação no COULWAVE

A implementação da rebentação da onda no modelo

COULWAVE é baseada em Kennedy et al. (2000) e é tratada através da inclusão de termos de viscosidade turbulenta nas equações de conservação da quantidade de movimento, sendo R_{bx} e R_{by} as componentes em x e y do termo R_b , adicionado à equação de momentum:

$$R_{bx} = \frac{1}{h + \zeta} \left[\mathcal{G}((h + \zeta)u_1)_x + \frac{1}{2} \left(\mathcal{G}(((h + \zeta)u_1)_y + ((h + \zeta)v_1)_x) \right)_y \right] \quad (1)$$

$$R_{by} = \frac{1}{h + \zeta} \left[\frac{1}{2} \left(\mathcal{G}(((h + \zeta)v_1)_x + ((h + \zeta)u_1)_y) \right)_x + \mathcal{G}((h + \zeta)v_1)_y \right] \quad (2)$$

em que ζ é a elevação da superfície livre, h é a profundidade, u_1 e v_1 são as componentes do vector de velocidade horizontal à profundidade definida em cada camada, os índices x e y representam derivadas espaciais e \mathcal{G} é o coeficiente de viscosidade turbulenta, localizado na face frontal da onda. Este coeficiente é definido por:

$$\mathcal{G} = B(h + \zeta)\zeta_t \quad (3)$$

A quantidade B que controla a ocorrência de dissipação de energia e garante uma suave transição entre a rebentação e a zona de não rebentação, é dada por:

$$B = \begin{cases} \delta & \zeta_t \geq 2\zeta_t^b \\ \delta(\zeta_t/\zeta_t^b - 1) & \zeta_t^b \leq \zeta_t \leq 2\zeta_t^b \\ 0 & \zeta_t \leq \zeta_t^b \end{cases} \quad (4)$$

onde δ é um factor amplificador e o parâmetro ζ_t^b determina o início e fim da rebentação da onda. ζ_t^b é determinado do seguinte modo:

$$\zeta_t^b = \begin{cases} \zeta_t^{(I)} & t - t_0 \geq T^b \\ \zeta_t^{(F)} + \frac{t - t_0}{T^b} (\zeta_t^{(F)} - \zeta_t^{(I)}) & 0 \leq t - t_0 \leq T^b \end{cases} \quad (5)$$

em que $\zeta_t^{(I)}$ define o início da rebentação, i.e., é o patamar inicial da elevação da superfície livre que tem de ser excedido para a rebentação acontecer, $\zeta_t^{(F)}$ define o fim de rebentação, i.e., é o mínimo valor da elevação da superfície livre para a rebentação continuar, t é o instante local, t_0 é o instante de tempo em que a rebentação da onda ocorre, $t - t_0$ é a idade do evento de rebentação e T^b é o tempo de transição, ou seja, o instante em que se considera que a rebentação cessa. O início e fim da rebentação da onda são determinados utilizando os parâmetros $\zeta_t^{(I)}$ e $\zeta_t^{(F)}$ e do tempo de transição T^b .

dados por $0.65\sqrt{gH}$ e $0.08\sqrt{gH}$. O valor de T^b é dado por $8\sqrt{h/g}$. O valor adoptado para δ é 6.5.

Estes parâmetros foram definidos com base em testes sobre fundos de inclinação suave. Noutras situações cujos perfis se afastem desta situação ideal, haverá que proceder ao ajuste do valor destes parâmetros, o que é uma das limitações deste modelo numérico.

2.3 O critério RTFN

A ideia fundamental do RTFN (*Relative Trough Froude Number*) é considerar a rebentação como um ressalto hidráulico móvel, Okamoto e Basco (2006). Trata-se de um critério de rebentação para o qual é necessário a determinação da celeridade da onda (na crista e cava) e a velocidade da onda na cava, de acordo com:

$$RTFN = Fr_T = \frac{C_{crista} - u_{cava}}{C_{cava}} \quad (6)$$

onde u é a velocidade das partículas e subscrito denota o sítio onde é determinada essa velocidade (cava ou da crista). Esta equação não é suficiente para obter uma expressão analítica do RTFN, pelo que se tem de recorrer a uma teoria de onda.

Basco e Okamoto (2002) derivaram uma expressão para o RTFN usando a teoria da onda (linear, de onda de Stokes de 2ª ordem e de onda solitária) e definiram o valor crítico no início da rebentação. Uktu e Basco (2002) efectuaram um conjunto de ensaios experimentais e confirmaram que a condição crítica do RTFN no início da rebentação é consistente para várias condições de onda incidente. Okamoto (2003) determinaram o valor crítico do RTFN no fim da rebentação com base numa análise teórica (teoria linear e da onda solitária) e de ensaios experimentais num fundo horizontal. Com o referido, para determinar a condição crítica na posição do fim da rebentação é necessário definir uma condição geométrica. Assim, a altura de onda no fim da rebentação deve ser próxima à condição de onda estável pelo que foi usado $H/d=0.35\sim 0.4$. Como resultado, a condição crítica de RTFN no fim da rebentação vem $RTFN=1.18\sim 1.20$.

Okamoto et al. (2006) também determinaram o comportamento do índice RTFN durante a rebentação das ondas num fundo horizontal e compararam este índice com outros índices semelhantes, como o da altura de onda relativa, H/d , o do ângulo livre de superfície e da velocidade vertical da superfície livre. Tal revelou que o RTFN se aproxima de modo mais suave da condição de fim do que os outros índices. Na verdade, os outros índices de rebentação baseados na geometria da onda tornam-se praticamente iguais ao valor final numa posição muito afastada do fim da rebentação. Okamoto et al. (2008) estenderam esse trabalho num perfil de fundo tipo barra-fossa com medição da elevação da superfície livre e de velocidades após a ocorrência da rebentação e até ao seu final. Para além dos valores do RTFN no início, durante e fim da rebentação, efectuou-se também uma análise da influência do declive de fundo e características da onda nos valores de RTFN. Verificou-se que o RTFN é muito próximo do valor teórico no fim da rebentação, embora esse valor cresça à medida que o declive é maior.

2.3 Implementação no modelo COULWAVE

A implementação no modelo unidimensional COULWAVE seguiu o procedimento efectuado por

Okamoto (2003), para ondas regulares. As fases foram:

1. Determinação da localização da cava e da crista, com recurso a uma janela de comprimento fixo que se movimenta ao longo do domínio computacional;
2. Cálculo das características da onda (velocidade da partícula, celeridade da onda na cava e na crista), com base nas variáveis do modelo;
3. Cálculo do valor de RTFN através da Eq. 6;
4. Comparação do valor de RTFN com a condição crítica definida *a priori*. Caso o RTFN exceda a condição de viscosidade, o termo de viscosidade turbulenta devido à rebentação é adicionado à equação de Boussinesq.

Note-se que neste trabalho, a teoria RTFN funciona apenas como um critério de rebentação. Não inclui nenhuma teoria para a dissipação de energia da onda durante a rebentação. Em resumo, o RTFN permite determinar se a onda vai, está ou parou de rebentar mas não calcula as alterações da forma da mesma. Sendo assim, o termo de viscosidade turbulenta já implementado no modelo COULWAVE é adicionado a todos os nós desde a crista até à cava.

3. APLICAÇÃO DO MODELO

O modelo COULWAVE, com o novo critério de rebentação, foi aplicado a três casos simples de propagação de ondas regulares sobre um perfil de praia de inclinação constante, para o qual existem resultados experimentais levados a cabo por Hansen e Svendsen (1979). Os casos de teste escolhidos foram nº 041041, nº 041041, nº 051041 e nº 061041, onde as características iniciais das ondas estão na tabela 1.

Testes	Altura da onda (m)	Período (s)
041041	0.036	2.0
051041	0.067	1.67
061041	0.036	2.5

Tabela 1 – Característica dos experimentos.

Para estes casos, o domínio computacional usado pelo modelo COULWAVE é unidimensional de comprimento 44.66 m, sendo 20 m de profundidade constante ao que se segue uma rampa de inclinação 1:34.26. O teste nº 041041 é utilizado para validar o método tradicional de rebentação do COULWAVE. Com o objectivo de obter uma comparação, não apenas com os resultados dos ensaios em modelo físico, mas também com os resultados obtidos da simulação de validação do modelo COULWAVE, foram mantidas as mesmas características propostas naquele teste.

O modelo gera uma malha de diferenças finitas com base num número mínimo de pontos por comprimento de onda dado pelo utilizador, que neste caso, foi de 200. O número de Courant admitido foi igual a 0.4. A função fonte (geração de ondas) foi colocada na posição $x=10$ m. Consideraram-se duas fronteiras de absorção nos

extremos do domínio, com 1.25 vezes o comprimento de onda. Em todas as simulações considerou-se apenas uma camada, as equações totalmente não-lineares e atrito de fundo (coeficiente de atrito= 5.0×10^{-3}). Nos restantes parâmetros do modelo, consideraram-se os valores sugeridos pelo manual (Lynett e Liu, 2004).

Na Figura 1 apresentam-se os resultados numéricos e experimentais obtidos para a altura de onda significativa sobre a rampa, com o modelo de rebentação original e com o modelo RTFN, para o teste n. 041041.

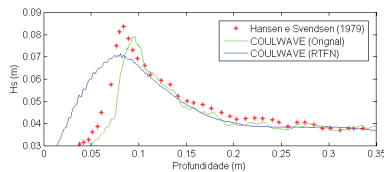


Figura 1 – Valores numéricos e experimentais da altura de onda significativa para o teste n. 041041.

Para os três testes, os resultados numéricos foram similares, sendo possível identificar o empolamento da onda devido à diminuição da profundidade e a posterior rebentação da onda em baixas profundidades. Após dar-se início à rebentação, a altura da onda diminui devido à dissipação de energia resultante do fenómeno turbulento da rebentação. Em geral, os resultados numéricos obtidos com o novo critério de rebentação acompanham bem os resultados experimentais até ao início da rebentação. De notar que a profundidade onde ocorre a rebentação da onda no modelo RTFN, é mais próxima à obtida nos resultados experimentais do que a que acontecia com os resultados do modelo originais de rebentação. No entanto existem algumas diferenças após a rebentação. Uma delas é a amplitude da onda no momento da rebentação, para o caso do modelo RTFN: a altura da onda no ponto de rebentação é menor quando comparada tanto com os dados experimentais como com os simulados através do modelo de rebentação original. Tal pode estar associado ao termo da viscosidade turbulenta (que representa a dissipação de energia pela rebentação da onda) e, mais concretamente, ao parâmetro B (equações 3 e 4) responsável pela transição entre a região sem e com rebentação. No estudo aqui apresentado, o parâmetro B não foi considerado no modelo RTFN e esse pode ser um motivo para ocorrer uma dissipação muito forte de energia logo ao início da arrebatção. Outra diferença está no decaimento da altura da onda após o início da rebentação. Pode-se observar que o decaimento ocorre de forma mais lenta para o caso do modelo RTFN. Esse padrão pode estar relacionado com o facto da ausência do parâmetro B , mas também pela forma como são definidos os pontos da malha computacional onde serão aplicados o termo da viscosidade turbulenta.

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho, descreveu-se a implementação no modelo COULWAVE de um modelo de rebentação baseado no conceito RTFN. Efectuou-se a validação do modelo com três casos de teste simples de propagação de onda sobre uma rampa de inclinação 1:34.26, para a qual existem resultados experimentais de Hansen e Svendsen (1979).

A comparação de resultados numéricos e medições mostrou que o novo modelo de rebentação tem potencialidades mas a sua afinação requer ainda estudos complementares.

Agradecimentos

Os autores agradecem o financiamento da FCT através de projecto PTDC/ECM/67411/2006.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Basco, D. R., Okamoto, T. (2002). New Wave Breaking Trigger Criteria for Phase-Resolving Numerical Models. Proceedings of 28th ICCE (Wales) ASCE, pp. 319-331.
- Hansen, J.B., Svendsen, I.A. (1979). Regular waves in shoaling water: experimental data, Technical Report, ISVA, Series paper 21.
- Kennedy, A.B., Q. Chen, J.T. Kirby, and Dalrymple, R.A. (2000). Boussinesq Modeling of Wave Transformation, Breaking and Runup I: ID. J. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, Vol. 126, No. 1, pp. 39-47.
- Lynett, P., Liu PL-F. (2004). Modelling wave generation, evolution and interaction with Depth-Integrated, Dispersive Wave equations. COULWAVE Code Manual. Cornell Univ. Long Inter. Wave Modelling Package.
- Okamoto, T. (2003). Boussinesq Model and the relative trough Froude Number (RTFN) for wave breaking. PhD Thesis. Old Dominion University.
- Okamoto, T., Basco, D. R. (2006). The Relative Trough Froude Number for Initiation of Wave Breaking: Theory, Experiments and Numerical Model Confirmation, Coastal Eng., 53, 675-690.
- Okamoto, T., Basco, D.R., Fortes, C.J.E.M. (2006). The Relative Trough Froude Number for Termination of Wave Breaking. Proc. of 30th ICCE (San Diego), ASCE, 180-192.
- Okamoto, T., Basco, D.R., Fortes, C.J.E.M. (2008). Wave breaking Termination on Bar-trough shaped beaches. ISOPE 2008.
- Utku, M., Basco, D.R. (2002). A New Criteria for Wave Breaking Based on the Relative Trough Froude Number. Proc. of 28th ICCE, (Wales), ASCE, New York, 258-268.
- Wei, G., Kirby, J.T. (1995). Time-dependent numerical code for extended Boussinesq equations. J. Waterways, Ports, Coastal and Ocean Eng., ASCE, pp. 251-261.

On the interaction of waves and opposite current

Cláudia Lucas, Manases Tello, C. Guedes Soares

Centre for Marine Technology and Engineering (CENTEC)
 Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal
 E-mail: clucas@mar.ist.utl.pt; manases.tello@mar.ist.utl.pt; guedess@mar.ist.utl.pt

Resumo: Apresentam-se os resultados obtidos num estudo realizado sobre a interação entre ondas e correntes. Este e tudo experimental foi executado no Instituto Hidráulico Dinamarquês (DHI). Geraram-se vários estados de mar seguindo o modelo de JONSWAP sem corrente e com corrente de sentido oposto. Os espectros dos estados do mar combinados são comparados com as formulações teóricas de Huang et al. Os resultados obtidos são coerentes com a teoria usada e as amplitudes das ondas na presença de corrente oposta tendem a aumentar.

Palavras-chave: espectro de frequência, interação ondas-corrente.

1. INTRODUCTION

For several applications related with the design and operation of marine structures it is important to start from a spectral model able of characterizing the frequency distribution of the wave energy. The design codes for offshore structures specify the need to use wave spectra in the evaluation of wave induced loads. As these structures are stationary they have to be designed to support currents, due to mooring systems. It is well known that in the sea is difficult to measure the current simultaneously with the wave systems, which is possible in an offshore basin.

Guedes Soares *et al.* (2000) and Guedes Soares and de Pablo (2005) conducted two initial studies that are now complemented by the present one that covers a range of sea states not used before.

This paper addresses this problem of the interaction of waves and currents, considering how the shape of a wave spectrum suffers modifications by the presence of a current. In this work records of free surface elevation, tested in the Danish Hydraulic Institute are analyzed to understand the effect of waves with opposite current.

To study the interaction between waves and current the wave action concept is important as, unlike wave energy, it is conserved in the absence of wave generation or dissipation. For linear waves, wave action is given by the ratio (wave energy)/(wave frequency relative to the current). Its introduction led to some simplifications in the mathematics of wave-current interactions. Instead of employing a relatively complicated energy equation with its important

radiation stress term, it becomes possible to allow for the transfer of energy between waves and currents without the need to explicitly calculate the energy exchange (Hedges *et al.* 1985).

The work of Jonsson and Wang, (1978) involving regular waves has been of particular significance because they described that on the interaction between waves and currents it is necessary to distinguish between wave rays and wave orthogonal; wave rays are in the direction of the vector sum of the current and the relative group velocity of the waves, while orthogonal indicate the local orientation of the waves crest. The flux of wave action between neighboring rays determined the wave height.

2. INTERACTION OF WAVE SPECTRA WITH CURRENTS

The present study considers deep water waves and the relations governed by the linear theory, which are:

$$\eta(\bar{x}, t) = A(\bar{x}, t) e^{i\varphi(\bar{x}, t)} \quad (1)$$

$$\omega^2 = gk \quad (2)$$

where $A(\bar{x}, t)$ is the wave amplitude, $\varphi(\bar{x}, t)$, the phase function, g the gravity, $k = 2\pi/\lambda$ the wave number and ω the angular frequency .

Waves and current interaction are studied under two frames of reference, an inertial and a moving frame. The moving frame is parallel to the wave orthogonal

and translating at the speed of the steady current velocity U . Thus the relation for the moving and the inertial frame is given by:

$$x_r = x - Ut \tag{3}$$

For the moving frame of reference, waves propagate as in still water, and then the wave will have an angular relative frequency, ω_r , and an apparent angular frequency, ω_a , for the stationary frame, both of them along the wave orthogonal velocity U , which is given by:

$$\omega_a = \bar{k}U(\bar{x}, t) + \omega_r \tag{4}$$

Then, one can obtain by a simple mathematical operation of equation (4), the change in wave length due to the wave-current interaction:

$$gk = \frac{\omega^2}{\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\left(1 + \frac{4U\omega}{g}\right)^{1/2}\right)^2} \tag{5}$$

In the absence of current, the relative angular frequency for the moving and the stationary frames of reference are the same. Considering the linear theory, the following relations for the moving frame are:

$$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx_r - \omega_r t) \tag{6}$$

$$\omega_r^2 = gk \tag{7}$$

When the waves travel from one current region to another there will be no change in the apparent frequency. However there will be change in the relative frequency, in the wave length and in the wave height. The change in ω_r and λ may be found by the equation (5) and (7) while the change in amplitude is determinate from the principle of the wave action conservation (Bretherton and Garrett, 1968), which is:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{E(U + c_{gr})}{\omega_r} \right] = 0 \tag{8}$$

in which $E (= \rho g H^2 / 8)$ is the wave energy density; c_{gr} the relative group velocity of the waves; and ρ water density. For waves traveling in quiescent water onto a current, an equivalent form of Eq. (8) is:

$$E \left(\frac{c_{gr} + U}{\omega_r} \right) = \frac{1}{2} E_o c_o^2 \tag{9}$$

For irregular waves the energy is given by the spectrum density, consequently the ratio between the spectral density of free-surface displacement for the current region, $s(\omega_a, U)$, to the quiescent area, $s(\omega_a)$, is given by (Huang *et al* 1972):

$$\frac{s(\omega_a, U)}{s(\omega_a)} = \frac{4}{\left(1 + \sqrt{1 + \frac{4U\omega_a}{g}}\right)^2 \left(\sqrt{1 + \frac{4U\omega_a}{g}}\right)} \tag{10}$$

In general, as waves that travel onto an opposing current tend to shorten and increase in height. Consequently $s(\omega_a, U)$ increases and equation (10) predicts that it will become infinite when the wave frequency approaches $\omega_a = -g / 4U$; then waves with particular wave kinematics cannot travel at those values and wave breaking start to occur. However even components, which do travel, experience some change due to the wave breaking because there is a limit where the waves can grow in any particular frequency band (Phillips, 1977). For deep water waves, this is namely “equilibrium range constrain” and has been given by Hedges (1981) as follows:

$$s_{ER}(\omega_a, U) = \frac{A^* g^2}{(\omega_a - kU)^5} \frac{1}{\left(1 + \frac{2*U(\omega_a - kU)}{g}\right)} \tag{11}$$

in which “ER” refers to the equilibrium range; and A^* is a numerical constant. Note that in the absence of current this reduces to the usual form derived by Philips (1977); for that case, Philips quotes values for A^* are in the range of 0.008-0.015. Provided that the equilibrium ranges of the spectrum associate with deep water, it is assumed that (11) will apply in the calculation of the spectral densities for current region whenever it is less than the one given by (10).

3. TESTS AT THE DEEP WATER TANK OF DHI

3.1 Experimental Procedure

The experimental study was performed on the offshore basin, of the Danish Hydraulic Institute in Hørsholm (DHI), which has the following dimensions: 20x30x3 [m].

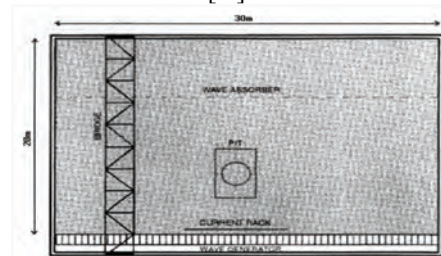


Fig. 1. The DHI offshore basin.

The current in the tank was generated by a set of nozzles, while the waves were generated by a hydraulic flap-wave maker. A parabolic beach located

upstream dissipates the wave energy, avoiding reflections. Data acquisition was obtained by seven wave gauges and an ultrasonic current meter.

The current flow values were 0.31, 0.46 and 0.92 [m/s] (full scale), which are namely denoted here as c4, c8 and c12 respectively and the scaling factor of 1:50 for the tests purpose at the basin.

3.2 Spectral Analysis

Experimental data are shown in table I and table II, which are at full scale, significant wave height, peak period and frequency, respectively for each test. According to the linear theory, amplitudes must be increased in the presence of opposite current, and the total period, in the presence of current and in the quiescent area, must be the same due to principle of the wave action.

Table I- Irregular waves without current carried out at the DHI

Irregular waves without current			
Type of wave	Hs [m]	Tp [s]	Fp [Hz]
Irr 01	2.50	9.40	0.11
Irr 02	2.50	13.79	0.07
Irr 03	3.50	9.40	0.11
Irr 04	4.00	7.28	0.14
Irr 05	4.50	9.37	0.11
Irr 06	4.50	14.20	0.07
Irr 07	7.50	9.40	0.11
Irr 08	7.50	14.20	0.07
Irr 09	9.50	12.17	0.08
Irr 10	9.50	14.20	0.07
Irr 11	11.00	12.17	0.08
Irr 12	11.50	14.20	0.07

From tables I and II, one can observe a slight variation on the values of the significant wave height, as well as the peak periods are change randomly.

Table II -Irregular waves with current carried out at the DHI

Irregular waves with opposite current			
Type of wave	Hs [m]	Tp [s]	Fp [Hz]
Irr 01 + c8	2.50	9.97	0.10
Irr 02 + c8	2.50	14.21	0.07
Irr 03 + c4	3.50	9.40	0.11
Irr 03 + c8	3.50	9.97	0.10
Irr 03 + c12	3.50	9.40	0.11
Irr 04 + c8	4.00	7.57	0.13
Irr 05 + c4	4.50	9.19	0.11
Irr 05 + c8	4.50	9.69	0.10
Irr 05 + c12	5.00	9.40	0.11
Irr 06 + c8	5.00	14.78	0.07
Irr 07 + c8	7.50	9.40	0.11
Irr 08 + c8	8.00	14.21	0.07
Irr 09 + c8	9.50	12.73	0.08
Irr 10 + c8	11.00	13.29	0.08
Irr 11 + c8	11.50	12.16	0.08
Irr 12 + c8	11.50	14.21	0.07

The current effect for tests numbers 05, 06, 08, 10 and 11 seems to be more, when the current speed is increased. Apparently, the chosen current values are

not strong enough to make any considerable changes for the significant wave height, for all tests.

The following figures are the plots for test with the current c4, c8 and c12. It is possible to see the comparison between the spectral density function for the wave systems with and without current and the theoretical models.

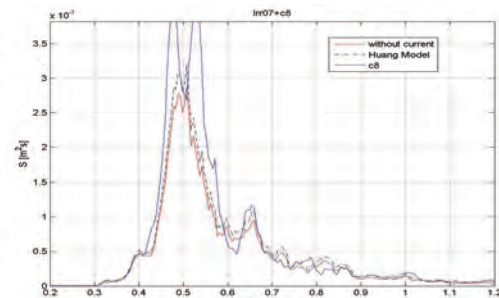


Fig. 2. $T = 14.20[s]$, $H = 4.5[m]$, spectra with current 0.46 [cm/s], without current and the Huang spectrum.

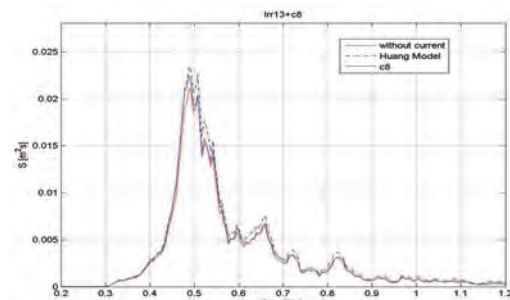


Fig. 3. $T = 12.20[s]$, $H = 11.50[m]$, spectra with current 0.46 [m/s], without current and the Huang spectrum..

Waves carried out with three velocity currents.

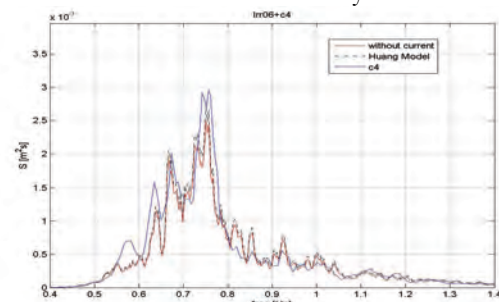


Fig. 4. $T = 9.37[s]$, $H = 4.5[m]$, spectra with and without current 0.31 [m/s] and the Huang spectrum.

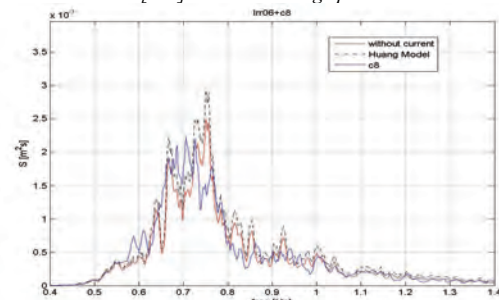


Fig. 5. $T = 9.37[s]$, $H = 4.5[m]$, spectra with and without current 0.46 [m/s] and the Huang spectrum.

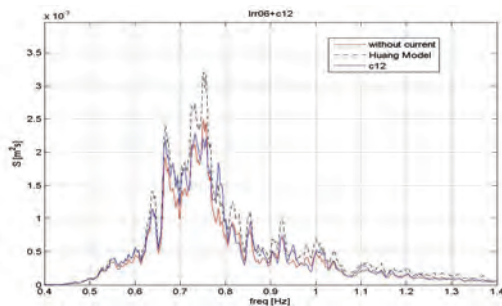


Fig. 6. $T = 9.37$ [s], $H = 4.5$ [m], spectrum with and without current 0.92 [m/s] and the Huang spectrum.

4. CONCLUSIONS

From the figures two to six a slight variation in shape of the spectral density can be noticed, which confirms an energy exchange between the waves and current. It can be observed also in figures as in table II when the current speed increases its value the effects on the waves are higher. Therefore for the interaction between waves and opposite current the present results show that the linear theory and the approach of Huang *et al* (1972) approximate well the experimental values.

Acknowledgements

The data analyzed in these work was collected in the scope of the project "HYDRALAB III" at the Danish Hydraulics Institute.

REFERENCES

- Bretherton, F.P., and Garrett, C.J.R. (1968). Wave trains in inhomogeneous moving media. *Proceedings of the Royal Society*. London, England. Series A, 302, 529-554.
- Clauss, G., Lehmann, E., and Ostergaard, C. (1992). *Offshore Structures. Volume I. Conceptual Design and Hydromechanics*. Springer-Verlag. Germany.
- Dean, R.G., and Dalrymple, R.A. (1984). *Wave Mechanics for Engineers and Scientists*. Prentice-Hall Inc, New Jersey.
- Guedes Soares, C., Pablo, I. (2006). Experimental study of the transformation of wave spectra by a uniform current. *Ocean Engineering*, 33, 293-310.
- Guedes Soares, C., Rodriguez, G.R., Cavaco, P., Ferrer, L. (2000). Experimental study on the interaction of wave spectra and currents. *Proceedings of the ETCE/OMAE Joint Conference Energy for the New Millennium, ASME, paper OMAE 2000/S&R-6133*.
- Hedges, T.S. (1981). Some Effects of Currents on Wave Spectra. *Proceedings of the First Indian*

Conference in Ocean Engineering. Indian Institute of Technology. Madras, 1, 30-35.

Hedges, T.S., Anastasiou, K., and Gabriel D. (1985). Interaction of Random Waves and Currents. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 111, 2, 275-288.

Hedges, T.S., Lee, B.W. (1992). The Equivalent Uniform Current in Wave-Current Computations, *Coastal Engineering*, 16, 301-311.

Huang, N.E., Chen, D.T., Tung, C.C., Smith, J.R. (1972). Interactions between Steady Non-Uniform Currents and Gravity Waves with Applications for Current Measurements. *Journal of Physical Oceanography*, 2, 4, 420-431.

Jonsson, I.G., and Wang, J.D. (1978) "Energy Flux And Wave Action In Gravity Waves Propagating In Current. *Journal of Hydraulic Research*, Delft, The Netherlands, 16, 3, 223-234.

Phillips, O.M. (1977). *The Dynamics of the Upper Ocean*, 2nd Ed., Cambridge University Press, Cambridge, England.

Avaliação do desempenho de dois estudos de reconstituição da agitação marítima no Atlântico Norte

Ricardo Martins Campos, C. Guedes Soares

Centro de Engenharia e Tecnologia Naval (CENTEC), Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.

E-mail: ricardo.campos@mar.ist.utl.pt, guedess@mar.ist.utl.pt

Resumo: O presente trabalho compara dois estudos de reconstituição da agitação marítima: HIPOCAS e NOAA/NCEP. O HIPOCAS, que foi desenvolvido pelo CENTEC-IST no âmbito de um projecto Europeu, é resultado da aplicação do modelo WAM-ciclo4. Tem 44 anos de duração e cobre o oceano Atlântico Norte em quatro grelhas de resoluções distintas, sendo escolhida a de 1° X 1° para a comparação. A reconstituição da NOAA/NCEP é resultado da utilização do WAVEWATCH III-versão 2.22 e tem resultados a partir de 1997, com uma resolução 1° X 1,25°. Para a comparação foi escolhido o período de 1997 a 2001 e limites entre 50°W a 0°E e 20°N a 65°N, pois representa o período e extensão coincidentes entre as duas reconstituições. Calcularam-se as diferenças médias e também para os valores mais extremos, acima do quantil de 99%. Os resultados apresentam-se em médias mensais e mostram maiores diferenças dos modelos em estados de mar elevados, principalmente nos meses de inverno e próximo à costa em latitudes elevadas.

Palavras chave: reconstituição da agitação marítima, reanálises, modelação de ondas.

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento das condições de agitação marítima, tanto em termos climáticos como em previsões de curto prazo, são importantes para diversas actividades e operações, como pesca, extração de petróleo em águas profundas, operações navais e projetos de estruturas oceânicas. Grande esforço tem sido feito nos últimos anos para se obter dados de agitação marítima fiáveis que possam ser usados para estabelecer as condições em diversos locais bem como para estimar seus valores extremos e as tendências em longos períodos.

Inserido neste contexto, o Centro de Engenharia e Tecnologia Naval (CENTEC) do Instituto Superior Técnico de Lisboa reconstituiu 44 anos da agitação marítima sobre o oceano Atlântico Norte e costa de Portugal. A principal intenção foi obter uma base de dados consistente na parte leste do Atlântico Norte, especialmente em águas costeiras europeias, onde os campos de vento tem grande dependência do relevo e as ondulações respondem fortemente à complexa batimetria da região. Os dados de vento utilizados são resultantes do modelo atmosférico regional REMO forçado de 1958 a 2001 e alimentado pelos ventos do *National Center for Environmental Prediction-National Center for Atmospheric Research*,

NCEP/NCAR. Maiores detalhes sobre a reconstituição do vento encontram-se em Weisse *et al.* (2005). Em seguida o modelo WAM – ciclo 4 (WAMDI Group, 1988) foi aplicado no modo de grelhas acopladas (Gómez and Carretero 1997), resultando em quatro grelhas de resolução crescente em direcção à Península Ibérica (Pilar *et al.* 2008). O trabalho é resultado do projeto “*Hindcast of Dynamic Processes of the Ocean and Coastal Areas of Europe*” (Guedes Soares 2008), aqui designado por HIPOCAS.

A outra reconstituição a ser comparada foi desenvolvida pelo *National Oceanic and Atmospheric Administration-NCEP*, NOAA/NCEP, a qual fornece os parâmetros: altura significativa, período de pico, direcção de pico e vento à superfície.

O período de cobertura é de 1997 até 2010 (é constantemente atualizado) e existem diversas grelhas com resoluções distintas disponíveis. O modelo de ondas aplicado é o WAVEWATCH III – versão 2.22 (Tolman, 2002), forçado com ventos do NCEP/NCAR.

2. ESTADO-DA-ARTE E AVALIAÇÕES ANTERIORES

Diversas avaliações e comparações envolvendo modelos de ondas e reanálises têm sido feitas recentemente, grande parte considerando os erros nos campos de onda como resultado do vento de entrada,

do modelo numérico utilizado e da resolução.

Ardhuin *et al.* (2007) reconstituíram os campos de vento e onda no Mar Mediterrâneo. Entre os resultados, concluíram que a qualidade de ambos degrada bastante próximo a áreas costeiras. Em grelhas com baixa resolução a qualidade rapidamente se deteriora, tanto em águas profundas como costeiras. Segundo o artigo os ventos ainda são a principal fonte de erro na simulação das ondas, o que já tinha sido observado por Teixeira *et al.* (1995). Comparando os modelos WAM e WAVEWATCH concluem que, para ondas com pequenas alturas, os modelos comportam-se de modo semelhante. No entanto, conforme a severidade do mar aumenta, os modelos passam a apresentar resultados diferentes, com o WAVEWATCH subestimando as alturas em relação ao WAM.

Feng *et al.* 2006 estudaram a sensibilidade do modelo WAVEWATCH III para quatro campos de vento diferentes. Comparando com medições, concluem que os melhores resultados em termos de altura significativa são para os ventos NCEP/NCAR, ECMWF, ERS scatterometer e QuickSCAT. Os autores explicam que isto provavelmente se deve ao fato do WAVEWATCH ter sido construído baseado em ventos muito semelhantes às reanálises do NCEP/NCAR.

Pilar *et al.* (2008) descrevem a reconstituição do HIPOCAS. O vento de entrada, do REMO, possui resolução de 0,5° e passo de tempo de uma hora. Os autores argumentam que a melhora na resolução espaço-temporal é importante para uma descrição precisa das tempestades próximas à costa em especial quando há grandes variações em curto espaço de tempo. Os resultados do modelo WAM mostraram excelente concordância com diversas bóias localizadas em Portugal e Espanha, com viés inferior a 0,5 metros. Entretanto nas proximidades do Reino Unido as alturas tentem a sobrestimar as medições.

Gaslikova e Weisse (2006) também utilizaram os dados do HIPOCAS na análise de eventos extremos. Os autores encontraram sobrestimação das alturas de onda do HIPOCAS em tempestades severas, identificando ondulações com alturas mais elevadas e mais frequentes.

3. DESCRIÇÃO DOS DADOS

Para comparar as duas reconstituições foram selecionados os instantes coincidentes e a área comum em ambos os dados, o que corresponde ao período de 1997 a 2001, latitudes entre 20° e 68° Norte e longitudes entre 50° Oeste e 04° Leste. Os campos da NOAA/NCEP e HIPOCAS possuem resoluções de 1,00° X 1,25° e 1,00° X 1,00°, respectivamente. Foram utilizados somente os pontos coincidentes para a comparação, ou seja, 1,00° X 5,00° na grelha final para evitar erros associados a interpolações.

Mostram-se os resultados são mostrados como diferenças médias mensais. O inverno é definido como: dezembro, janeiro e fevereiro; primavera: março, abril e maio; verão: junho, julho e agosto; e o outono: setembro, outubro e novembro. São consideradas as médias mensais para todos os eventos e também para os extremos acima do limiar correspondente ao quantil de 99%. A avaliação envolve o parâmetro altura significativa de onda.

As figuras 1 e 2 apresentam os resultados. No canto superior esquerdo de cada figura está indicado o mês e no canto inferior direito a média dos desvios em todos os pontos em cada gráfico.

4 COMPARAÇÃO MENSAL PARA CONDIÇÕES GERAIS

A figura 1 mostra, de forma geral, grande concordância entre HIPOCAS e NOAA/NCEP, com diferenças menores que um metro. As maiores discordâncias estão ao redor do Reino Unido e áreas a nordeste. É possível notar que as diferenças apresentam um padrão longitudinal, ou seja, há uma tendência do HIPOCAS ter maiores ondas que a NOAA/NCEP no Atlântico Leste e a NOAA/NCEP ter maiores ondas que o HIPOCAS no Atlântico Oeste. Entre janeiro e março observa-se ainda uma área a sudoeste na figura, perto do Golfo do México, onde as alturas da NOAA/NCEP aparecem maiores (até 0,8 metros). É nítido que as diferenças aumentam no inverno, chegando a um metro de discordância a nordeste do Atlântico Norte.

5 COMPARAÇÃO MENSAL PARA SITUAÇÕES EXTREMAS

Para extremos das ondas acima do nível de 99% (figura 2) novamente o HIPOCAS apresenta valores maiores que a NOAA/NCEP, no entanto, muito mais pronunciado. As discrepâncias chegam a 5,5 metros em algumas áreas perto do Reino Unido, meio e norte do Atlântico Norte, nos meses de inverno. Para esta estação, praticamente toda a parte norte possui diferenças superiores a 2 metros, representando uma grande sobrestimação do HIPOCAS em relação à NOAA/NCEP.

São muito poucos os pontos em que as alturas da NOAA/NCEP são superiores ao HIPOCAS, sendo estas bem pequenas e localizadas na parte oeste e sudoeste da figura.

Principalmente nos meses de verão e entre maio e outubro a concordância entre as duas reconstituições é um pouco melhor, principalmente em baixas latitudes. Observa-se, portanto, que os períodos e regiões de grandes discrepâncias são aqueles onde as tempestades são mais severas.

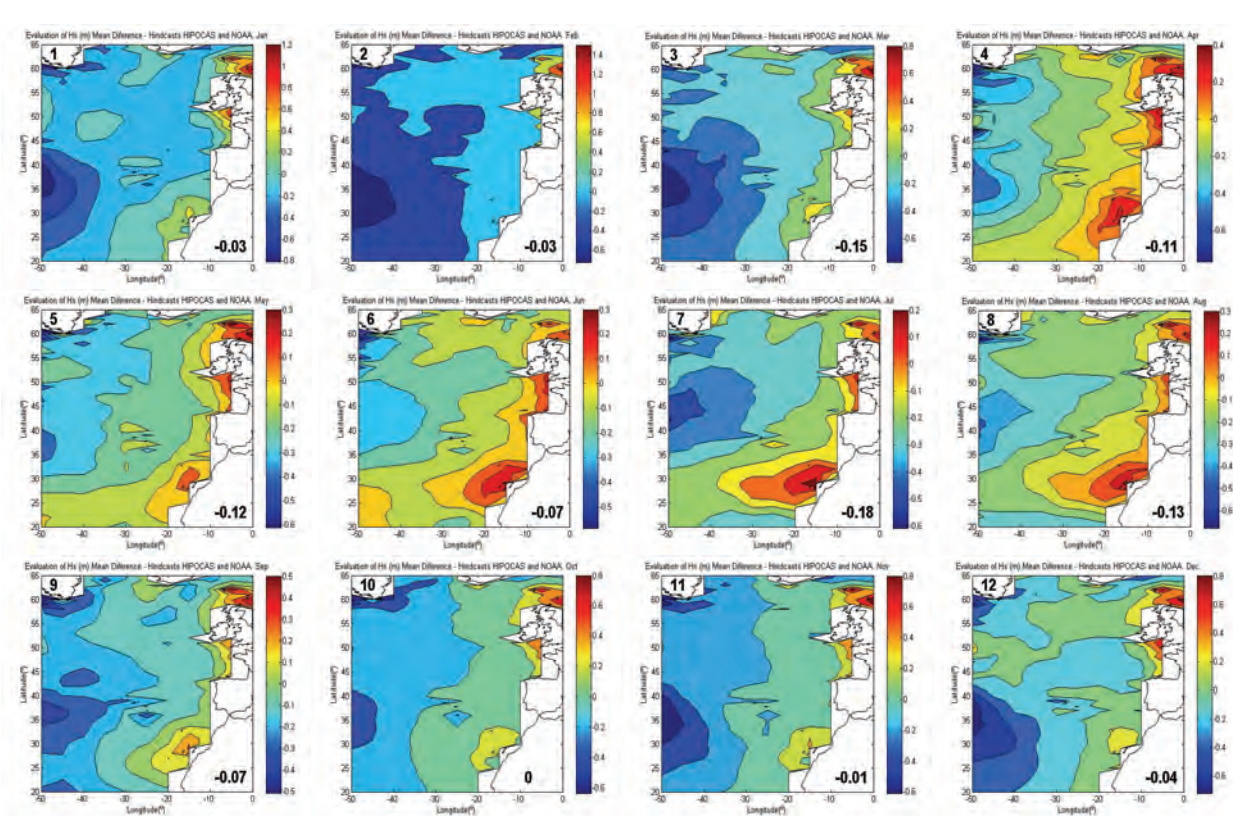


Figura 1 – Diferenças médias mensais (HIPOCAS – NOAA/NCEP). Janeiro (superior esquerdo) até dezembro (inferior direito).

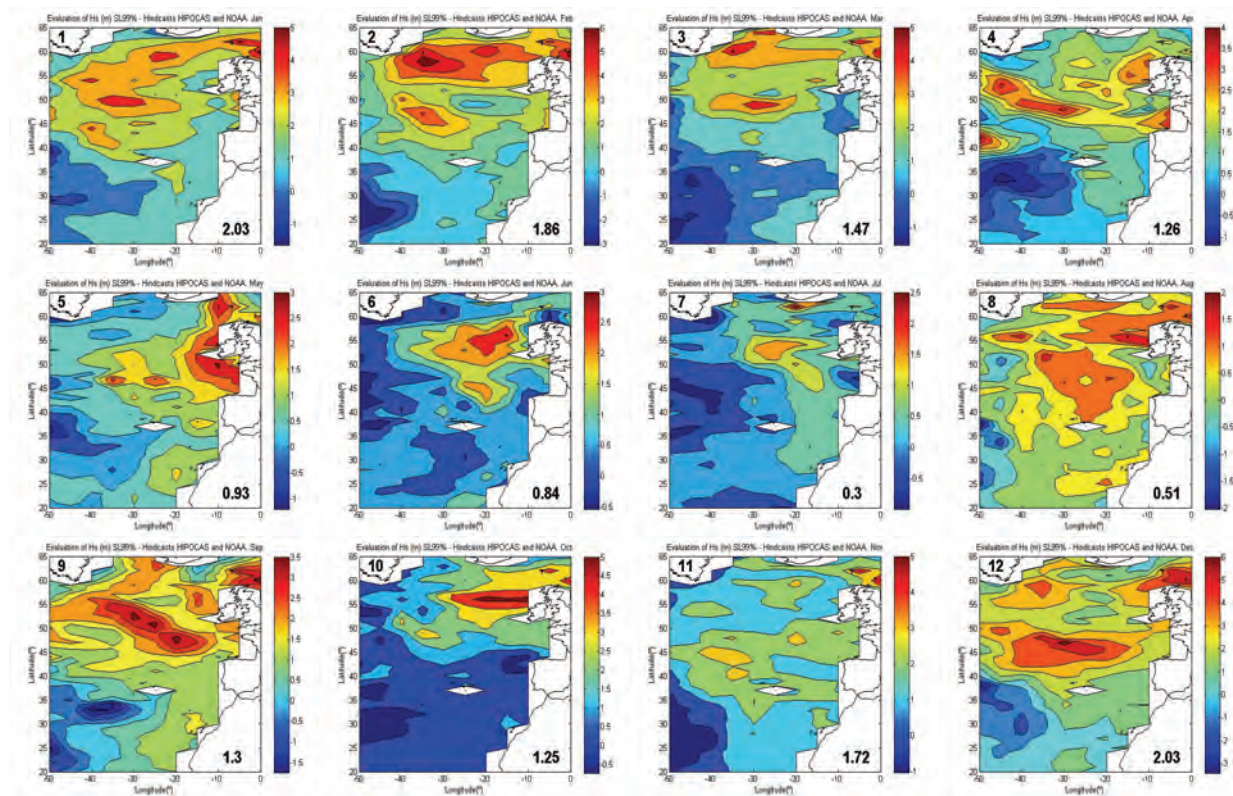


Figura 2 – Diferenças médias mensais dos valores superiores ao quantil 99% (HIPOCAS – NOAA/NCEP). Janeiro até dezembro.

6 CONCLUSÕES

Conclui-se, primeiramente, que a reconstituição do HIPOCAS possui maiores alturas significativas que a NOAA/NCEP. A região em que tal afirmação, em alguns meses, não é válida, consiste na porção oeste do oceano Atlântico Norte. Ou seja, observa-se a sobrestimação do HIPOCAS aumentando ao se aproximar da Europa e região leste do Atlântico Norte. A sobrestimação ocorre principalmente durante os eventos extremos. Percebe-se essa questão pelas elevadas alturas significativas do HIPOCAS nos meses de inverno em latitudes elevadas.

Um dos motivos para isso está no campo de vento de entrada. Ambos, HIPOCAS e NOAA/NCEP se baseiam na reanálise do NCEP/NCAR. Entretanto, no projeto envolvente o HIPOCAS, a reanálise do NCEP/NCAR alimentou um modelo atmosférico regional (REMO) de alta resolução espacial e temporal, onde seus resultados foram usados como vento de entrada do modelo de ondas. Ao adicionar efeitos de mesoescala, naturalmente os eventos extremos torna-se mais pronunciados, como descrito em Weisse *et al.* (2005) e Abdalla e Cavaleri (2002). Estes descrevem o efeito de adicionar rajadas de vento no aumento da energia de ondas simulada pelo modelo, destacando a melhora na simulação das ondas em tempestades.

Outro motivo encontra-se na própria física dos modelos WAM e o WAVEWATCH. Comparando as figuras 1 e 2 é possível concordar com os resultados de Ardhuin *et al.* (2007) que concluem que o modelo WAM, comparado com o WAVEWATCH, tende a transferir mais energia do vento em superfície para o espectro de ondas conforme a intensidade das tempestades aumentam.

Nota-se então que a reconstituição do HIPOCAS possui dois factores que levam a alturas significativas mais elevadas: 1) o vento regional acentua mais as tempestades, evidenciando os extremos e 2) o modelo WAM transfere mais energia do vento para as ondas. Em contraponto, Rocha *et al.* (2004) e Campos (2009) encontram subestimações na simulação do modelo WAVEWATCH utilizando o vento da reanálise do NCEP/NCAR. Conclui-se, portanto, que as diferenças entre os dados do HIPOCAS e NOAA/NCEP provém de tendências opostas, em termos de energia em tempestades, dos campos de vento e dos modelos numéricos utilizados.

Agradecimento

O presente trabalho foi feito no âmbito do projecto NEARPORT (Desenvolvimento de um sistema operacional de previsão em tempo real da agitação marítima para os portos portugueses) que é financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (PTDC/ECM/64373/2006) e que financiou o primeiro

autor.

REFERÊNCIAS

- Abdalla, S. e Cavaleri, L., 2002. Effect of wind variability and variable air density on wave modelling. *Journal of Geophysical Research*, v. 107, no. C7, 3080.
- Ardhuin, F., Bertotti, L., Bidlot, J., Cavaleri, L., Filipetto, V., Lefevre, J., Wittmann, P., 2007. Comparison of wind and wave measurements and models in the Western Med terranean Sea. *Ocean Eng.*, 34, 526-541.
- Campos, R. M., 2009. Análise dos extremos de onda no Rio de Janeiro associados a ciclones extratropicais no Atlântico Sul. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Feng, H., Vandemark, D., Quilfen, Y., Chapron, B., Beckley, B., 2006. Assessment of wind-forcing impact on a global wind-wave model using the TOPEX altimeter. *Ocean Eng.*, 33, 1431-1461.
- Gaslikova, L. e Weisse, R., 2006. Estimating nearshore wave statistics from regional hindcasts using downscaling techniques. *Ocean Dynamics*, 56, 26-35.
- Gómez Lahoz, M., Carretero Albiach, J.C., 1997. A two-way nesting procedure for the WAM model: application to the Spanish coast. *J. Offshore Mech. Arct. Eng.* 119, 20–24.
- Guedes Soares, C., 2008. Hindcast of Dynamic Processes of the Ocean and Coastal Areas of Europe, *Coast. Eng.*, 55(11):825-826.
- Pilar, P., Guedes Soares, C., Carretero, J. C., 2008. A 44-year high resolution wave hindcast in the North Atlantic. *Coast. Eng.* 55(11):861-871
- Rocha, R. P., Sugahara, S., Silveira, R. B., 2004. Sea Waves Generated by Extratropical Cyclones in the South Atlantic Ocean: Hindcast and Validation against Altimeter Data". *Weather and Forecasting*, v. 19, pp. 398-410.
- Teixeira, J.C., Abreu, M.P., Guedes Soares, C., 1995. Un certainty of ocean wave hindcasts due to wind modelling. *J. Offsh Mech. Arctic Eng.* 117, 294–297.
- Tolman, H. L., 2002, User manual and system documentation of WAVEWATCH III v.2.22. SAICGSO/EMC/MMAB/NCEP/NOAA, Contribution 222.
- WAMDI Group, 1988, The WAM Model – A third generation ocean wave prediction model. *J. Phys. Oceanogr.*, v. 18 n. 12., pp. 1775-1810.
- Weisse, R., Sortch, H. V., Feser, F., 2005. Northeast Atlantic and North Sea storminess as simulated by a regional climate model 1958-2001 and comparison with observations. *J Climate* 18, 465-479.

Calibração e Validação do Modelo Espectral de Previsão da Agitação Marítima SWAN em Zonas Costeiras

Autores: F. Sansana Silva (1), J. Pinto (1), B. Skahill (2), J. Jacob (3)

- (1) Instituto Hidrográfico (francisco.silva@hidrografico.pt)
- (2) US Army Corps of Engineers
- (3) Universidade do Algarve

Resumo: Com o intuito de melhorar a previsão das condições de agitação marítima, procedeu-se à calibração do modelo espectral de previsão da agitação marítima SWAN, para uma zona de transição entre águas profundas e zonas costeiras. De forma a otimizar este processo, recorreu-se à metodologia de calibração inversa, através da utilização do modelo MICUT.

Neste processo foram analisadas as formulações existentes no modelo SWAN, utilizadas para resolver os diferentes fenómenos físicos, que descrevem a propagação da agitação no oceano. Os resultados alcançados representam uma melhoria significativa no desempenho do modelo SWAN, tendo sido obtida uma redução expressiva do erro associado à previsão da altura significativa, bem como um novo conjunto de parâmetros para as diferentes formulações. No decorrer deste trabalho, é notório o recente desenvolvimento do modelo, através da introdução da formulação de Westhuysen, que descreve a geração de ondas por acção do vento e controla a dissipação de energia por rebentação parcial (*whitecapping*). Esta formulação apresenta um nível de exactidão bastante elevado, com um erro médio bastante inferior às restantes formulações, sendo esta diferença mais notória em situações em que as condições de agitação apresentem uma mistura entre vaga e ondulação, situação recorrente na costa Portuguesa.

Palavras chave: SWAN, Calibração Inversa, MICUT, Levenberg-Marquardt, Validação, Previsão da Agitação Marítima

1. INTRODUÇÃO

No passado, a caracterização das condições de agitação baseou-se na utilização de medições realizadas por estações ondógrafo, que apenas permitiam a análise pontual do estado do mar. Hoje em dia, o conhecimento das condições de agitação junto à costa reveste-se de extrema importância para o planeamento das actividades marítimas, quer ligadas à aproximação de navios a portos, movimentações de embarcações de pesca ou recreio, quer para as actividades económicas e de lazer que se desenvolvem no litoral. A necessidade de obter uma caracterização com uma maior cobertura geográfica e com a capacidade de prever o estado do mar nos locais de interesse, impulsionou o aperfeiçoamento dos modelos numéricos de previsão da agitação. Estes modelos, quando aliados a previsões dos campos de vento, permitem prever com algum rigor as condições de agitação para uma vasta área. De forma a obter uma maior fiabilidade dos resultados obtidos, tem sido realizado um esforço crescente, com vista ao melhoramento dos modelos numéricos de previsão da agitação marítima. O modelo SWAN (Simulating WAVes Nearshore, Booij *et al.* (1999)) é um modelo espectral de 3ª geração, que possui a capacidade de simular e descrever a propagação das ondas em

águas pouco profundas. Este modelo, de aplicação prática em zonas costeiras, estuários e lagos, considera todos os processos relevantes para realizar uma adequada descrição da agitação marítima nestes locais, tais como a refração devida à variação da profundidade e à variação das correntes, dissipação de energia por rebentação parcial, dissipação de energia por rebentação induzida pelo fundo e interacções não lineares entre ondas.

Apesar da ampla aplicação do SWAN a diferentes cenários de modelação, continua a existir uma fonte de erro associada às configurações próprias do modelo para determinadas escalas espaciais de aplicação. De forma a minimizar estes erros, que atingem valores significativos em áreas costeiras, pretende-se com este trabalho calibrar o modelo SWAN para as condições de agitação em zonas costeiras. Numa primeira fase serão realizados testes de calibração do modelo, ajustando os diferentes parâmetros físicos do modelo, de forma a minimizar estes erros. Numa fase posterior será validado o modelo, através da comparação entre os dados obtidos pelo modelo e os dados obtidos por medições *in situ*.

Este trabalho tem como objectivo calibrar o modelo espectral SWAN através da metodologia de calibração inversa, para as formulações que descrevem os processos de propagação da agitação

marítima de águas profundas para zonas costeiras. Pretende-se comprovar que esta metodologia, já aplicada a outro tipo de modelos, é passível de ser executada com o modelo SWAN, estando previsto a sua aplicação posterior a outro tipo de formulações e parametrizações.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo deste trabalho encontra-se localizada na zona Noroeste da Costa Portuguesa, sendo delimitada pelas latitudes 41°00'N e 42°15'N. O limite Oeste é aproximadamente definido pela fronteira da plataforma continental, estando fixado na longitude 9°24'W. Esta área apresenta um perfil batimétrico regular, com as batimétricas orientadas de uma forma geral em paralelo com a linha de costa e com um declive não muito acentuado. Esta zona possui uma plataforma continental estreita, com extensões entre 30 e 45 km, sendo a sua fronteira bem definida por uma vertente continental com um declive bastante pronunciado (Dias, 1987). A sua constituição de fundo é marcadamente dominada por sedimentos arenosos, sendo no entanto possível observar alguns afloramentos rochosos e algumas áreas dominadas por sedimentos mais finos (Dias *et al.*, 2002). A Figura 1 apresenta uma representação batimétrica da área de estudo, bem como a localização das bóias ondógrafo utilizadas neste estudo.

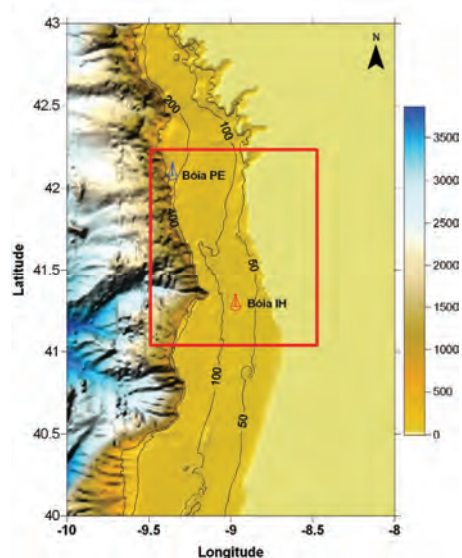


Fig. 1: Representação batimétrica da área de estudo, assinalada através do rectângulo a vermelho. Localização das bóias utilizadas neste trabalho: Bóia PE (Puertos del Estado) e Bóia IH (Instituto Hidrográfico).

3. METODOLOGIA

Os modelos computacionais que pretendem descrever um determinado fenómeno possuem, na

sua grande maioria, uma série de parâmetros que permitem a sua calibração, de forma a que se obtenham melhores resultados para determinadas condições ambientais. Estes parâmetros são normalmente definidos através da comparação com resultados experimentais, observações realizadas no campo, ou da comparação com resultados de outros modelos já previamente calibrados. No entanto, caso ocorram alterações significativas nas condições ambientais, os parâmetros previamente definidos poderão já não ser os mais indicados para a simulação em causa. Neste caso será necessário realizar uma nova calibração dos parâmetros, o que acarreta realizar um grande número de simulações e muito tempo de análise posterior. Com o intuito de simplificar este processo foram criadas algumas ferramentas que realizam este processo de forma automática, tentando minimizar uma função objectivo, de forma descrever o distanciamento entre os resultados do modelo e os dados experimentais, com os quais se realizam as comparações.

De uma forma geral, o processo de calibração “manual” (tentativa e erro) é exactamente igual ao processo de calibração inversa. Em ambos os casos, configurações, formulações ou valores paramétricos, são ajustados até conseguirmos obter uma diferença mínima entre os valores observados e os resultados do modelo. A grande diferença entre as duas abordagens, que normalmente é referida como a principal vantagem da modelação inversa, é o facto desta metodologia encontrar de forma automática os valores dos parâmetros que melhor descrevem os resultados esperados. Além disso as calibrações por tentativa e erro podem levantar mais alguns problemas, uma vez que não existem garantias que os parâmetros encontrados sejam os mais adequados para a experiência em causa, uma vez que poderá não existir uma análise rigorosa das correlações entre parâmetros, da sua variância e erros residuais, além de se tornar, em muitos casos, impeditiva em termos computacionais.

De forma a realizar a calibração do modelo espectral de previsão de agitação SWAN, foi utilizada uma metodologia de calibração inversa através do modelo MICUT (Model Independent Calibration and Uncertainty Analysis Toolbox), desenvolvido por Skahill *et al.* (2009) e que recorre ao algoritmo de Levenberg-Marquardt.

A metodologia implementada baseia-se na análise dos processos de transformação do campo de agitação entre um ponto em águas profundas, que nos servirá como condição de fronteira do modelo e a comparação dos resultados do modelo com dados observacionais obtidos numa localização em águas costeiras. Como condição de fronteira, foram utilizados os dados obtidos através da bóia ondógrafo de Cabo Silleiro (Bóia PE - Figura 1). Esta estação ondógrafo, localiza-se na posição 42°7.2'N / 9°24.0'W (WGS84), a uma profundidade

de aproximadamente 320 metros. Para realizar a comparação com os resultados do modelo, foram utilizados as observações da bóia ondógrafo de Leixões, mantida pelo Instituto Hidrográfico (Bóia IH – Figura 1). Esta estação ondógrafo Datawell de águas pouco profundas, encontra-se localizada na posição 41°19.0' N / 8°59.0' W (WGS84), a uma profundidade de aproximadamente 80 metros.

De forma a calibrar o modelo SWAN para zonas de transição entre águas profundas e zonas de águas costeiras e comprovar a viabilidade da utilização da metodologia de calibração inversa para este efeito, foram definidos um conjunto de parâmetros que possuem maior relevo na evolução dos resultados para este tipo de condições. Optou-se por analisar a variação dos resultados, em virtude da alteração das formulações e respectivos parâmetros de quatro mecanismos físicos distintos: a geração de ondas por acção do vento; o *whitecapping*, o atrito de fundo e as interações não lineares entre grupos de quatro ondas (*quadruplets*). Na Tabela I são apresentadas as diferentes configurações utilizadas em cada um dos testes realizados.

Teste	Geração			Atrito de Fundo		
	Komen	Janssen	Westh.	Madsen	Collins	JSWP
A	•			•		
B	•				•	
C	•					•
D		•		•		
E		•			•	
F		•				•
G			•	•		
H			•		•	
I			•			•

Tabela I – Resumo das configurações utilizadas em cada um dos testes de calibração.

Para a geração de ondas por acção do vento foram utilizadas as formulações disponíveis no modelo: Komen *et al.* (1984), Janssen (1991) e Westhuysen *et al.* (2007). O *whitecapping* está directamente relacionado com a formulação utilizada para descrever a geração de ondas por acção do vento,

possuindo por isso uma formulação específica para cada uma das formulações acima apresentadas.

Para descrever o atrito de fundo foram utilizadas três formulações: JONSWAP (Hasselmann *et al.*, 1973), Collins (1972) e Madsen *et al.* (1988). Para os quadruplets apenas foi utilizada a formulação DIA (Discrete Interaction Approximation), uma vez que as restantes formulações ainda se encontram em fase de desenvolvimento. Cada uma destas configurações anteriormente apresentada, foi sujeita a um processo de calibração por metodologia inversa, aplicada através do modelo MICUT. Assim sendo foram seleccionados para cada configuração os parâmetros que poderiam ser calibrados e atribuídos os valores pré-definidos, sugeridos no manual do SWAN. Posteriormente foi criado um intervalo de variação para cada um dos parâmetros, impondo assim uma limitação à variação dos parâmetros imposta pelo modelo MICUT.

4. RESULTADOS

Na Tabela II é apresentada a análise estatística dos resultados obtidos para os testes de calibração.

Para a formulação de Komen (testes A, B e C), a melhoria nos resultados obtidos para a altura significativa, medida na bóia de Leixões é bastante significativa. Foi obtida uma diminuição no RMSE bastante expressiva. Após a calibração com a formulação de Janssen (testes D, E e F) não se obtiveram melhorias significativas nos resultados. Para a formulação de Westhuysen (testes G, H e I) a melhoria também não é significativa, mas neste caso os parâmetros que a formulação possui por defeito, já apresentam resultados bastante satisfatórios, quando comparados com as restantes formulações.

Nas Figuras 2 são apresentadas as comparações entre os resultados e os dados medidos na bóia ondógrafo de Leixões, para as configurações referentes às formulações de Komen (teste A), com os parâmetros obtidos após a calibração e com os parâmetros que o SWAN utiliza por defeito.

		A	B	C	D	E	F	G	H	I
RMSE (m)	calibrado	0.36	0.36	0.37	0.57	0.6	0.6	0.35	0.35	0.35
	inicial	0.8	0.8	0.82	0.62	0.64	0.63	0.37	0.37	0.36
R	calibrado	0.98	0.98	0.98	0.96	0.96	0.96	0.98	0.98	0.98
	inicial	0.98	0.98	0.98	0.96	0.96	0.96	0.98	0.98	0.98
SI (%)	calibrado	12.5	12.5	12.6	19.9	20.7	20.7	12.3	12.3	12.2
	inicial	27.8	27.7	28.3	21.6	22.1	21.7	12.7	12.7	12.6
bias (m)	calibrado	0.09	0.12	0.14	0.35	0.39	0.39	0.05	0.09	0.07
	inicial	0.73	0.73	0.74	0.4	0.43	0.41	0.11	0.13	0.12

Tabela II – Análise estatística dos resultados para as diferentes configurações testadas. RMSE – Root Mean Square Error; R – Coeficiente de Correlação; SI – Scatter Index.

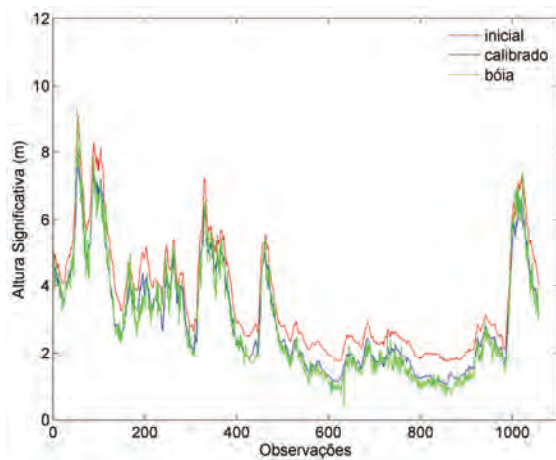


Fig. 2: Comparação das observações com os resultados da altura significativa, previamente e posteriormente à calibração, para a configuração Komen - Madsen.

5. CONCLUSÕES

Com este trabalho comprova-se a exequibilidade da calibração de um modelo espectral de previsão da agitação, através da metodologia de calibração inversa. Apesar dos resultados apresentados para a formulação de Janssen não demonstrarem uma melhoria expressiva, a formulação de Komen foi visivelmente melhorada através da calibração. A redução do scatter index e do RMSE para valores similares aos apresentados por outros autores, e aos obtidos através da formulação de Westhuysen, comprovam este facto. Comprovou-se também, através dos resultados obtidos, a dependência directa desta formulação (Komen) na entrada de *swell* no sistema, e as suas implicações na avaliação correcta do crescimento das ondas provocado pelo vento e respectiva dissipação de energia por *whitecapping*. Após a calibração, foi encontrado um novo conjunto de parâmetros, que melhor representam as condições de agitação esperadas.

Um dos factores mais importantes na escolha deste tipo de metodologias de calibração, é a necessidade de se efectuar um trabalho de pós-processamento menos complexo. Devido à aplicação deste processo, o tempo envolvido na análise dos resultados é reduzido drasticamente, tornando-se assim possível despendir mais tempo no esforço computacional, ou realizar um maior número de testes. Este trabalho vem comprovar, a possibilidade de utilização desta técnica na calibração do modelo SWAN, abrindo assim caminho a calibrações posteriores, de outro tipo de formulações, ou analisando diferentes fenómenos não abrangidos por este estudo.

A formulação de Westhuysen apresenta resultados bastante satisfatórios, sendo neste momento a melhor opção, para a previsão da agitação através do modelo SWAN. Com esta formulação elimina-se a dependência da declividade espectral, na avaliação da dissipação de energia por rebentação parcial

(*whitecapping*), o que permite a análise de sistemas de agitação complexos, com a presença de ondas de geração local e *swell*. Este trabalho vem desta forma, validar esta formulação para as condições de agitação presentes na Costa Oeste da Península Ibérica, apresentando assim uma melhoria significativa nos resultados, em detrimento da utilização da formulação de Komen, ou Janssen.

REFERÊNCIAS

- Booij, N., R. C. Ris and L. H. Holthuisen (1999). A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation. *Journal of Geophysical Research*, 104, 7649-7666.
- Collins, J. (1972). Prediction of shallow water spectra, *Journal of Geophysical Research*, 77, 15, 2693-2707.
- Dias, J. (1987). *Dinâmica Sedimentar e Evolução Recente da Plataforma Continental Portuguesa Setentrional*. Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Dias, J., Jouanneau, J., Araújo, M., Drago, T., Garcia, C., Gonzalez, R., Oliveira, A., Rodrigues, A., Vitorino, J., Weber, O. (2002). Present day sedimentary processes on the northern Iberian shelf. *Progress in Oceanography*, 52(2-4), 249-259.
- Hasselmann, K., Barnett, T., Bouws, E., Carlson, H., Cartwright, D., Enke, K., Ewing, J., Gienapp, H., Hasselmann, D., Kruseman, P., Meerburg, A., Müller, P., Olbers, D., Richter, K., Sell, W., H., Walden (1973). Measurements of wind wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP), *Deutsche Hydrographic Zeitschrift*. Suplemento 12, A8.
- Janssen, P (1991). Quasi-linear theory of wind-wave generation applied to wave forecasting, *Journal of Physical Oceanography*. 21, 1631-1642.
- Komen, G., Hasselmann, S., Hasselmann, K. (1984). On the existence of a fully developed wind-sea spectrum, *Journal of Physical Oceanography*. 14, 1271-1285.
- Madsen, O., Poon, Y., Graber, H. (1988). Spectral wave attenuation by bottom friction: Theory, *Proc. 21th Int. Conf. Coastal Engineering*, ASCE, 492-504.
- Westhuysen, A., Zijlema, M., Battjes, J. (2006). Nonlinear saturation-based whitecapping dissipation in SWAN for deep and shallow water. *Coastal Engineering*, 54, 151-171.

Correlating Wave Hindcast and Buoy data with Artificial Neural Networks

Almeida, L.P. (1), Vousedoukas, M.V. (1), Ferreira, P.M. (2,3), Ruano, A.E. (3), Dodet, G. (4), Loureiro, C. (1), Ferreira, Ó. (1), Taborda, R. (4).

- (1) University of Algarve, CIMA – Centre of Marine and Environmental Research
 (2) Algarve STP – Algarve Science & Technology Park, Faro, Portugal
 (3) University of Algarve, CSI – Centre for Intelligent Systems
 (4) University of Lisbon – Faculty of Sciences

ABSTRACT:

This work presents results from the use of Artificial Neural Networks (ANN) to improve wave models hindcasting capacity off the South coast of Portugal. Comparison of the original model results with field measurements showed significant non linear deviations. To compensate for such deviations, a three-layer Multilayer Perceptron (MLP – a type of an ANN) was trained, using the Levenberg-Marquardt method, to improve the fit between the hindcast (generated by WW3) and Faro buoy data in an effort to reconstruct missing data from the wave buoy time series. The results obtained so far are very positive; with the training with annual datasets showing better results than the training with the entire dataset, while both improved significantly the fitting of the raw model results. Further improvements are expected by trying different ANN types, by searching for optimised ANN input-output structure, and by performing sub-set selection on the data sets.

KEYWORDS: Artificial Neural Networks, Hindcast wave model, wave data.

1. INTRODUCTION

In-situ deployed instruments, such as buoys, are invaluable sources for continuous long-term oceanographic data acquisition, which is fundamental for a variety of research and operational applications. Given the rough and unfavourable conditions in the ocean, data gaps are a common consequence of instrument loss, malfunctioning, or delayed maintenance and data collection, being a major problem for data analysis. As an example Figure 1 characterize the data gaps (more than 3h without data) present on a wave time series obtained from the Faro Directional Wave Buoy (Portuguese Hydrographical Institute - IH), between 2000 and 2006.

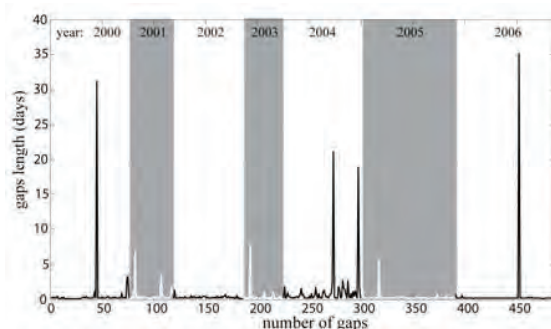


Figure 1. Number and length of gaps present in a wave time series obtained from Faro Wave buoy (IH).

Periods without data can last from three hours to several days or weeks and simple interpolation methods are usually not an acceptable approach. One solution for these cases is to fill the gaps with results obtained by a wave generation model, e.g.

WAVEWATCH III™ (Tolman, 2009). However wave models are highly-dependent on the quality and resolution of the wind forcing (Cavaleri and Bertotti, 2006; Ponde de Léon and Guedes Soares, 2008) and model results often show significant deviations from the real data at sheltered locations where local winds play an important role on the wave climate (Figure 2).

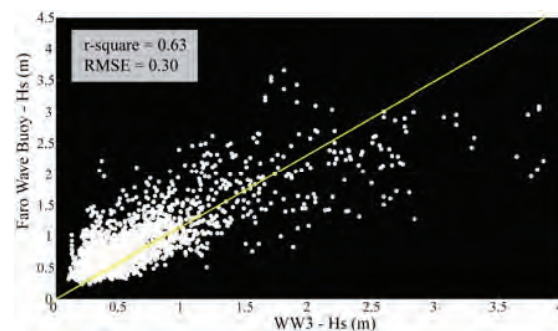


Figure 2. Linear correlation between Hs Faro buoy and WW3, for the year 2004.

One way to solve this non linear problem is through the use of artificial neural networks (ANN), since these are a modelling tool that can be used to model complex relationships between inputs and outputs. There are already in the bibliography some examples of the applications of ANN's in ocean engineering like to reconstruct wave time series using information from neighbourhoods buoys (Deo and Kumar, 2000; Puca *et al.*, 2001; Londhe and Panchang, 2007; Medina and Serrano-Hidalgo, 2004) or for wave forecasting (Tsai *et al.*, 2002; Makarynskyy, 2004; Makarynskyy *et al.*, 2005;) using historical data from buoy for training.

The aim of this work is to train a three-layer Multilayer Perceptron (MLP – type of an ANN) to improve the fit between the hindcast (generated by WW3) and Faro buoy data in order to reconstruct missing data from the wave buoy time series.

2. METHODS

2.1 ANN Description

A neuron is defined as an information-processing unit that is fundamental to the operation of a neural network. Figure 3 shows a simple one-neuron model to illustrate the neural networks structure.

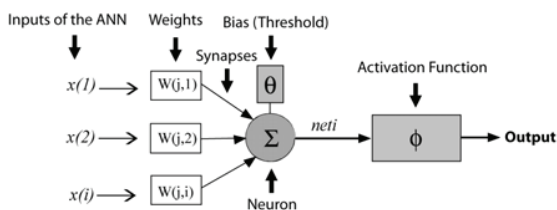


Figure 3. Model of a typical neuron.

The neuron includes a set of *synapses* or *connecting links*, each link connecting the respective input to the summation block. Associated with each synapse, there is a *strength* or *weight*, which multiplies the associated input signal. The input signals are integrated in the neuron. Usually an *adder* is employed for computing a weighted summation of the input signals. The resulting sum is adjusted by a bias to become the net input of the activation function, which limits the output of a neuron to some finite value (Bose and Liang, 1996). The mathematical expression for a neuron (j) can be written as:

$$net_j = \sum_{i=1}^n (w_{ji} x_i) + \theta_j \quad (1)$$

$$y_i = \phi(net_j) \quad (2)$$

Where net_j is the input of the neuron j , x_i the i th input of the neuron, w_{ji} the weight for the input i and neuron j , θ_j the bias, ϕ the activation function, and y_i the output of the neuron j . The activation function is used to transform the activation level of a unit (neuron) into an output signal. The ANN process consists of two stages: learning and recalling. In the learning stage, the algorithm continuously adjusts the weights of the neurons. Once proper weights are found, they are fixed in the recalling stage that the model can be further tested with other samples.

Training can be considered as a general function optimization problem, with the adjustable parameters being the weights and the biases of the network, and one of the most accepted methods to solve this problem is the Levenberg-Marquardt. A

review on the Levenberg-Marquardt method can be found in Suratgar *et al.* (2005). The general scope of the learning optimization is to reduce the error between the desired output (target) and the actual output. The error E , is defined as the sum-squared differences between the values of the outputs of the network and the desired target values:

$$E = \frac{1}{2} \sum_j (d_j - y_j)^2 \quad (3)$$

Where d_j and y_j are the desired and actual output values of the output neuron j .

2.2 Multilayer Perceptron

One of the most common methods used in ANN is the Multilayer Perceptron (MLP). With MLP is possible to have more than one layer of neurons inside the network, known as hidden layers, which can improve the network computation (Figure 4). With this network structure the outputs of each neuron represent the inputs of the next above neuron.

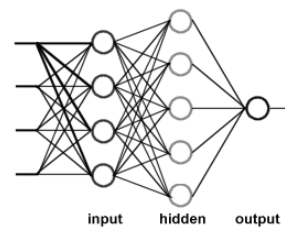


Figure 4. Model of a Multilayer Perceptron with 1 hidden layer.

2.3 Wave data acquisition

The significant wave height (H_s) from two distinct sources was considered for the present analysis: (i) wave measurements obtained from a directional wave buoy (Figure 5) operated by the Portuguese Hydrographical Institute and located off S^{ta}. Maria Cape (Faro) - the data set extends from 2000 to 2006, presents gaps (Figure 1) and a frequency acquisition of 3 hours; (ii) continuous modeled wave data at the nearest location to the wave buoy (Figure 5) with a time-step of 3 hours; these outputs are derived from a one-way nesting application of the WaveWatch III (WW3) regional model described in Dodet *et al.* (2010).

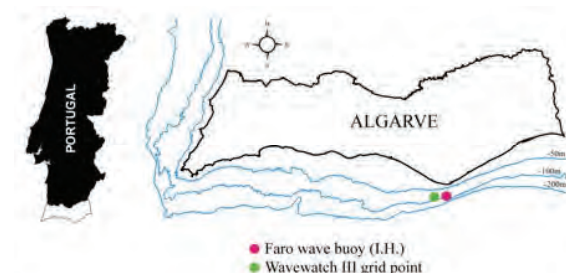


Figure 5. Location of the wave data sources.

2.4 Network inputs and targets

For this work only the parameter H_s was tested as target. Nevertheless, the same structure of implementation can be applied for other wave variables (e.g. wave period and direction). Two types of tests were performed for the present work: 1) using the entire dataset (covering the whole 6 year span) testing two different topologies (*test 1* and *2*); 2) training each year of data separately, testing in all the cases the same topology (*test 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9*); The architecture of each test is present in Table I. For each network 70% of the data was used for training and 30% for validation.

Table I. ANN architectures for each test.

Test	Topology (input-hidden-output)	Record number	year
1	[9 30 1]	18382	2000-2006
2	[9 50 1]		
3	[9 30 1]	2521	2000
4		2786	2001
5		2833	2002
6		2817	2003
7		2283	2004
8		2771	2005
9		2371	2006

Each of the tests presented was implemented using the same input structure:

$$[H_s(t-2\Delta t) \ T(t-2\Delta t) \ Dir(t-2\Delta t) \ H_s(t-\Delta t) \ T(t-\Delta t) \ Dir(t-\Delta t) \ H_s(t) \ T(t) \ Dir(t)]$$

Where H_s is the significant wave height, T the wave period, Dir is the wave direction, t is the time instant with $\Delta t = 3$ hours. For the targets the structure present in every simulation was $[H_s(t)]$.

3. RESULTS

The performance of the training tests was evaluated by comparing the coefficient of determination (r^2) and the root mean squared error (RMSE) between the target (IH) and the output data (trained WW3) against the r^2 and RMSE between the same target (IH) and the non trained WW3 data (Figure 6).

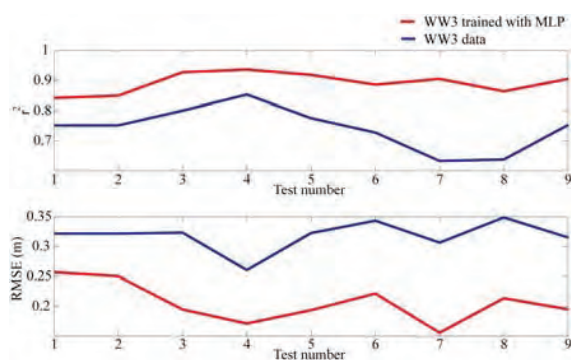


Figure 6. Performance of the training tests and non trained WW3 data against the IH buoy data.

Comparisons show that modelled data trained with ANN's has improved significantly the correlation between the wave buoy and WW3 data (presenting r^2 always above 0.8) and reduced the RMSE (with values always below 0.25 m).

The implementation of ANN's using annual data instead of the complete series (*tests 3 to 9*) further improved the fitting (Figure 7).

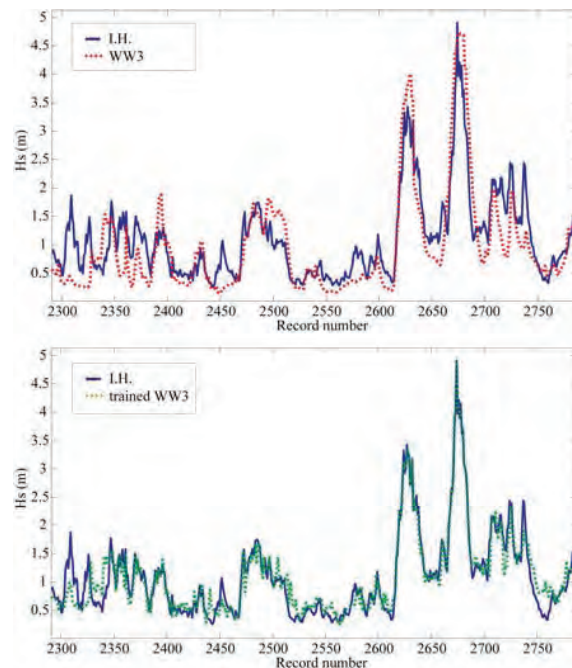


Figure 7. Example of the results obtained for *test 4*.

4. FINAL CONSIDERATIONS

The present contribution presents promising preliminary results from the use of ANN's to improve wave hindcast model results. Comparisons between non-trained and trained outputs show a significant improve on data quality when compared with buoy observations. The training with annual datasets show better results than the training with the entire dataset, while both improved significantly the fitting of the raw model results. The work is currently on progress and further improvements are expected to find the best architecture of ANN and dataset structure.

ACKNOWLEDGMENTS

This research project received funding from the European Community's Seventh Framework Programme under grant agreement No. 202798 (MICORE Project). Particular thanks are given to the Instituto Hidrográfico, who supplied wave data.

REFERENCES

Bose, N. K., Liang, P., 1998. Neural Network Fundamentals with Graphs, Algorithms and

- Applications. Tate McGraw-Hill, New Delhi, 478 pp.
- Cavaleri, L. and Bertotti, L., 2006. The improvement of modelled wind and wave fields with increasing resolution, *Ocean Engineering*, 33 (5-6), p 553-565.
- Deo M.C., Kumar, N. K., 2000. Interpolation of wave heights. *Ocean Engineering*, 27, 907-919.
- Dodet, G. Bertin, X., Taborda, R., 2010. Wave climate variability in the North-East Atlantic Ocean over the last six decades *Ocean Modelling* 31, 3-4, p. 120-131.
- Londhe, S.N., Panchang, V., 2007. Correlation of wave from buoy networks. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 74, 481-492.
- Makarynskyy, O., 2004. Improving wave predictions with artificial neural networks. *Ocean Engineering* 31, 709-724.
- Makarynskyy O., Pires-Silva, A.A., Makarynska, D., Ventura-Soares, C., 2005. Artificial neural networks in wave predictions at the west coast of Portugal, 31, 415-424.
- Medina, J., Serrano-Hidalgo, O., 2004. Interpolation of time series of sea state variables using neural networks, Doi: 10.1142/9789812701916_0078.
- Ponce de León, S. and Guedes Soares, C., 2008. Sensitivity of wave model predictions to wind fields in the Western Mediterranean sea, *Coastal Engineering*, 55 (11), p 920 – 929.
- Puca, S., Tirozzi, B., Arena, G., Corsini, S. and Inghilesi, R., 2001. A Neural Network Approach to the Problem of Recovering Lost Data in a Network of Marine Buoys, Conference of ISOPE, Norway, pp. 615-620.
- Suratgar, A.A., Tavakoli, M. B., Hoseinabadi, A., 2005. Modified Levenberg-Marquardt Method for Neural Networks Training. World Academy of Science, Engineering and Technology.
- Tolman, H. L., 2009: User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 3.14. NOAA / NWS / NCEP / MMAB Technical Note 276, 194 pp.+ Appendices.
- Tsai, C., Chang, L., Shen, J., 2002. Neural network for wave forecasting among multi-stations, 29,1683-1695.

Use of Spectral Remote Wave Data for Wave Energy Resource Characterization

M. T. Pontes (1), E. Azevedo (2), M. Bruck (3), S. Lehener(3)

(1) IDMEC- IST,Pav. Turbomáquinas, Av. Rovisco Pais 1000-049 Lisboa, Portugal, teresa.pontes@ineti.pt

(2) Centro do Clima, Meteorologia e Mudanças Globais, Universidade dos Açores, Polo Universitário de Angra do Heroísmo, 9751-018 Angra do Heroísmo, Portugal

(3) DLR Oberpfaffenhofen Münchner Strasse 20 82234 Germany

Abstract: From ocean surface images obtained by Synthetic Aperture Radars (SARs) 2D wave spectra are obtained. In this paper wave spectral data obtained by the TerraSAR-X SAR are presented and compared to in situ Waverider data and results of the MAR3G wind-wave model for the Azores central group (Faial, Pico and São Jorge Islands). The TSX Spotlight mode data are used to illustrate the high spatial variability of sea conditions in channels between the Pico and São Jorge islands.

Key words: waves, energy, resource, satellite, altimeter, SAR.

1. INTRODUCTION

Investigation of the usefulness of satellite-based wave measurements for wave energy resource assessment has been pursued for several years. Altimeters on board of satellites Topex/Poseidon (1991-2002) followed by Jason (2002-) provide quite accurate significant wave height H_s data. Accurate mean period values can be obtained from simple analytical models (e.g. Pontes et al., 2009). However, in addition to H_s and period parameters, wave spectral information is required for the detailed development of wave energy converters. Remote sensed measurements by SAR (Synthetic Aperture Radar) systems on board of satellites and wind-wave models provide 2D wave spectra. The wave spectra obtained from SAR measurements (level 2 product) of the ESA ENVISAT satellite have been compared to buoy data (Pontes et al., 2009). It was found that the accuracy of various wave climate parameters and power in the tropical area is good, and a preliminary verification of spectral shape was carried out for a small number of cases.

The new German X-band SAR onboard the satellite TerraSAR-X (TSX) was launched on June 15, 2007. Since then it has provided operationally a significant amount of high quality data over land and ocean.

In this paper we start by presenting the various types of wave information used herein and the respective sources. After, a verification of TSX SAR data against buoy data and results of the Mar3G wind-wave model in the Azores archipelago is presented, which showed a good accuracy of the TSX SAR data. This is followed by an example of the strong spatial variability of sea states in the channel between the islands of São Jorge and Pico, off the

Pico OWC wave energy power plant. Finally, conclusions and plans for further work are presented.

2. DATA

The wave data used in this paper have been obtained from various sources. Directional Datawell Waverider spectra in the Portuguese Azores archipelago, namely at the channel between Faial and Pico islands were provided by CLIMAAT Project. This buoy is located at 38° 25.26'N, 28° 32.6'W. The buoy spectral wave information is composed by 1D frequency spectra $E(f)$, mean direction $\bar{\theta}(f)$ and standard deviation $\sigma(f)$ per frequency band in the frequency range $0.025 < f < 0.58$ Hz.

Wave analysis spectral parameters produced by the MAR3G 3rd generation wind-wave model (Oliveira-Pires, 1993, further updated) were also used. In the coastal area this wind-wave model takes into account shelter by neighboring islands and/or the coast itself, in addition to wave shoaling, refraction and breaking. This model is running operationally at the Portuguese Instituto de Meteorologia (Portuguese Met Office). The good accuracy of Mar3G H_s results for the same location off the Pico Wave Energy Plant described in Falcão (2000) had been verified against buoy data. Scatter index (ratio of Root-mean-square error S_i and mean observed value) for January, February, March and April 1989 were 22, 18, 21 and 29%, respectively (see Oliveira – Pires et al., 1997).

Remote sensed data have been obtained from SAR on board of the TSX satellite. It provided image spectra from which significant wave height H_s was

derived in coastal areas through the XWAVE empirical algorithm (Li, 2009). This model is expressed by the following equation

$$H_s = a * 4.0 \sqrt{E(1.0 + \text{abs}(\cos \alpha))} + b \quad (1)$$

where E is the total energy calculated from the TSX SAR image wave number (\bar{k}) spectrum $F(\bar{k})$ via

$E = \int F(\bar{k}) d\bar{k}$. α is the angle between peak wave direction and SAR azimuth direction, which is determined from the image spectra. The two coefficients a and b were tuned by a linear fitting between E and the collocated significant wave height H_s computed by the Deutcher Wetterdienst (DWD) wind-wave model. The wind-wave model run at DWD is the WAM model cycle 4 (Komen et al., 1994).

Three TSX SAR images were taken on 11 February 2010, 25 March 2010 and 27 March 2010. The images taken on 11 February and on 27 March are of Spotlight mode. These cover a 10 x 10 km area with circa 1.8 m resolution. The TSX image acquired on the 25 March is of the ScanSAR mode with an area of 100 x 100 km and resolution circa 18 m, which is approximately 10 times smaller than the one of the Spotlight mode.

The TSX data products used are the Multi-Look Ground Range Detected (MGD), which is the standard product. When retrieving an image spectrum from a MGD product, a peak ambiguity of 180° exists as can be observed on Figure 5. This means that the peak wave direction estimation presents two values differing 180°. However in this case the direction ambiguity is easily solved since waves can come only from the sea.

3. TSX SAR DATA VERIFICATION

TSX SAR data measured over the central group of Azores archipelago is compared below against (i) directional Waverider data measured at the Faial-Pico channel and (ii) wind-wave Mar3G model analysis off the Pico Plant.

The comparison focused spectral parameters namely significant wave height $H_s = H_{m0} = 4\sqrt{m_0}$, energy

(mean) period $T_{-10} = \frac{m_{-1}}{m_0}$, with $m_n = \int f^n E(f) df$

being the n -th order spectral moment. Peak period is defined as $T_p = 1/f_p$ where f_p is the frequency corresponding to the maximum spectral energy density. In deep water, the flux of energy per unit wave front (wave power) can be computed by $P = 0.4906 H_{m0}^2 T_{-10}$. Wave power is given here in kW/m if H_{m0} is expressed in meter and T_{-10} in second. For the buoy data a comparison of 1D frequency spectrum is also included as an example.

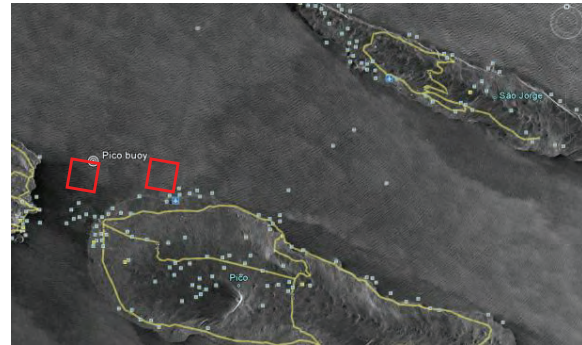


Fig. 1. Zoom of the TSX ScansAR image overlaid on Google Earth map. Spotlight mode TSX data are framed by red boxes. Left: over directional Waverider deployed at the Faial – Pico channel, and right: off the Pico Plant.

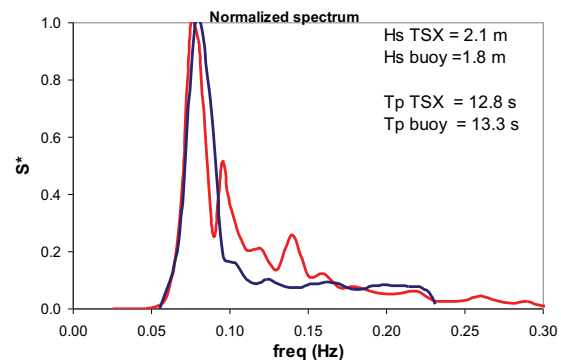


Fig. 2. Comparison of TSX 1D frequency normalized spectrum off Pico Plant (blue) and Faial-Pico buoy (red) on average wave conditions.

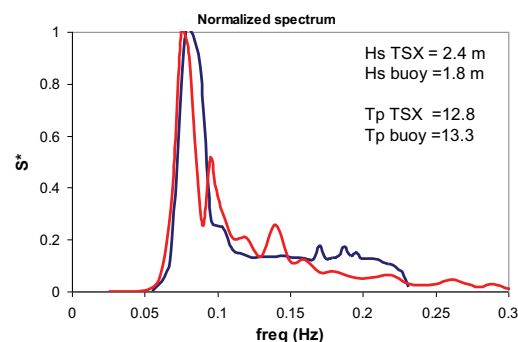


Fig. 3. Same as Fig.2, over the Faial-Pico buoy (blue)

As an example, Figures 2 and 3 show a fair agreement between the spectral shape for long (swell) waves ($f < 0.09$ Hz, $T > 11$ s). For shorter (higher frequency) wave components the fitting of SAR spectral shape is not as good as it is still usual for SAR data. The difference between the two measurements in Figure 2 is 0.3m (16.7.3%) for H_{m0} and 0.5s (3.8%) for T_p ; in Figure 3 the error for peak period is the same but it is larger (33.3%) for H_s .

Table I shows the comparison between TSX SAR data and Directional Waverider data in the Faial-Pico channel, and between TSX SAR data and Mar3G analysis off the Pico Wave Power Plant.

H_s (m)									
At Buoy on Faial-Pico Channel							Off Pico Plant		
Date	Time	H_s	Time1	H_s	Time 2	H_s	Time	H_s	H_s
	TSX (h:min)	TSX	Buoy (h)	Buoy	Buoy (h)	buoy	Mar3G (h)	Mar3G	TSX
2010.02.11	19:41	-	18	2.1	21	2.2	18	2.5	2.4
2010.03.25	08:04	5.0	6	4.6	-	-	6	4.1	4.9
2010.03.27	19:41	2.1	18	1.8	21	1.6	18	2.4	2.4

T_e (s)									
At Buoy on Faial-Pico Channel							Off Pico Plant		
Date	Time	T_e	Time1	T_e	Time 2	T_e	Time	T_e	T_e
	TSX (h:min)	TSX	Buoy (h)	Buoy	Buoy (h)	Buoy	Mar3G (h)	Mar3G	TSX
2010.02.11	19:41	-	18	7.7	21	8.1	18	7.9	8.5
2010.03.25	08:04	9.1	6	10.5	-	-	6	10.1	9.4
2010.03.27	19:41	9.3	18	9.6	21	9.4	18	10.1	9.9

P (kW/m)									
At Buoy on Faial-Pico Channel							Off Pico Plant		
Date	Time	P	Time1	P	Time 2	P	Time	P	P
	TSX (h:min)	TSX	Buoy (h)	Buoy	Buoy (h)	Buoy	Mar3G (h)	Mar3G	TSX
2010.02.11	19:41	-	18	16.7	21	19.2	18	24.2	24.0
2010.03.25	08:04	111.6	6	109.0	-	-	6	83.3	110.7
2010.03.27	19:41	20.1	18	15.3	21	11.8	18	28.5	28.0

Table 1 – Comparison of TSX SAR H_s , T_e and P against (left) Faial-Pico buoy data and (right) MAR3G analysis off Pico Wave Power Plant.

4. SPATIAL VARIABILITY OF WAVE CONDITIONS

To evaluate the spatial variability of wave conditions a set of seven partially overlapping Spotlight images were taken off the northern coast of Pico island (Pico - São Jorge channel), as shown in Figure 4.

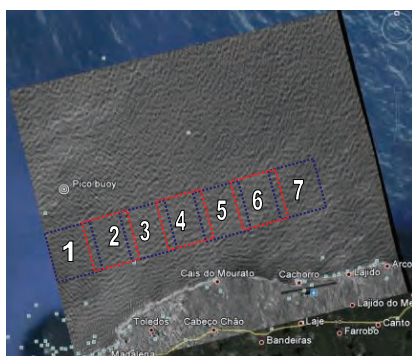


Fig. 4: TSX SAR Spotlights off the northern coast of Pico

In Figure 5 the 2D spectra (with 180° direction ambiguity) corresponding to the Spotlights 1, 3, 5 and 7 shown in Figure 3 highlight a significant variation of sea conditions over quite small spatial distances in the São Jorge – Pico channel.

5. CONCLUSIONS AND FURTHER WORK

The verification of TSX SAR wave data (including spectral parameters and 2D image spectra from which 1D spectra were obtained) against Waverider data and wind-wave Mar3G model analysis shows the fair accuracy (especially for low frequency components) of such TSX SAR data especially for low-frequency (swell) sea state components, which are more relevant for wave energy resource characterization.

This work will be further developed with an extended validation of TSX SAR data focusing additional spectral parameters (namely spectral width parameters). On what regards TSX SAR data,

other tools will be developed that will enable to obtain more information, namely wave spectra with non-directional ambiguity.

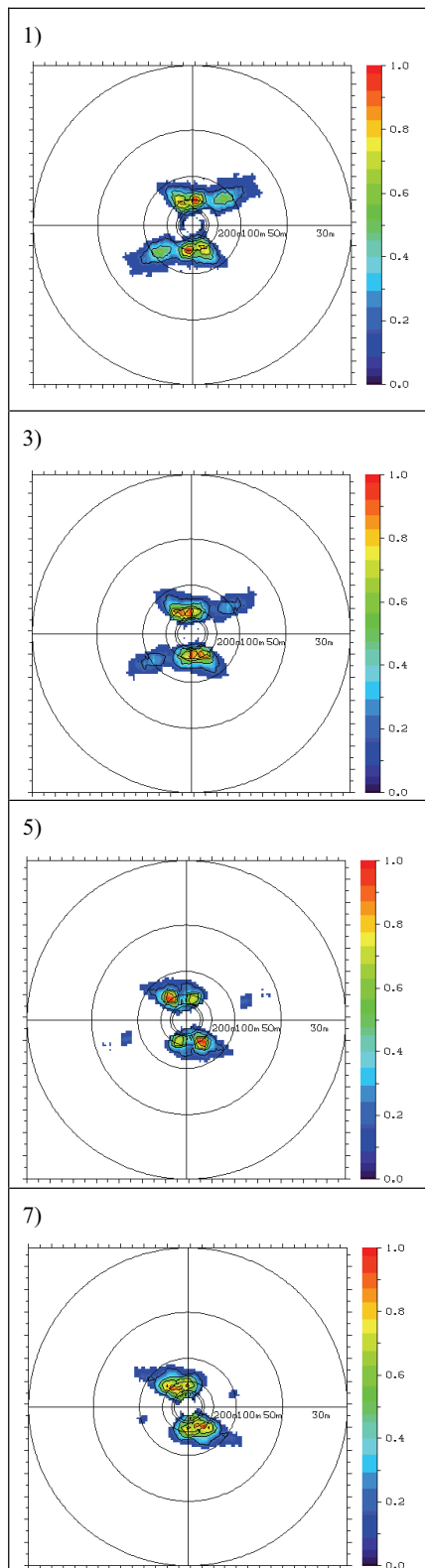


Fig. 5. Variability of TSX SAR 2D image spectra off the northern coast of Pico Island on 2010.03.27 19:41 UTC time (numbers refer to the positions shown in Figure 3)

Acknowledgements

The directional Datawell Waverider data at the channel between Faial and Pico islands were provided by CLIMAAT, CLIMARCOST and MacSIMAR Projects (FEDER - Interreg_III_B 03/MAC/2.3/A5;05/MAC/2.3/A1; MAC/1/A089).

REFERENCES

- Pontes, M.T., Bruck, M. and Lehener, S. (2009). Assessing the wave energy resource using remote sensed data, *Proceedings of 8th EWTEC*, Uppsala, Sweden.
- Oliveira-Pires, H. (1993). *Numerical modeling of wind-generated ocean waves*. Ph.D. Thesis, Lisbon Technical University.
- Falcão, A.F. de O. (2000) The shoreline OWC wave power plant at the Azores. *Proceedings of 4th EWTEC*, paper B1, Aalborg, Denmark.
- Oliveira-Pires, H., Carvalho, F. and Pontes, M.T. (1997), Modeling the effect of shelter in the modification from the open sea to near-shore, *J. Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 119, N^o. 1, 70-72.
- Li, X.-M. (2009). *Ocean Surface Wave Measurements Using SAR Wave Mode Data*. Ph. D. Thesis, University of Hamburg, 157 pp.
- Komen, G.K., Cavaleri, L., Donelan, M., Hasselmann, K. Hasselman, S., Jassen, P.A.E.M. (1994). *Dynamics and Modelling of Ocean Waves*, Cambridge University Press.

Verificação da altura significativa na costa portuguesa produzida por modelos numéricos global e de área limitada

S. Muacho (1) e A. Carvalho (2)

- (1) Instituto de Meteorologia, Rua C- Aeroporto 1749-077 Lisboa. sergio.muacho@meteo.pt
(2) Instituto de Meteorologia, Rua C- Aeroporto 1749-077 Lisboa

Resumo: Foi efectuada uma verificação objectiva dos modelos operacionais global (WAM) e de área limitada (LAM) do *European Center for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), no período de Novembro de 2007 a Outubro de 2009. Com o intuito de aferir a qualidade das previsões de altura significativa (Hs), a 48 horas, produzidas pelos modelos numéricos na costa continental portuguesa, foram determinados vários parâmetros estatísticos que permitiram caracterizar o erro, assim como, analisar diversos *scores* que permitem avaliar o desempenho das previsões em situações de aviso meteorológico de forte agitação marítima.

Palavras chave: Verificação, Altura significativa, WAM, LAM.

1. INTRODUÇÃO

A evolução da capacidade computacional tem permitido, em especial ao longo da última década, uma melhoria significativa da qualidade das previsões geradas pelos modelos de agitação marítima. Em consequência, torna-se necessário acompanhar e validar as novas ferramentas que são disponibilizadas operacionalmente nos centros de análise e previsão. Nesse sentido, a verificação dos resultados produzidos por modelos numéricos constituem igualmente uma etapa essencial do processo operacional.

O *European Center for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) corre operacionalmente, desde 1992, dois modelos numéricos de previsão de agitação marítima. O modelo de global (WAM) e o modelo de área limitada, que engloba o Atlântico Norte e o mar Mediterrâneo (LAM), têm beneficiado nestes últimos anos, de aperfeiçoamentos do modelo atmosférico, dos termos da física aplicada ao modelo de ondas, assim como, da assimilação de dados de satélite proporcionando um incremento na qualidade dos resultados produzidos (Bidlot *et al.*, 2006).

As versões verificadas possuem uma resolução espacial de $0.36^\circ \times 0.36^\circ$ (WAM) e $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ (LAM) e uma discretização espectral de 30 frequências e 24 direcções.

Neste trabalho pretendemos conferir e avaliar a performance do parâmetro altura significativa (Hs) produzida pelos modelos WAM e LAM na nossa costa continental. Para esse efeito foi realizada uma comparação com as observações *in-situ* de três bóias ondógrafo pertencentes ao Instituto Hidrográfico, localizadas ao largo de Leixões, Sines e Faro.

Complementarmente e dada a proximidade com a nossa zona costeira, foi igualmente utilizada informação relativa a dados de bóias do organismo

espanhol *Puertos del Estado*, situadas ao largo do *Cabo Silleiro* e de *Cádiz* (Figura 1).

Desta forma, a verificação objectiva focou-se no desempenho das previsões, a 48 horas, efectuadas pelos modelos de ondas no período de Novembro de 2007 a Outubro de 2009, tendo sido aplicados determinados parâmetros estatísticos de avaliação do erro de acordo com a metodologia adoptada pela WMO (*e.g.*, WMO, 1998), bem como, dada especial ênfase ao desempenho dos modelos em situações em que é necessária a emissão de avisos meteorológicos de forte agitação marítima para as regiões costeiras (Hs superior a 4 m na costa ocidental e superior 2 m na costa sul).

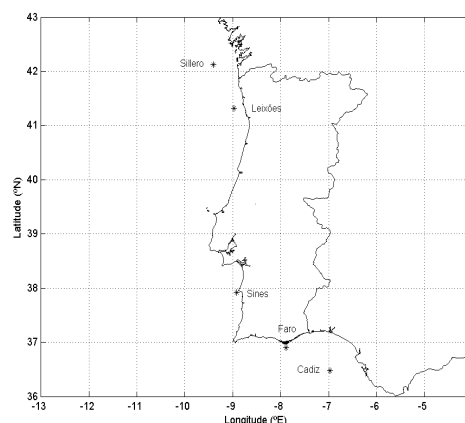


Fig. 1. Localização das bóias ondógrafo.

2. METODOLOGIA

Os modelos de agitação marítima geram resultados de Hs para os pontos da malha sobre o seu domínio. Com o intuito de avaliar a sua performance, os resultados dos modelos foram comparados com as

observações *in-situ* do parâmetro de agitação marítima referido.

A verificação assentou na comparação entre os valores observados pelas bóias e os valores calculados pelos modelos numéricos, às 12 UTC, para o ponto da malha mais próximo do local em que se encontram cada uma das bóias.

Nesse âmbito, foram aplicados parâmetros estatísticos de avaliação do erro, tais como o erro médio (BIAS), o erro médio quadrático (*Root Mean Square Error* (RMSE)), o índice de dispersão (*Scatter Index* (SI)) e o coeficiente de correlação (*Correlation Coefficient* (R^2)), para as previsões a 48 horas.

$$BIAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (mo(i) - ob(i))$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (mo(i) - ob(i))^2}$$

$$SI = \frac{RMSE}{ob(i)}$$

Considerando n a dimensão da amostra, $mo(i)$ o valor de H_s previsto pelo modelo e $ob(i)$ o valor observado de H_s para o mesmo local e instante.

Tendo em conta a salvaguarda de vidas e bens, neste estudo atribuiu-se particular importância ao desempenho dos modelos em situações em que é necessária a emissão de avisos meteorológicos para o mar. Nesse sentido, foram calculados os valores de probabilidade de deteção (*Probability Of Detection* (POD)) bem como as taxas de falsos alarmes (*False Alarm Ratio* (FAR)) associados à previsão desses eventos.

Atendendo à diferenciação na climatologia marítima das duas regiões costeiras em estudo, optámos analisar separadamente a qualidade das previsões para a costa ocidental (englobando desta forma os dados das bóias localizadas ao largo do *Cabo Silleiro*, Leixões e Sines) e para a costa sul (que inclui a informação *in-situ* proveniente das bóias de Faro e Cádiz).

3. RESULTADOS

3.1 Parâmetros estatísticos

Apresentam-se, através das Figuras 2 a 5, as performances estatísticas de cada um dos modelos nas previsões a 48 horas para a costa ocidental e a costa sul.

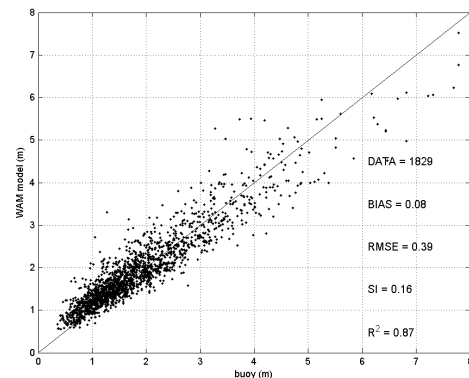


Fig. 2. Diagrama de dispersão e parâmetros estatísticos de avaliação do erro, relativo ao modelo WAM na costa ocidental para T+48h

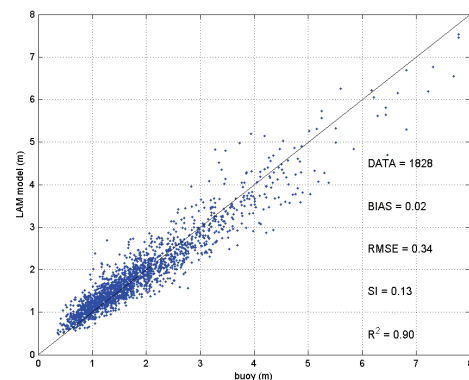


Fig. 3. Diagrama de dispersão e parâmetros estatísticos de avaliação do erro, relativo ao modelo LAM na costa ocidental para T+48h

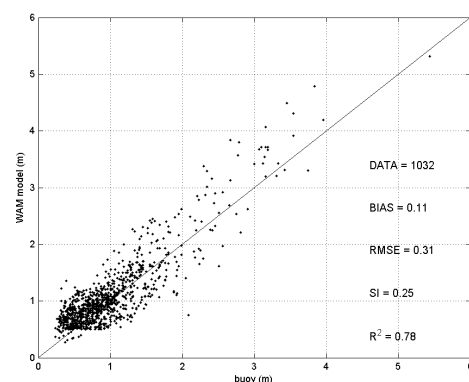


Fig. 4. Diagrama de dispersão e parâmetros estatísticos de avaliação do erro, relativo ao modelo WAM na costa sul para T+48h

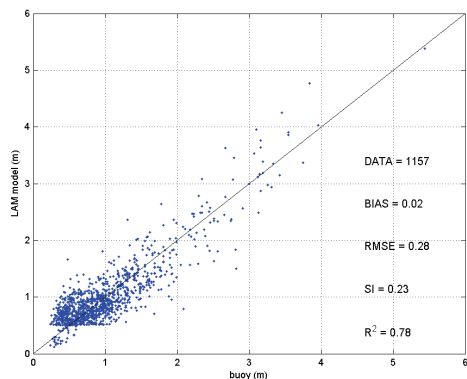


Fig. 5. Diagrama de dispersão e parâmetros estatísticos de avaliação do erro, relativo ao modelo LAM na costa sul para T+48h

A análise dos resultados obtidos para a costa ocidental (Figuras 2 e 3) evidência, em ambos os modelos, uma tendência, ainda que muito ligeira, para sobrestimar o parâmetro Hs (BIAS positivo). Ainda assim, o LAM acaba por sobrestimar menos do que o WAM (0.02 m e 0.08 m respectivamente). O modelo WAM é também aquele que apresenta um RMSE superior (0.39 m) em comparação com o valor obtido pelo LAM (0.34 m). Resultados similares foram obtidos para o índice de dispersão (13% no LAM e 16% no WAM). Além dos parâmetros estatísticos já referidos, o LAM acaba por exibir um coeficiente de correlação com o observado mais elevado (0.90) comparativamente ao modelo WAM (0.87).

Os resultados relativos à costa a sul portuguesa (Figuras 4 e 5) indicam igualmente uma propensão para os modelos sobrestimarem Hs. Similarmente ao que se verifica na costa ocidental, também na costa sul é o LAM que revela uma menor discrepância, em média, entre Hs calculado e observado para T+48h (0.11 m de BIAS ao invés de 0.02 m no WAM). O LAM foi igualmente o modelo que obteve menor valor de RMSE (0.28 m), abaixo do registado pelo WAM (0.31 m), assim como, no índice de dispersão (23% no LAM e 25% no WAM). Tanto o LAM como o WAM acabaram por apresentar um coeficiente de correlação idêntico (0.78).

Nesta secção, pretendemos analogamente aferir os valores de POD e FAR para T+48h nos dois modelos em situações de aviso de agitação marítima forte para a costa ocidental e a costa sul portuguesa, estando os valores presentes na Tabela 1.

3.2 Casos de estudo

Complementarmente à avaliação estatística associada ao erro dos modelos, foram igualmente analisados dois casos de estudo. Os casos foram escolhidos de forma a incluir duas regiões distintas

(Cabo Silleiro e Cádiz) num período de tempo suficientemente amplo para contemplar vários regimes de ondulação (Figuras 6 e 7).

	WAM (oeste)	LAM (oeste)	WAM (sul)	LAM (sul)
POD	0.65	0.68	0.82	0.83
FAR	0.19	0.20	0.36	0.18

Tabela I – Valores de POD e FAR nas previsões para T+48h em situações de aviso meteorológico.

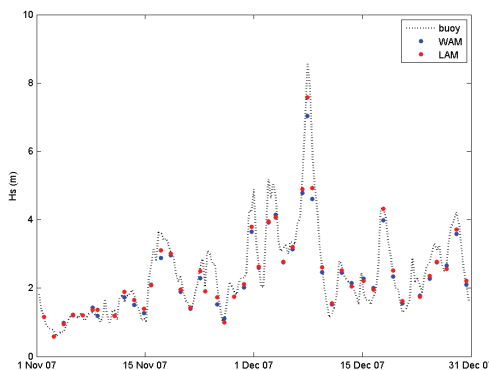


Fig. 6. Série temporal das previsões de Hs para T+48h do WAM (a azul), do LAM (a vermelho) e das observações (a preto descontinuo) registadas na bóia do Cabo Silleiro.

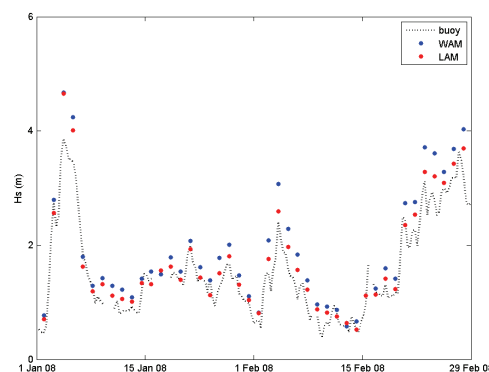


Fig. 7. Série temporal das previsões de Hs para T+48h do WAM (a azul), do LAM (a vermelho) e das observações (a preto descontinuo) registadas na bóia de Cádiz.

A Figura 6 descreve a evolução temporal das previsões produzidas pelos modelos versus as observações ao largo do Cabo Silleiro. Apesar de alguns desvios, é notório que os modelos acompanharam as observações, mesmo em situações extremas (Hs ~8m) e de curta duração. A Figura 7

acaba por corroborar e resumir aquilo que os resultados estatísticos evidenciam: uma ligeira sobrestima por parte dos modelos, sendo que o que mais se aproxima do observado é o LAM.

4. DISCUSSÃO

Os resultados mostram que o modelo LAM foi aquele que apresentou, globalmente, uma melhor precisão nas previsões de Hs para a nossa costa durante período avaliado.

Independentemente da região analisada, os resultados dos parâmetros estatísticos de avaliação do erro obtidos pelo WAM e LAM encontram-se dentro dos valores determinados em verificações recentes utilizando um número elevado de dados de observação (e.g., Janssen, 2006).

Muito embora os modelos apresentem um BIAS e um RMSE menor na costa sul (consequência directa do facto de Hs ser significativamente inferior na costa sul em comparação com a costa oeste), tanto o SI como o R² mostram que a menor dispersão e a maior correlação entre o observado e o previsto são obtidas na costa ocidental.

Os resultados expressos na Tabela I, que derivam de tabelas de contingência, indicam que na costa ocidental os valores de POD e FAR nas previsões a 48 horas, em situações de aviso meteorológico, obtidos com os modelos analisados são bastante similares. Melhores resultados de POD são obtidos na costa sul (0.82 e 0.83 face aos 0.65 e 0.68 registados na costa oeste), sendo que nesta região, o LAM regista um FAR significativamente inferior (metade) ao registado pelo WAM. Na costa ocidental, tanto as taxas de detecção como os falsos alarmes registados pelos dois modelos são da mesma gama de valores.

Os dados aqui revelados mostram que os modelos numéricos de ondas do ECMWF apresentam uma significativa melhoria quando comparados com trabalhos que utilizaram dados anteriores a 2000 (e.g., Bidlot *et al.*, 2002), em especial no BIAS e no RMSE, consequência dos incrementos sucessivos que os modelos tem sido alvo.

5. CONCLUSÕES

Em resumo, o presente estudo permitiu concluir que o modelo de área limitada do ECMWF (LAM) foi o que produziu os resultados mais exactos para Hs, no período de Novembro de 2007 a Outubro de 2009, pois registou menores valores nos parâmetros estatísticos de avaliação do erro e taxas de falsos alarmes na costa sul significativamente inferiores.

Agradecimentos

Os autores agradecem a colaboração do Instituto Hidrográfico pela cedência dos dados das bóias ondógrafo e ao colega Jean Bidlot do ECMWF pelos esclarecimentos prestados e partilha de dados de observação.

REFERÊNCIAS

Artigos em revistas:

- Bidlot, J., Holmes, D., Wittmann, P., Lalbeharry, R., Chen, H. (2002). Intercomparison of the performance of operational ocean wave forecasting systems with buoy data. *Weather and Forecasting*, 17, 287-310.
- Bidlot, J., Janssen, P., Abdalla, S. (2006). Extreme waves in the ECMWF operational forecasting system. *9th International Workshop on Wave Hindcasting & Forecasting*. Canada, September 24-29, 2006.
- Janssen, P. (2006). Progress in ocean wave forecast at ECMWF. *ECMWF Newsletter* N° 106 – Winter 2005/06, 28-36.

Livros:

- WMO (1998). *Guide to wave analysis and forecast*, World Meteorological Organization, WMO – N° 702, 159 pp.

Caracterização de eventos extremos de agitação marítima em Portugal Continental

R. Esteves (1), F. Sansana Silva (1), J. P. Pinto (1) e M. Costa (1)

(1) Instituto Hidrográfico, rita.esteves@hidrografico.pt

Resumo: Durante o inverno de 2009-2010 observou-se uma alteração na circulação atmosférica na bacia do Atlântico Norte, tendo-se traduzido na passagem constante de sistemas depressionários sobre o Arquipélago da Madeira e sobre a Península Ibérica. Esta alteração nos padrões de circulação atmosféricos originou eventos extremos de agitação marítima, alguns dos quais associados a fenómenos de sobre-elevação do nível do mar, e que foram responsáveis pela destruição de várias infra-estruturas na orla costeira.

Com o objectivo de caracterizar estes eventos e de melhorar a sua previsão, foram analisadas as séries de observações registadas pelas estações ondógrafo, bem como os resultados dos modelos de previsão da agitação marítima. Uma avaliação correcta das condições de agitação e dos resultados dos modelos atmosféricos será essencial para a diminuição do impacto deste tipo de eventos na nossa costa.

Palavras chave: agitação marítima, eventos extremos.

1. INTRODUÇÃO

Durante o inverno 2009-2010 verificou-se uma intensificação do regime de agitação marítima na costa portuguesa, caracterizado por períodos de elevada energia. Estes eventos fizeram-se sentir por toda a costa, provocando danos em infra-estruturas e uma erosão costeira acentuada em diversas zonas do país.

Com o objectivo de caracterizar estes eventos e de avaliar se o último inverno foi efectivamente invulgar procedeu-se a uma análise das séries de observações registadas no último inverno, pelas estações ondógrafo de Leixões, Sines e Faro, bem como os resultados dos modelos de previsão da agitação marítima. Foram também caracterizadas as condições médias e extremas de agitação marítima nos últimos dez anos (Outubro de 1999 a Março de 2009), de forma a correlacionar com as observações do inverno 2009-2010.

Na secção 2 é apresentado um estudo comparativo entre as condições médias e extremas da agitação marítima no inverno de 2009-2010 e no correspondente período dos últimos dez anos. Na secção 3 é efectuada uma análise dos padrões de circulação que estiveram na origem dos eventos extremos observados neste inverno, com base nos resultados obtidos pelo modelo atmosférico ALADIN; é também efectuada uma análise dos valores do índice NAO (*North Atlantic Oscillation*) durante os períodos em que foram registados temporais, quer durante o último inverno, quer nos dez anos anteriores. Por último, na secção 4, apresentam-se as conclusões e tecem-se algumas considerações.

2. CARACTERIZAÇÃO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA

A caracterização das condições médias de agitação marítima foi efectuada tendo por base os parâmetros altura significativa e direcção média associada ao período de pico.

As percentagens globais de cobertura no inverno de 2009-2010 foram de 76%, em Leixões e em Sines, e de 73% em Faro. Refira-se, em particular, a inexistência de dados em Dezembro, em Leixões, e em Janeiro, em Sines. Relativamente ao período entre 1999 e 2009, a cobertura em Leixões foi semelhante (74%), enquanto que em Sines e em Faro as taxas de operacionalidade foram mais elevadas (85% e 90%, respectivamente).

A caracterização das condições de agitação marítima no Inverno de 2009-2010, bem como a sua comparação com os períodos correspondentes dos anos anteriores, foi condicionada pelas falhas acima assinaladas.

Para cada uma das estações ondógrafo, e para cada um dos invernos em estudo (meses de Outubro a Março), foram analisados, entre outros resultados, as percentagens de ocorrência das alturas significativas e das direcções médias (as tabelas e gráficos aqui apresentados são apenas relativos à estação de Leixões).

Na figura 1 apresentam-se, para Leixões, as percentagens de ocorrência das alturas para duas classes (entre 3 e 5 e superior a 5m); para além dos invernos em comparação (2009-2010 e 1999-2009), optou-se por incluir também os três invernos

anteriores a 2009-2010, no sentido de melhor se avaliar a situação ao longo dos últimos anos.

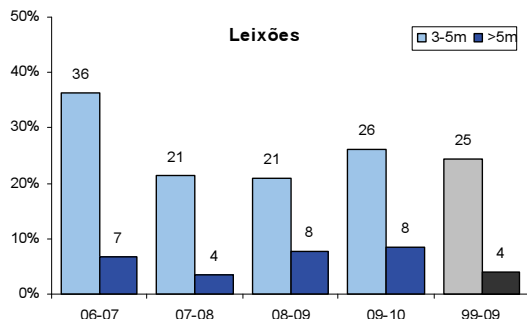


Fig. 1 – Ocorrências (%) de alturas significativas 3-5m e >5m em Leixões.

Da análise destes resultados constata-se que, relativamente ao inverno de 2009-2010, a percentagem de ocorrências de alturas significativas entre 3 e 5m é muito semelhante à verificada no conjunto dos dez anos anteriores; observa-se, no entanto, uma maior percentagem de ocorrências de alturas significativas superiores a 5m (situações de temporal).

Embora o aumento de situações de temporal também já se tenha verificado no inverno de 2008-2009, a análise dos dados não permite concluir que essa seja a tendência actual (o inverno de 2006-2007 também foi bastante severo, mas o mesmo já não aconteceu nos dois anos seguintes).

Na figura 2 apresentam-se, igualmente para Leixões, as percentagens de ocorrência das direcções médias nas três classes dominantes na costa oeste (NW, W e SW);

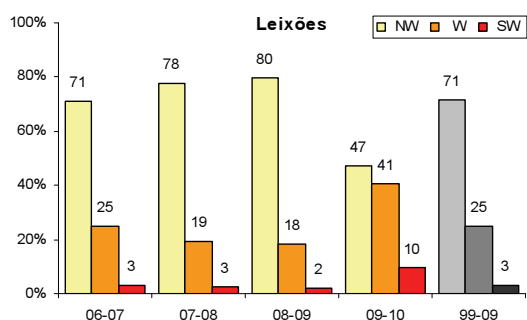


Fig. 2 – Ocorrências (%) de estados de mar provenientes de NW, W e SW em Leixões.

Da análise deste gráfico é evidente, no inverno de 2009-2010, o aumento da frequência de estados de mar provenientes de W e SW e a consequente diminuição de NW. Nos restantes anos a distribuição das direcções é muito semelhante entre si, com as ocorrências de NW sempre muito superiores às restantes, a qual corresponde à situação típica na costa oeste portuguesa.

Na tabela 1 apresentam-se as percentagens de ocorrência das direcções provenientes de SW e W em duas classes de altura significativa (<3 e ≥3m).

A análise desta tabela mostra que o aumento das ocorrências de W e SW em 2009-2010 está associado, quer a valores baixos de altura significativa, como a valores mais elevados.

Direcção		06-07	07-08	08-09	09-10	99-09
SW	<3m	0.8	1.8	1.3	5.8	1.8
	≥3m	2	0.7	0.5	3.8	0.9
W	<3m	15	16	16.6	31.6	17.8
	≥3m	9.7	3.4	1.7	9.1	6.8

Tabela 1 – Ocorrências (%) de estados de mar provenientes de W e SW em Leixões, em duas classes de alturas significativas

Quanto às condições extremas da agitação marítima, foram analisados os temporais registados nas bóias ondógrafo de Leixões, Sines e Faro, para o inverno de 2009-2010, bem como para os invernos de 1999-2009.

Na figura 3 apresentam-se os temporais registados em Leixões no inverno de 2009-2010 e nos invernos de 1999-2009, em cinco classes de direcção (SW, WSW, W, WNW, NW) e cinco classes de altura (4-5m, 5-6m, 6-7m, 7-8m e >8m). A direcção apresentada é a direcção média do temporal e a altura é a altura significativa máxima registada durante o temporal.

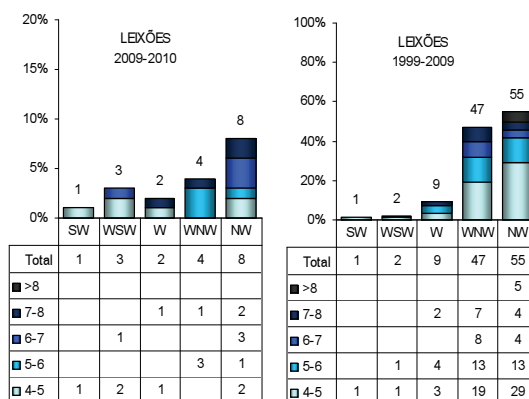


Fig. 3 – Ocorrência de temporais, por classes de direcção e de altura significativa (m) para Leixões

Durante o inverno de 2009-2010 registaram-se 18 temporais em Leixões, o que se traduziu num aumento de percentagem de ocorrência de situações de temporal relativamente aos anos anteriores.

Embora tal aumento se tenha verificado em todas as classes de direcção, é relativamente ao número de temporais com direcções entre W e SW que o passado inverno mais se distingue dos restantes: foram registados 2 temporais de W, 3 de WSW e 1 de SW; acresce ainda o facto de um temporal de WSW do passado inverno ter sido mais severo do que é habitual. No entanto faz-se notar que, tal como nos anos anteriores, os temporais mais frequentes durante o inverno de 2009-2010 foram os de NW e que os de maior intensidade foram também provenientes de direcções entre NW e W.

3. PADRÕES DE CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA

As características de agitação marítima sobre a costa de Portugal Continental, assim como no Arquipélago da Madeira, estão associadas aos padrões de circulação atmosférica no Atlântico Norte. Um estudo elaborado por Oliveira Pires [H. Oliveira Pires, 1985] definiu, para as situações de temporal na costa Ocidental, três classes de acordo com as condições de incidência e de altura significativa da agitação marítima: o Mar de Noroeste, Mar de Sudoeste e Temporal de Oeste. Relativamente às situações de temporal ocorridas no passado inverno, foram verificados quais os padrões de circulação atmosférica que estiveram na sua origem e foi efectuado o seu enquadramento nas classes anteriormente referidas. Esta análise teve por base os resultados do modelo atmosférico ALADIN, as previsões de agitação marítima do modelo SWAN e as observações registadas pelas estações ondógrafo. Dos 18 temporais registados em Leixões durante o inverno de 2009-2010, 12 foram enquadrados na classe Mar de Noroeste, a qual é a situação mais frequente na costa ocidental do Continente. Dos restantes, 2 enquadraram-se na classe Temporais de Oeste e 3 na classe Mar de Sudoeste.

Os temporais observados entre 20 de Outubro e 10 de Dezembro foram englobados na classe Mar de Noroeste, bem como os temporais registados durante o mês de Março, sendo que estão associados a áreas de geração do bordo NE do anticiclone dos Açores ou a circulações pós-frontais (Fig. 4). A direcção média associada a estes temporais situou-se entre NW e WNW. A severidade foi bastante variável, com alturas significativas máximas entre 4 e 7m e durações entre 1 e 6 dias.

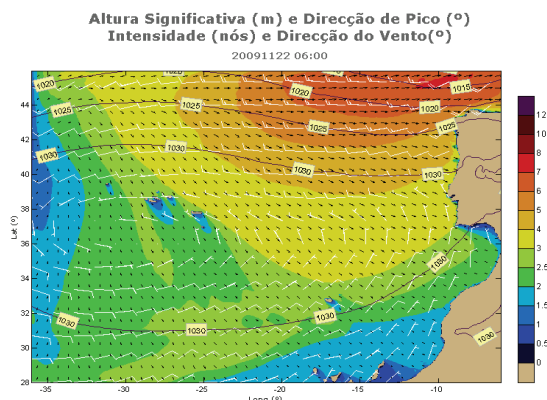


Fig. 4 – Circulação atmosférica associada ao temporal de Noroeste registado em 22-11-2009

Durante o período compreendido entre 17 e 25 de Dezembro foram registadas 3 situações de temporal que se enquadraram na classe Mar de Sudoeste. Estes eventos foram gerados por depressões quase estacionárias a SW da Península Ibérica e caracterizadas pela localização de centros de altas pressões a Oeste das Ilhas Britânicas (Fig. 5). Estes

temporais caracterizaram-se por direcções muito centradas em SW, alturas significativas máximas inferiores a cinco metros e durações de cerca de 1 dia.

Altura Significativa (m) e Direcção de Pico (°)
Intensidade (nós) e Direcção do Vento(°)
20091225 18:00

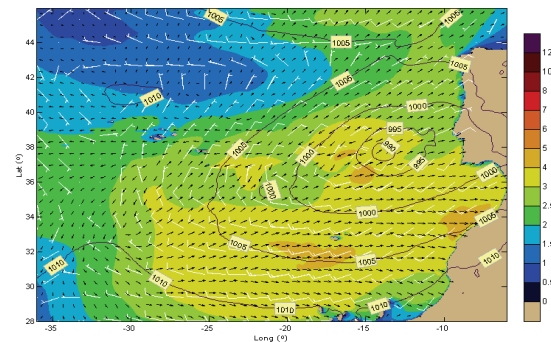


Fig. 5 – Circulação atmosférica associada ao temporal de Sudoeste registado em 25-12-2009

Relativamente às situações designadas por Temporal de Oeste apenas foram registados 2, durante o mês de Fevereiro. Apresentam uma grande variação, com direcção média associada de W, alturas significativas máximas entre 4.8 e 7.0m e durações entre 2 a 5 dias.

Embora em Leixões não existam dados em Janeiro, os resultados dos modelos, confirmados pelas observações na bóia de Sines, demonstram situações semelhantes em Janeiro e Fevereiro: uma alternância entre Mar de Sudoeste e Temporal de Oeste, sendo esta última classe caracterizada por centros de altas pressões à latitude dos 30°N, geralmente centrados a Este da Península Ibérica na bacia Mediterrânica, e circulação depressionária à latitude dos 40° N.

Registou-se, no entanto, no mês de Fevereiro (no dia 27) um temporal com direcção de SW que não se enquadrava nos padrões meteorológicos nem nas classes atrás referidas. Este tipo de eventos, que são considerados raros, atingiram a costa portuguesa durante o último inverno. Resultam da formação de depressões subtropicais sobre o Arquipélago da Madeira (Fig. 6) e uma das suas características é a rapidez com que evoluem e se propagam.

Altura Significativa (m) e Direcção de Pico (°)
Intensidade (nós) e Direcção do Vento(°)
20100227 00:00

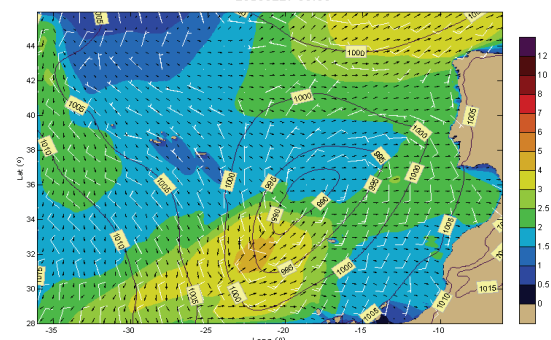


Fig. 6 – Circulação atmosférica associada ao temporal de Sudoeste registado em 27-02-2010

No dia 27 registaram-se alturas significativas de cerca de 6m em Leixões e de 5m em Sines e na costa sul; Para além do temporal do referido dia 27, que estendeu a sua acção sobre toda a costa de Portugal Continental e Madeira, também no dia 2 de Fevereiro foi observado um episódio da mesma natureza, embora menos intenso, que atingiu a Madeira e a costa sul do Continente, registando-se alturas de 3.5m na costa Sul da Madeira e 2.6m em Faro.

3.1. North Atlantic Oscillation (NAO)

Uma abordagem simples que permite caracterizar a influência de determinados padrões de circulação no clima à superfície é a análise de índices de circulação. A observação de séries temporais destes índices permite analisar a variabilidade da circulação atmosférica em regiões específicas. Na bacia do Atlântico Norte o índice que melhor representa os padrões de circulação atmosféricos é a NAO (*North Atlantic Oscillation*). Representa uma diferença de pressão à superfície normalizada, medida entre o centro de altas pressões subtropical (Açores) e o centro de baixas pressões subpolar (Islândia). Um índice positivo revela uma forte presença do centro de altas pressões subtropical, que força a circulação depressionária para trajectórias acima dos 40°N, dando origem a temporais de NW. Um índice negativo está relacionado com um enfraquecimento do anticiclone dos Açores, que se traduz pela elevada frequência de eventos de SW e W.

Com base nas projecções diárias do índice NAO, disponíveis no site da secção de análise climática da NCAR, apresenta-se um diagrama de dispersão entre as médias do índice NAO calculadas para os dias em que ocorreram os temporais e a direcção dos temporais registados em Leixões.

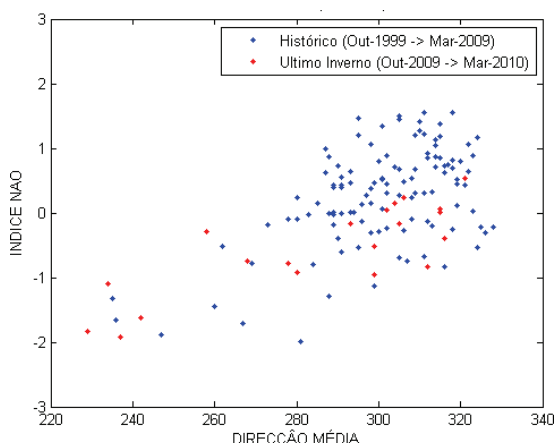


Fig. 7 – Diagrama de dispersão (direcção média temporais, índice NAO). Os resultados a vermelho são do último Inverno, a azul o registo histórico dos últimos 10 anos.

Verifica-se que a dispersão é elevada e que em geral as direcções de NW estão associadas a um valor positivo ou próximo de zero, enquanto que os

temporais de W e SW estão claramente relacionados com um índice NAO negativo.

4. CONCLUSÕES

Do estudo comparativo entre as condições da agitação marítima no inverno de 2009-2010 e no correspondente período dos dez anos anteriores, concluiu-se que, em termos globais, não houve diferenças assinaláveis quanto aos valores médios das alturas significativas nem quanto às percentagens de ocorrência nas classes mais frequentes; foi nas classes mais altas (>5m na costa oeste e >3m na costa sul) que se verificou, no passado inverno, um aumento da percentagem de ocorrências, o que correspondeu a um maior número de situações de temporal em toda a costa.

Relativamente à direcção média, a situação durante o inverno de 2009-2010 foi bastante diferente, tendo-se verificado, em toda a costa, um aumento da frequência de estados de mar provenientes de W e SW, associados muitas vezes a alturas significativas superiores a 3m. São estados de mar com estas características que mais contribuem para a destruição de infra-estruturas na orla costeira e para o recuo da linha de costa e que, como constatado, foram mais frequentes no último inverno. Verificou-se que as alterações do estado do mar, no último inverno, se deveram a um enfraquecimento do anticiclone dos Açores. Esta situação permitiu o trânsito de depressões a latitudes mais meridionais e à formação de depressões subtropicais que estiveram na origem de eventos extremos no Arquipélago da Madeira e no litoral Sul do continente.

Na última década registou-se um índice NAO de inverno geralmente positivo, excepto nos invernos de 2001, 2006 e 2009. O inverno de 1969 correspondeu a um extremo do índice NAO negativo, tendo o inverno de 2009 apresentado um valor muito próximo desse extremo, o que corrobora a conclusão de que o passado inverno foi efectivamente invulgar.

Agradecimentos

Ao Instituto de Meteorologia, pela cedência de resultados do modelo atmosférico ALADIN.

REFERÊNCIAS

Oliveira Pires, H. (1985). Alguns Aspectos do Clima de Agitação Marítima de Interesse Para a Navegação na Costa de Portugal. *Divisão de Meteorologia Marítima, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica*.

BOOIJ, N.; RIS, R.C., e HOLTHUIJSEN, L.H., 1999. A third-generation wave model for coastal regions, 1. Model description and validation. *Journal of Geophysical Research*, 104, 7649–7666.

Dinâmica sedimentar

Influência de ondas assimétricas no transporte de sedimentos: medição e modelação

T. Abreu (1), P.A. Silva (2) e F. Sancho (3)

- (1) Dep. de Eng. Civil – ESTGV – Instituto Politécnico de Viseu, Campus de Repeses, 3504-510 Viseu. tabreu@dcivil.estv.ipv.pt.
- (2) CESAM & Dep. Física – Universidade de Aveiro, Campus de Santiago, 3810-193 Aveiro
- (3) Laboratório Nacional de Engenharia Civil – DHA, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa

Resumo: A mecânica do transporte sedimentar é um tema de interesse considerável, mas cuja dinâmica é difícil de prever. Actualmente, no contexto da erosão verificada em grande parte da orla costeira nacional o fenómeno assume particular relevância. As ondas marítimas são os principais agentes responsáveis pelo transporte de sedimentos nas zonas costeiras. Contudo, ainda subsistem grandes lacunas no que concerne ao conhecimento detalhado dos processos envolvidos. Este trabalho mostra que a não linearidade das ondas é um factor muito relevante para a mobilização dos sedimentos. Para o efeito, apresentam-se resultados experimentais obtidos num túnel de ondas, elucidando a influência da assimetria das ondas no transporte de sedimentos. Muitas vezes, essas características são incorporadas em modelos de transporte através de parametrizações de momentos estatísticos da velocidade e da aceleração orbital junto ao fundo. Estes resultados são confrontados com alguns modelos práticos de transporte que visam incluir essas características hidrodinâmicas.

Palavras chave: transporte sedimentar, ondas assimétricas, velocidade orbital, túnel de ondas, modelação

1. INTRODUÇÃO

Os estudos sobre transporte e balanço sedimentar costeiro assumem particular relevância no contexto da erosão verificada actualmente em grande parte da orla costeira nacional. As ondas marítimas e as correntes médias existentes são os principais agentes responsáveis pelo transporte de sedimentos na zona costeira, em particular, nas praias e na plataforma costeira interna. Contudo, ainda subsistem grandes lacunas no que concerne ao conhecimento detalhado dos processos envolvidos no transporte. Com este trabalho pretende-se mostrar que a não linearidade das ondas é um factor muito relevante para a mobilização e transporte dos sedimentos.

Considerando uma onda que se propaga em direcção à costa, há todo um conjunto de transformações da sua forma que advêm da diminuição da profundidade. Gradualmente, a superfície livre evolui tornando-se pontiaguda sobre a crista da onda, mais larga na cava e relativamente íngreme na face onde se vem a dar a rebentação (Fig. 1). Esta alteração da forma das ondas, que se traduz numa redistribuição da energia da onda por outras componentes harmónicas, relativamente àquelas que se apresentavam inicialmente, repercute-se no escoamento oscilatório junto ao fundo: os valores máximos da velocidade são observados durante a crista da onda e as acelerações do escoamento orbital para as fases da onda entre a cava e a crista. Estas características não lineares da onda e a existência de correntes junto ao fundo para o largo

na zona de rebentação (*undertow*) desempenham um papel muito importante no transporte sedimentar transversal à costa e nas modificações do perfil de fundo de praia, nomeadamente na formação/migração de barras litorais.

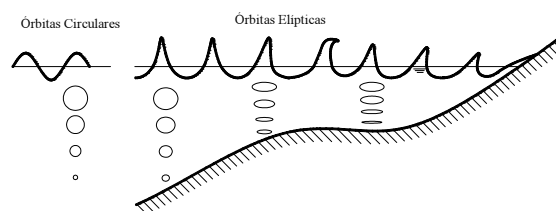


Fig. 1. Propagação da agitação em direcção à costa. Esboço do movimento orbital das partículas.

Para evidenciar a influência da não linearidade das ondas no transporte de sedimentos na direcção transversal à costa são apresentados neste trabalho resultados experimentais recentemente obtidos num túnel de ondas. Diferentes modelos práticos para o cálculo do transporte sedimentar que visam incluir essas características hidrodinâmicas através de parametrizações de momentos estatísticos da velocidade e da aceleração orbital junto ao fundo, são aplicados e os resultados comparados com o conjunto de resultados experimentais.

2. EXPERIÊNCIA EM TÚNEL DE ONDAS

Devido à complexidade e à interacção dos diferentes processos que intervêm no transporte e da dificuldade em efectuar medições precisas do campo de velocidades e da concentração de sedimentos junto ao fundo, nomeadamente em condições naturais, é usual recorrer-se a experiências laboratoriais para isolar e reproduzir com acuidade determinados fenómenos físicos. Com esse intuito e para avaliar a influência de ondas assimétricas no transporte de sedimentos sob condições controladas, Silva *et al.* (submetido) realizaram, no túnel de ondas de *Deltares* (Large Oscillating Water Tunnel), um projecto experimental designado de *TRANSKEW* (*sand TRANsport induced by SKEWed waves and currents*). As condições hidráulicas consistiram na repetição de um escoamento oscilatório regular e assimétrico sobre um fundo móvel cujo leito era composto por grãos de areia com um diâmetro mediano de 0.20mm. As experiências decorreram em regime de *sheet flow* (fundo plano) onde, sob a acção de fortes tensões de atrito, a maioria dos sedimentos é mobilizada e transportada numa camada junto ao fundo com cerca de 10mm de espessura.

O sinal introduzido no túnel de ondas, visou reproduzir, na secção de teste do mesmo, um escoamento com diferentes graus de assimetria da velocidade orbital, u , e da aceleração, a . Usualmente, utilizam-se os parâmetros R e β para essa quantificação:

$$R = \frac{u_{max}}{u_{max} - u_{min}},$$

$$\beta = \frac{a_{max}}{a_{max} - a_{min}}.$$

Um valor de $R \neq 0.5$ e $\beta = 0.5$ significa que há assimetria na velocidade, mas não na aceleração. Nesse caso, os valores máximos em módulo da aceleração durante o escoamento oscilatório são iguais ($|a_{max}| = |a_{min}|$), mas os valores da velocidade correspondentes à crista e à cava são diferentes ($|u_{max}| \neq |u_{min}|$). Estas características ocorrem quando as ondas iniciam o seu processo de transformação, aquando da diminuição da profundidade. A reprodução dessas formas pode ser obtida, p.e., recorrendo à teoria de ondas Cnoidal (1.^a ordem) ou de Stokes (2.^a ordem). Contrariamente, um valor de $R = 0.5$ e $\beta \neq 0.5$ significa que há simetria da velocidade, mas não da aceleração. Estes perfis podem ser encontrados para menores profundidades quando as ondas estão prestes a rebentar e nas zonas de *surf* e *swash*. Comumente, essas ondas denominam-se por ondas em dente de serra (*sawtooth waves*). Na Fig. 2 esquematizam-se os dois tipos de séries temporais de u e a descritos anteriormente.

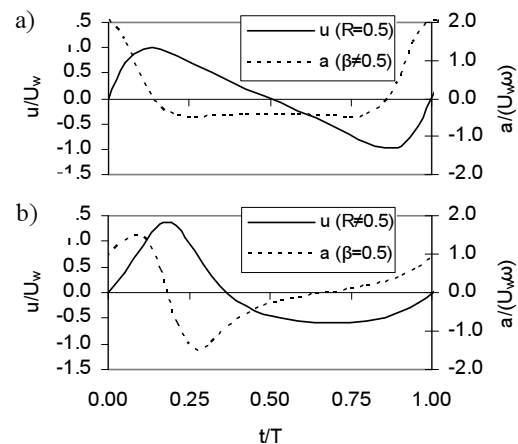


Fig. 2. Séries temporais da velocidade e aceleração orbital para ondas com: (a) assimetria de acelerações e (b) assimetria de velocidades.

Os efeitos não lineares associados às assimetrias descritas podem ser reproduzidos através de modelos de resolução de fase de ondas (e.g., modelos de Boussinesq, modelos RANS) que simulam a propagação e a transformação das ondas à medida que se aproximam da costa. Contudo, estes modelos são computacionalmente exigentes e, por motivos práticos, é usual recorrer-se a uma representação da onda através de teorias analíticas simples (lineares ou não lineares).

Para o efeito, desenvolveu-se uma expressão analítica simples que contempla todos os graus de assimetria de velocidades e acelerações (Abreu *et al.*, 2010):

$$u(t) = U_w f \frac{\left[\sin(\omega t) + \frac{r \sin \phi}{1 + \sqrt{1 - r^2}} \right]}{[1 - r \cos(\omega t + \phi)]},$$

onde U_w representa a amplitude da velocidade orbital ($U_w = (u_{max} - u_{min})/2$), ω a velocidade angular associada a uma onda de período T ($\omega = 2\pi/T$), r um índice que reflecte o grau da não linearidade ($-1 < r < 1$), ϕ um parâmetro de forma da onda ($-\pi/2 \leq \phi \leq \pi/2$) e f um factor adimensional que assegura que a amplitude da velocidade orbital iguale U_w ($f = \sqrt{1 - r^2}$).

O caso particular de $r = 0$ corresponde à forma sinusoidal. Para $r \neq 0$, $\phi = 0$ reflecte a assimetria da aceleração (Fig. 2a), $\phi = -\pi/2$ a assimetria da velocidade (Fig. 2b) e $-\pi/2 < \phi < 0$ resulta em combinações simultâneas de assimetrias de velocidades e acelerações.

As experiências realizadas no túnel de ondas consideraram três categorias distintas associadas às diferentes condições hidrodinâmicas reproduzidas. A

Série A consistiu na reprodução de velocidades orbitais com diferentes graus de assimetria na aceleração; a Série B é análoga à Série A, mas com uma corrente colinear adicional, U_0 , e contrária à da propagação das ondas; e a Série C onde se introduziram graus de assimetria de velocidades e acelerações simultaneamente. O valor médio quadrático da velocidade, U_{rms} , foi mantido constante para todas as condições (≈ 0.9 m/s). A Tabela I sumaria as características hidrodinâmicas para os diversos testes reproduzidos no túnel de ondas.

Tabela I. Condições experimentais

	U_w (m/s)	U_0 (m/s)	T (s)	r (-)	ϕ (rad)	R (-)	β (-)
A1	1.28	0	7	0.28	0.00	0.64	0.50
A2	1.25	0	10	0.27	0.15	0.63	0.49
A3	1.28	0	7	0.44	0.00	0.72	0.50
A4	1.25	0	10	0.45	0.08	0.72	0.49
B1	1.27	-0.22	7	0.28	0.00	0.64	0.50
B2	1.25	-0.44	7	0.28	0.00	0.64	0.50
B3	1.24	-0.22	7	0.42	0.00	0.71	0.50
B4	1.25	-0.44	7	0.43	-0.09	0.71	0.51
C1	1.25	0	7	0.43	-0.93	0.61	0.59
C2	1.36	0	10	0.42	-0.97	0.60	0.59
C3	1.25	0	7	0.36	-1.37	0.53	0.59

Durante as experiências foram efectuadas medições detalhadas da velocidade do escoamento e da concentração de sedimentos na zona de suspensão e junto ao fundo recorrendo a diferente instrumentação (Silva et al., submetido) e estimadas as taxas de transporte médias no ciclo do escoamento oscilatório, q_s .

3. MODELOS DE TRANSPORTE

Nesta secção, apresentam-se três modelos para cálculo das taxas de transporte sedimentar que visam integrar as características hidrodinâmicas descritas associadas à assimetria da onda. Estes baseiam-se em arquétipos conceptuais distintos, contemplando os efeitos da aceleração de diferentes formas. Seguidamente, os modelos são descritos sucintamente. Uma descrição mais pormenorizada poderá ser encontrada nos artigos originais ou em Silva et al. (submetido).

3.1. Hoefel and Elgar (2003) – HE03

Drake e Calantoni (2001) sugeriram uma modificação das formulações clássicas de modelos de transporte sedimentar do tipo energético (Bailard, 1981) para incorporar os efeitos da aceleração no transporte por arrastamento. Esse melhoramento deveu-se à introdução de um descritor da aceleração que pode ser calculado em termos de momentos estatísticos da aceleração junto ao fundo $a_{spike} = \langle a^3 \rangle / \langle a^2 \rangle$. Nesta equação, os parênteses $\langle \rangle$

denotam uma média temporal na fase da onda. Hoefel e Elgar (2003) estenderam o trabalho de Drake e Calantoni (2001) para ondas não regulares.

3.2. Nielsen (2006) – N06

Nielsen (2006) apresenta uma fórmula melhorada para o cálculo de q_s do género de Meyer-Peter and Müller's (1948). A determinação do transporte sedimentar por arrastamento baseia-se no parâmetro de Shields, θ . A introdução dos efeitos da aceleração é introduzida em θ , através do cálculo da tensão de atrito instantânea junto ao fundo, τ . Nielsen propõe uma parametrização de τ que incorpora as séries temporais da velocidade e da aceleração, bem como o desfaseamento entre as velocidades e as tensões de atrito.

3.3. Silva et al. (2006) – S06

Silva et al. (2006), basearam-se no trabalho de Dibajnia e Watanabe (1992), desenvolvendo um modelo prático de transporte semi não estacionário que calcula taxas de transporte sedimentar para escoamentos oscilatórios puros ou para combinações de ondas e correntes. Os efeitos não estacionários são descritos mediante a interacção do fluxo de sedimentos entre os dois meios ciclos da oscilação sucessivos. As assimetrias do escoamento são incluídas no modelo usando factores de fricção diferentes sob a crista e a cava da onda.

4. RESULTADOS

Nesta secção, as taxas de transporte estimadas pelos três modelos práticos de transporte são confrontadas com os resultados experimentais correspondentes às diferentes condições hidrodinâmicas das Series A, B e C, descritos na Secção 2. Na Fig. 3 observa-se que, apesar da diferente génese dos modelos, os resultados experimentais são previstos sensivelmente dentro de um factor de 2, i.e., entre 50 e 200% do transporte medido (linhas a tracejado). Para as ondas sem correntes (Séries A e C) o modelo N06 é o que se ajusta melhor aos resultados experimentais. Segue-se o modelo S06 e, finalmente, o HE06 que sobrestima mais os valores de q_s correspondentes à Série A. As diferenças maiores entre os resultados dos modelos ocorrem para os casos da Série B onde há adição de correntes. Neste caso o modelo N06 subestima os resultados experimentais e os outros dois modelos sobrestimam-nos. O modelo de HE03 é, neste caso, o que ostenta melhor acordo com os dados medidos. Tal facto poderá dever-se ao facto das constantes de calibração terem sido obtidas para condições de campo que contemplavam correntes de fundo.

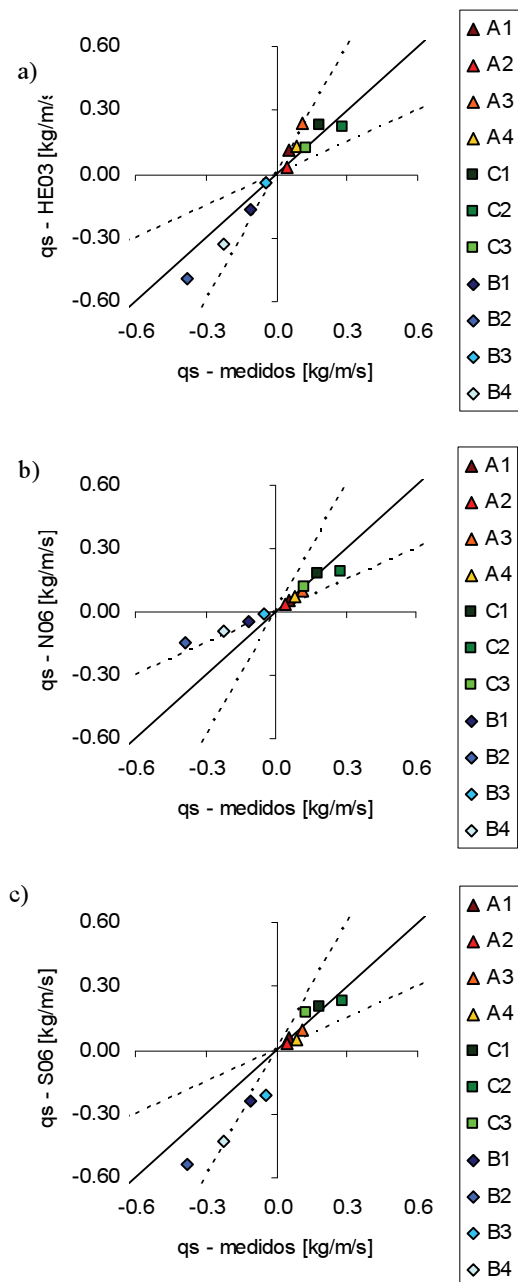


Fig. 3. Comparação dos transportes previstos com os medidos: (a) HE03, (b) N06 e (c) S06.

5. CONCLUSÕES

Com este trabalho pretendeu-se mostrar a importância da forma das ondas no que diz respeito à mobilização e transporte de sedimentos. Para o efeito, apresentaram-se dados de taxas de transporte obtidos no túnel de ondas de *Deltares* para o regime de *sheet flow* (fundo plano). Diversos graus de assimetria da velocidade e da aceleração do escoamento orbital junto ao fundo foram considerados e os resultados obtidos mostram a importância da não-linearidade da onda no que diz respeito ao estudo do trânsito sedimentar.

A fiabilidade de três modelos práticos de transporte é confrontada quanto à acuidade da previsão das taxas de transporte sedimentar. Apesar de se observarem ligeiras discrepâncias nos resultados, os modelos mostram-se relativamente eficazes em prever o transporte para estes tipos de assimetrias.

Agradecimentos

O primeiro autor tem o apoio da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) através de uma bolsa de doutoramento (SFRH/BD/41827/2007). O trabalho foi realizado no âmbito do projecto de I&D “BRISA - BRaking waves Interaction with Sand transport” (PTDC/ECM/67411/2006), financiado pela FCT. Os resultados experimentais apresentados foram obtidos através do projecto de I&D TRANSKEW (“sand TRANsport induced by SKEWed waves and currents”) apoiado pela European Community's Sixth Framework Programme através da Integrated Infrastructure Initiative HYDRALAB III, contrato n.º 022441(RII3).

REFERÊNCIAS

- Abreu, T., Silva, P.A., Sancho, F. e Temperville, A. (2010). Analytical approximate wave form for asymmetric waves. *Coastal Eng.*, 57, 656-667.
- Bailard, J.A. (1981). An energetic total load sediment transport model for a plane sloping beach. *J. Geo. Research*, 86, C11, 10938-54.
- Dibajnia, M., Watanabe, A. (1992). Sheet flow under non-linear waves and currents. *Proc. 23rd Int. Conf. Coastal Eng.*, ASCE, 2015-2028.
- Drake, T.G. e Calantoni, J. (2001). Discrete particle model for sheet flow sediment transport in the nearshore. *J. Geo. Research*, 106, C9, 19859-19868.
- Hoefel, F., Elgar, S. (2003). Wave induced sediment transport and sand bar migration. *Science*, 299, 1855-1887.
- Meyer-Peter, E., Müller, R. (1948). Formulas for bed-load transport. *Proc. 2nd Congress of the Int. Ass. Hydraulic Structures Research*, Stockholm.
- Nielsen, P. (2006). Sheet flow sediment transport under waves with acceleration Skewness and boundary layer streaming, *Coastal Engineering*, 53, 749-758.
- Silva, P.A., Temperville, A., Seabra Santos, F. (2006). Sand transport under combined current and wave conditions: a semi-unsteady, practical model, *Coastal Engineering*, 53, 897-913.
- Silva, P.A., Abreu, T., Van der A, D.A., Sancho, F., Ruessink, B.G., Van der Werf, J.J. e Ribberink, J.S. (2010). Sediment transport in non-linear skewed oscillatory flows: the Transkew experiments, *J. Hydraulic Research*, submetido.

O projecto BRISA – Interacção entre a rebentação das ondas e o transporte de areias

Conceição J. Fortes¹, Paulo A. Silva², Óscar Ferreira³

(1) Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas, Departamento de Hidráulica e Ambiente, LNEC
Av. do Brasil, 101, 1700 066 Lisboa, Tel. +351 21 844 3912, Fax. 351 21 844 3019
E mail: jfortes@lnec.pt

(2) CESAM & Departamento de Física da Universidade de Aveiro, Campus Universitário de Santiago,
3810-193, Aveiro, psilva@ua.pt

(3) CIMA, Universidade do Algarve, Edifício 7, Campus de Gambelas, 8005-139, Faro, offerreir@ualg.pt

Resumo: Nesta comunicação descreve-se o projecto BRISA (Interacção entre a rebentação das ondas e o transporte de areias) que tem por objectivo contribuir para a compreensão e modelação numérica dos fenómenos de rebentação das ondas e do transporte de sedimentos em zonas costeiras. Para este efeito, o projecto envolve a modelação numérica, a modelação experimental e a recolha de dados de campo quer no que se relaciona com a hidrodinâmica da rebentação das ondas quer no transporte de sedimentos.

Palavras-chave: Rebentação, Transporte de sedimentos, Modelação física e numérica, Campanhas de campo

1. INTRODUÇÃO

A caracterização da zona de rebentação é essencial em estudos de hidrodinâmica costeira e de transporte de sedimentos. A localização e a extensão da rebentação são dois dos principais parâmetros a estabelecer porque determinam o balanço sedimentar e a estabilidade das estruturas costeiras. Nesse sentido, o projecto BRISA tem por objectivo contribuir para a compreensão e modelação numérica dos fenómenos de rebentação das ondas e do transporte de sedimentos em zonas costeiras tendo por base o uso de dados de campo e a validação de modelos de previsão (Figura 1).

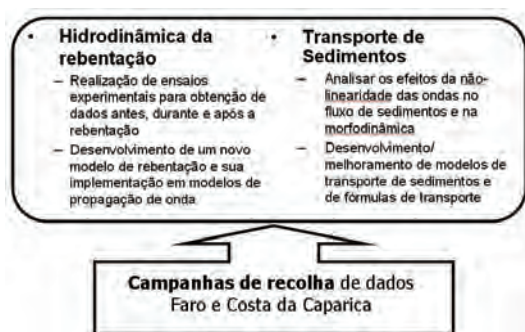


Figura 1 – Organograma representativo dos objectivos e da interacção entre obtenção de dados e modelação no decurso do Projecto BRISA.

No âmbito da hidrodinâmica da rebentação, os objectivos são: a) análise da rebentação em perfis de fundo complexos, como é o caso de perfis do tipo barra-fossa, através de um estudo experimental com obtenção de dados antes, durante e após a rebentação; b) desenvolvimento de um novo modelo numérico de rebentação e sua utilização em modelos de propagação de ondas, efectuando a sua validação.

No âmbito do transporte de sedimentos, o objectivo é a análise dos efeitos da não-linearidade das ondas no fluxo de sedimentos e na morfodinâmica bem como o melhoramento de modelos de transporte de sedimentos.

O projecto engloba, ainda, a recolha de dados *in situ*, mais concretamente, nas praias de Faro e da Costa da Caparica. As campanhas de campo fornecem um conjunto de dados essenciais ao conhecimento da dinâmica da rebentação e ao transporte de sedimentos associado através de medições simultâneas de velocidades das correntes, de pressão, do transporte sedimentar e da batimetria/topografia em diferentes zonas das praias. O projecto está estruturado em diferentes tarefas, sendo as principais: a) Ensaios experimentais em canal; b) Modelação numérica da rebentação e do transporte de sedimentos; c) Medições em campo.

Nesta comunicação descrevem-se as metodologias e actividades desenvolvidas nas diferentes tarefas do projecto BRISA, referindo-se alguns dos resultados até agora alcançados.

2. ENSAIOS EXPERIMENTAIS

A hidrodinâmica na zona após a rebentação é um aspecto pouco estudado, principalmente para perfis de fundo complexos, tais como o perfil barra-fossa, em que existe uma primeira rebentação e, posteriormente, uma reformação da onda.

De forma a contribuir para o conhecimento da hidrodinâmica na zona após a rebentação, têm vindo a ser realizados um conjunto de ensaios em canal, para diferentes perfis de fundo e diferentes condições de agitação incidente (Figura 2).

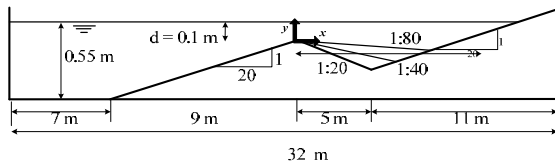


Figura 2 - Perfil do fundo do canal de ensaios experimentais.

O objectivo destes ensaios é a medição da elevação da superfície livre e de velocidades desde a ocorrência da rebentação até ao seu final. Assim, sobre um fundo constituído por três rampas de inclinação de 1:20, 1:40 e 1:80 foram ensaiados 4 períodos de onda regular ($T=1.1, 1.5, 2.0$ e 2.5 s) com 4 diferentes alturas ($H=8, 10, 15$ e 20 cm). Para cada ensaio, determinam-se as localizações de início e fim da rebentação e efectua-se a medição ao longo do canal das elevações da superfície livre e das velocidades, incluindo a medição do perfil de velocidades na vertical. Estes valores permitem o cálculo da celeridade da onda, dos valores da altura de onda e da velocidade orbital. A título de exemplo, apresentam-se na Figura 3 os valores da altura da onda obtidos para um declive de 1:20 e para $T=1.5$ s e $H= 8, 10, 15$ e 20 cm.

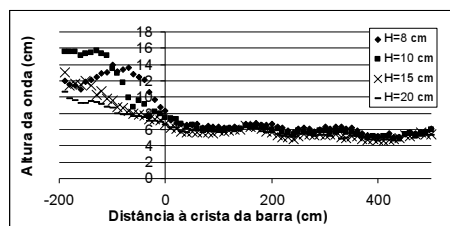


Figura 3 - Variação da altura de onda ($T=1.5$ s, $H=8, 10, 15$ e 20 cm).

Para além de constituírem um conjunto excelente de resultados experimentais para a validação de modelos numéricos, estes ensaios têm por objectivo final o cálculo de um índice de rebentação introduzido por Utku (1999) baseado no conceito do Relative Trough Froude Number (RTFN) que se relaciona com o conceito do ressalto hidráulico móvel. Este índice poderá diminuir o empirismo associado aos modelos de rebentação existentes e é dado por:

$$RTFN = \frac{C_{crista} - u_{cava}}{C_{crista}} \quad (1)$$

em que C_{crista} é a celeridade na crista e u_{cava} a velocidade na cava.

A partir dos dados experimentais obtidos foi já possível estabelecer os valores do índice de rebentação no início, durante e fim da rebentação, cujo exemplo se apresenta na Figura 4. À data, está em desenvolvimento o modelo de rebentação de ondas baseado neste índice o qual será incluído num modelo de propagação de ondas de resolução de fase.

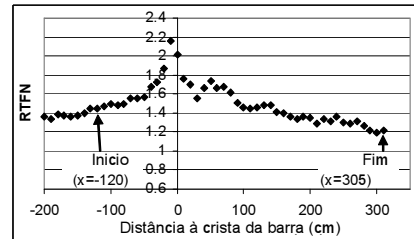


Figura 4 - Evolução de RTFN durante a rebentação ($T=2.0$ s, $H=8$ cm, declive 1:40).

3. MODELAÇÃO NUMÉRICA

A componente de modelação numérica pode ser dividida em duas partes:

Rebentação das ondas

- Calibração e validação dos modelos de propagação de ondas com medições obtidas no canal de ondas e em campo;
- Melhoramento dos modelos de propagação de ondas na simulação da rebentação, incluindo o desenvolvimento de um modelo de rebentação e a sua inclusão em modelos de propagação de resolução de fase ou de média em fase.

Transporte de sedimentos

- Análise dos efeitos da não-linearidade das ondas no fluxo de sedimentos e na morfodinâmica;
- Melhoramento/desenvolvimento de modelos de transporte de sedimentos, através da análise dos efeitos da assimetria da onda no transporte transversal de sedimentos (cross-shore).

3.1 Rebentação das ondas

Usualmente os modelos numéricos de propagação de ondas incluindo a rebentação, efectuem a simulação da rebentação, recorrendo a parâmetros que têm que ser ajustados sem qualquer base teórica ou experimental para as diferentes condições de agitação incidente e de batimetria.

O trabalho desenvolvido nesta componente consistiu essencialmente na utilização de dados obtidos nos ensaios experimentais em canal (Secção 2) para efectuar uma análise de sensibilidade à variação desses parâmetros em cada um dos modelos numéricos testados e avaliar as potencialidades e limitações desses modelos. Utilizaram-se os modelos FUNWAVE (Kennedy et al. 2000), COULWAVE (Lynett e Liu, 2004), ambos baseados em equações do tipo Boussinesq e COBRAS-UC (Lara et al., 2006), baseado na equação de Navier-Stokes (RANS). Em seguida, descreve-se apenas para o modelo COULWAVE o trabalho desenvolvido e a sua comparação com o modelo COBRAS-UC. Note-se que o modelo COBRAS-UC apresenta grandes vantagens face ao modelo COULWAVE nos estudos do escoamento sobre fundo de profundidade variável ou de interacção ondas-estrutura. Mas, como se trata de um modelo unidimensional, enquanto o COULWAVE é

bidimensional em planta, aliado ao elevado tempo de cálculo e esforço computacional a que está associado quando comparado com o modelo COULWAVE, restringe a sua aplicação genérica.

Para o modelo COULWAVE, analisaram-se os parâmetros directamente relacionados com a formulação da rebentação e efectuou-se um teste de sensibilidade à variação destes de modo a avaliar a sua influência nos resultados numéricos. A análise de sensibilidade foi efectuada aos parâmetros $\zeta_t^{(I)}$ e $\zeta_t^{(F)}$, T^b e δ que estão relacionados com o início, fim e duração da rebentação e o factor de amplificação, respectivamente. Assim, para a configuração de fundo da Figura 2, efectuaram-se cálculos numéricos com o modelo COULWAVE, para condições de onda incidentes correspondentes a $T=1.5$ s, 2.0 s e 2.5 s com $H=8$ cm e 15 cm.

A título de exemplo, apresentam-se na Figura 5 os valores experimentais e os resultados numéricos de altura de onda, obtidos para a gama de valores de $\zeta_t^{(I)}$ indicados. Verificou-se que o modelo é sensível aos parâmetros $\zeta_t^{(I)}$, $\zeta_t^{(F)}$ e T^b e que deles depende a correcta previsão dos valores de altura significativa. O valor de δ não afecta os resultados numéricos.

A análise comparativa entre os resultados do COULWAVE e do COBRAS-UC em termos da componente horizontal u da velocidade orbital, como é apresentado na

Figura 6, confirma que ambos os modelos simulam adequadamente a maioria das transformações das características das ondas ao longo da sua propagação. Porém, o modelo COBRAS-UC reproduz mais adequadamente as características da série temporal de u .

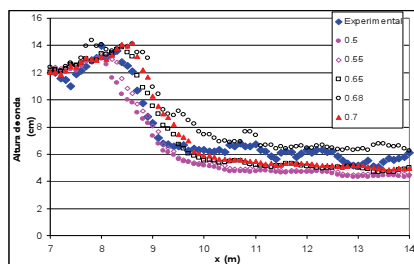


Figura 5 - Variação de $\zeta_t^{(I)}$. Altura de onda para onda incidente de $T=1.5$ s, $H=8$ cm. Declive 1:20.

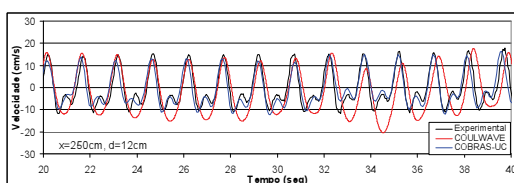


Figura 6 – Componente horizontal u da velocidade orbital para $x=250$ cm e à profundidade de 12 cm. Resultados numéricos e experimentais.

3.2 Características da ondulação e transporte de sedimentos

As assimetrias da velocidade orbital da onda antes e na zona de rebentação desempenham um papel preponderante no transporte de sedimentos transversal (cross-shore). Esta relação não é ainda bem conhecida e o conjunto de dados experimentais disponível para o seu estudo é escasso.

O trabalho desenvolvido consistiu em avaliar a distribuição espacial de diferentes momentos estatísticos da velocidade e da aceleração do escoamento relacionados com a assimetria da velocidade para perfis de praia do tipo barra-fossa (Abreu et al., 2007), desenvolver uma formulação empírica que aproxima com bom grau de precisão as características não lineares da velocidade orbital da onda junto ao fundo (como exemplo, na Figura 7 comparam-se os valores da velocidade observados e simulados num ponto do perfil de praia de Duck, Abreu et al., 2010) e estudar com base num conjunto de dados experimentais obtidos no projecto TRANSKEW a importância da assimetria da onda no transporte sedimentar (Silva et al., *submetido*).

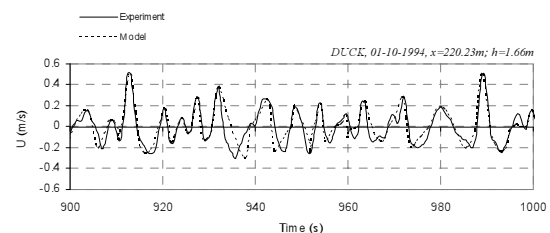


Figura 7 – Série temporal da velocidade orbital observada e simulada (Abreu et al., 2010).

As metodologias desenvolvidas estão a ser aplicadas ao conjunto de dados de campo obtidos nas campanhas do projecto (Faro e Costa da Caparica).

4. CAMPANHAS DE CAMPO

O objectivo das campanhas de campo é a recolha de dados *in situ* com vista ao conhecimento da dinâmica da rebentação e do transporte de sedimentos na praia. Mais concretamente, pretende-se:

- Determinar a agitação marítima local, através da medição da elevação da superfície livre em diversos pontos, ao longo do perfil de praia na zona de rebentação;
- Medir as variações morfológicas (transversais e longitudinais) e estimar o transporte sedimentar transversal;
- Caracterizar o campo de correntes litorais;
- Fazer o cruzamento de dados de correntes com dados do transporte de sedimentos (com armadilhas de sedimentos) e variações morfológicas (com levantamentos topográficos e com um sistema de sensores de pressão), de forma a caracterizar o

transporte de sedimentos.

Neste âmbito, foram efectuadas duas campanhas: uma na Praia de Faro, Faro, entre 25 e 26 de Março de 2009 e outra na praia da Saúde, Costa da Caparica, entre 12 e 15 de Maio de 2010, envolvendo diversa instrumentação, tal como transdutores de pressão, correntómetros electromagnéticos (ECM), Acoustic Doppler Velocimeter (ADV), Optical Backscatters (OBS), armadilhas de sedimentos e DGPS.

Os dados obtidos consistem em medições simultâneas de elevação da superfície livre, velocidades de corrente, variações de pressão e concentração de sedimentos em transporte na coluna de água, para diferentes pontos ao longo de 2 (Praia de Faro; Figura 8) ou 1 (Praia da Saúde) perfis de praia localizados na zona de rebentação. Efectuou-se também a medição da elevação da superfície livre ao largo, na batimétrica dos 11 m, bem como a recolha de sedimentos em todos os locais com equipamento, ao longo dos perfis.

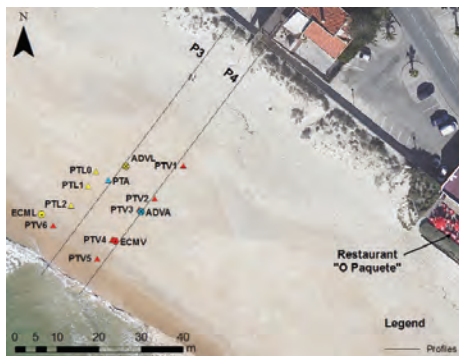


Figura 8 – Localização da instrumentação utilizada ao longo de dois perfis na praia de Faro.

Os levantamentos morfológicos foram efectuados recorrendo a um sistema RTK-DGPS e a uma eco-sonda. As variações da topografia na praia foram também estimadas através de uma técnica inovadora que recorre às fibras ópticas acopladas a sensores de pressão instalados no subsolo (Ferreira, 2009).

A análise de todos os dados está neste momento a ser efectuada, incluindo a sua incorporação na validação dos modelos atrás descritos.

5. CONCLUSÃO

O projecto BRISA envolve uma componente experimental de recolha de dados de hidrodinâmica da rebentação das ondas e de transporte de sedimentos num canal de ondas e em duas praias e uma componente de modelação numérica.

Neste artigo apresentaram-se os principais objectivos, tarefas e trabalho desenvolvido até ao momento no âmbito do projecto BRISA.

Dos resultados obtidos salienta-se: a) o vasto conjunto de dados adquiridos através de ensaios em modelo físico em canal e nas duas campanhas de

campo; b) a avaliação do desempenho de modelos numéricos e sua calibração, utilizando dados experimentais, bem como a determinação do RTFN que servirá de base ao novo modelo de rebentação; c) o desenvolvimento inovador de sensores de pressão em fibra óptica para medição da variação da batimetria/topografia da praia; d) a contribuição para o conhecimento dos mecanismos que determinam o transporte de areias em ondas assimétricas.

O trabalho futuro passa pelo desenvolvimento do novo modelo de rebentação com base no conceito RTFN, implementação no modelo COULWAVE e validação com os dados de campo e em canal, assim como aplicar e desenvolver formulações para o cálculo do transporte sedimentar ao conjunto de dados de campo obtidos e avaliar o seu desempenho mediante a comparação com os levantamentos topográficos e batimétricos.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos elementos que colaboram no projecto. Agradecem ainda o financiamento da FCT através do projecto PTDC/ECM/73145/2006.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, T., Sancho, F., Silva, P. (2007). Parametrização de assimetrias da velocidade e da aceleração de ondas em praias com barra, PIANCO7 - 5as JPECP, CD-ROM.
- Abreu, T., Silva, P.A., Sancho, F., Temperville, A. (2010). Analytical approximate wave form for asymmetric waves. *Coastal Eng.*, 57, 656-667.
- Ferreira, L. (2009). Monitorization of bed level changes using optical fiber sensors, Tese de Mestrado em Eng. Física da Universidade de Aveiro
- Kennedy, A.B., Q. Chen, J.T. Kirby, and Dalrymple, R.A. (2000). Boussinesq Modeling of Wave Transformation, Breaking and Runup I: 1D. *J. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, Vol. 126, No. 1, pp. 39-47.
- Lara, J.L., Garcia, N. and Losada, I.J. (2006). RANS modelling applied to random wave interaction with submerged porous structures. *Coastal Engineering*, 53, pp. 395-417.
- Lynett, P., Liu PL-F. (2004). Modelling wave generation, evolution and interaction with Depth-Integrated, Dispersive Wave equations. COULWAVE Code Manual. Cornell Univ. Long Inter. Wave Modelling Package.
- Silva, P.A., Abreu, T., Van der A, D., Sancho, F., Ruessink, G.B., Van der Werf, J., Ribberink, J.S. Sediment transport in non-linear skewed oscillatory flows: the Transkew experiments, *J. Hydraulic Research* (submetido).
- Utku, M. (1999). The Relative Trough Froude Number: A New Wave Breaking Criteria', Ph.D. Dissertation, Dept. Civil and Environmental

Evaluation of suspended sediment in a fetch limited beach using optical backscatter sensors: particle size effects

M. Ribeiro (1), J. Cascalho (2), R. Taborda (3), A. Oliveira (1), P. Freire (4), A. Rodrigues (1)

(1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 49, 1249-093 Lisboa. monica.ribeiro@hidrografico.pt

(2) Centro de Geologia da FCUL, Campo Grande, 1749-016 Lisboa e Museu Nacional de História Natural (UL), 1250-102 Lisboa.

(3) FCUL, LATTEX, IDL, Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisboa.

(4) Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal.

Abstract: This study addresses to the evaluation of the suspended sediment concentration in a fetch limited beach (Alfeite Beach) using optical backscatter sensors (OBS) appraising, simultaneously, sensor response to the physical characteristics of suspended particles. In order to achieve these objectives two OBS sensors, deployed at the intertidal zone of Alfeite Beach, measured sediment concentration during a tidal cycle. Sensor output was calibrated with local bottom and suspended sediments (collected with Niskin bottles). Results show that concentration of suspended sediments is highly dependent on particle size and put in evidence the importance of sensor calibration using real suspended sediments samples.

Key words: OBS, suspended sediment, particle size.

1. INTRODUCTION

The sediment transport quantification is a key factor in the understanding of the coastal zone dynamics. Presently, the suspended sediment concentration is evaluated using indirect methods, including optical and acoustic sensors. In the surf zone the bubble effects influence the reliability of the acoustic sensors being the optical sensors the most effective tool under breaking conditions.

Optical backscatter sensors (OBS) emit a beam of light in the water column and photodetectors in the sensor convert the light scattered from the suspended particles to photocurrent. The amount of photocurrent depends mainly on the illuminated area of the particles, and because particle volume is proportional to area, the photocurrent provides an indirect estimate of suspended sediment concentration. The relationship between OBS signal and sediment concentration is almost linear for many suspended sediments. However, many other factors can influence OBS measurements, such as particle size, shape and composition, as well as environmental characteristics (Downing, 2006). For this reason it is necessary to calibrate the sensor output with sediment collected from the study site. In most cases, calibration is carried out with the bottom sediment. However, generally suspended sediment characteristics differ from bottom ones, introducing errors in concentrations estimates. The purpose of this work is to evaluate the influence of particle size in suspended sediment concentration estimation. This objective was pursued using OBS and sediment data recorded at Alfeite beach. This fetch limited estuarine beach, located at Alfeite sand

spit extends for about 2.6 km (fig. 1), is characterized by a narrow and steep foreshore with a slope of 0.10 and a broad sub-horizontal low-tide terrace. This beach is characterized by a low energy, locally generated, wave regime with mean wave height of 0.11 m and median grain size diameter of 0.21ϕ (Freire *et al.*, 2007).



Fig. 1. Alfeite beach location.

2. METHODS

Oceanographic, morphological and sedimentological data was acquired during the January, 29th, 2010 field campaign. Two OBSs (T8602 and T8603), an electromagnetic current meter and a pressure transducer were fixed on an “H” iron structure placed at low beach face. OBS data, sampled at 0.1 Hz, as acquired at 21 and 3.5 cm from the bottom, currents, acquired at 10 Hz, at 25 cm and the pressure, at 2 Hz, at 6.5 cm. Six suspended sediment

samples (PA-SS1 to PA-SS6) were collected at the breaking zone (PA-SS1 and PA-SS6 were collected near the OBS sensors while the others were collected at the upper beach face at high tide) with an 8 liters Niskin bottle, 15 cm above the bottom. The six samples collected were studied for the sand fraction. Additionally a representative sediment beach face sample was also collected (PA-FP1). The grain size analyses of all collected sediments were performed at 0.5 ϕ interval by standard sieving method at IH laboratory.

Calibration procedure was performed at LNEC laboratory using an 8 l cylindrical container; sediment was kept in suspension by an electric homogenizer rotating at constant speed. The sensors were placed at a fixed height in a position so that the light beam was not affected by the walls of the container. Six tests were performed: one for each five sand grain size class (from very coarse to very fine sand) and another with the representative beach face sediment (*i.e* a sample that includes all grain size spectrum – total bottom sediment). Tests were performed starting from clean water up to about 50 g/l, using geometrically increasing sediment concentration steps.

3. RESULTS AND DATA ANALYSIS

Calibration results show an excellent linear relationship between OBS output (in mV) and suspended sediment concentration (in g/l) (fig. 2).

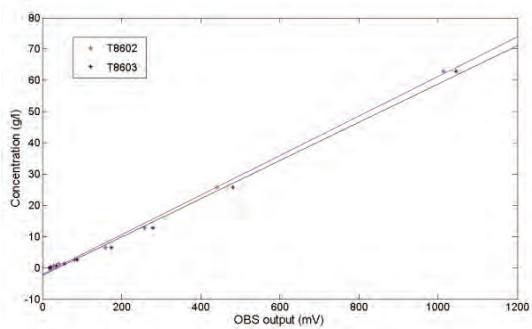


Fig. 2. Relation between OBS output (mV) and sediment concentration (g/l) – tests with total bottom sediment.

The conversion of the OBS output signal to concentration was performed through a linear fit between the data. This relationship can be expressed as:

$$c = SRC \times (V-b) \tag{1}$$

where c is the suspended sediment concentration in g/l, V is the OBS output in mV, SRC is the sensor response coefficient (slope of the regression line between sensor output and measured concentration) and b a coefficient dependent on the sediment background concentration (wash load). For the total bottom sediment the SRC was found to be equal to 0.0062.

Results for each sand fraction show that OBS output is highly sensitive to grain size (fig. 3), with an increasing output for decreasing particle size. Previous work has shown that the sensitivity of the OBS to grain size changes is higher especially for particles 100 μm (3.32 ϕ) or less (Conner and De Visser, 1992) and that change in grain size from medium sands to fine silts may lead to a $\times 100$ increase in instrument response (Bunt *et al.*, 1999).

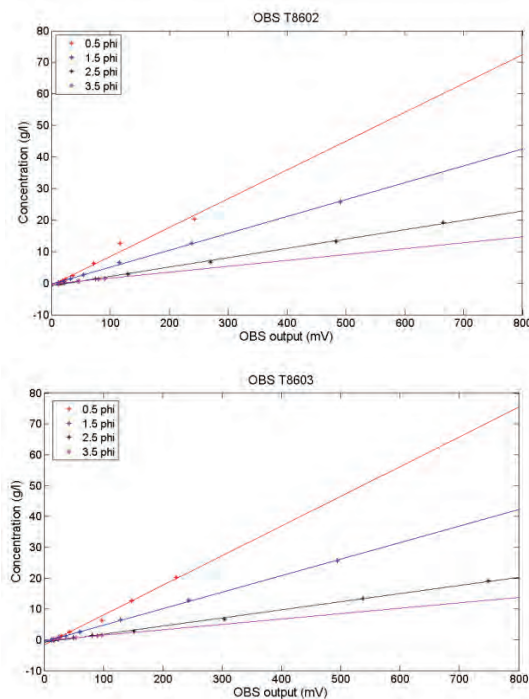


Fig. 3. Relation between OBS output (mV) and sediment concentration (g/l) for both sensors – tests for each sand fraction.

The plot of sensor response coefficient (SRC) against grain size (fig. 4) shows an almost identical response of the two sensors and a non-linear relationship between the two variables.

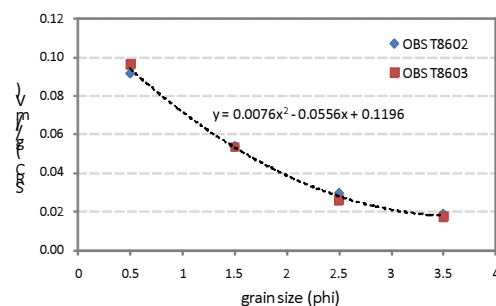


Fig. 4. Relationship between the sensor response coefficient (SRC) and sediment grain size, with a second order polynomial fit superimposed (dashed line).

This non-linear relationship can be expressed as:

$$c = (0.0076d^2 - 0.0556d + 0.1196) \times (V-b) \quad (2)$$

where d is the grain size expressed in ϕ units. The relationship between OBS output, sediment grain size and concentration can be represented in a three dimensional space as shown in fig. 5.

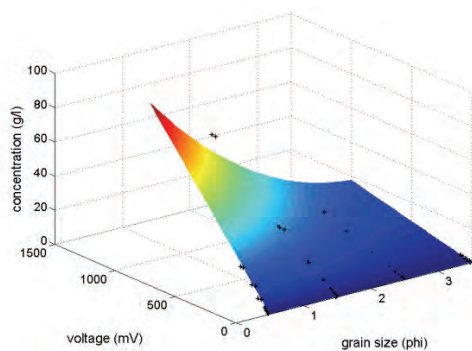


Fig. 5. Relationship between OBS output, sediment grain size and concentration.

The collected suspended sediment samples (PA-SS1 to PA-SS6) have generally a small weight (from 0.063 to 5.011 g), except for sample PA-SS4, which, due to sampling error, is probably representing both bottom and suspended sediment. The analysis of sediment grain size results leads to the following considerations (fig. 6):

- Sand is the textural dominant type for both suspended and bottom sediment;
- Bottom sediment are generally coarser (medium sand) than the suspended ones (fine to very fine sand) with exception of PA-SS2 which almost does not contains particles with diameters between 0.5 and 2.0 ϕ (its should be noted that these results are based on a 0.447 g sample where a few coarse particles can dominated results);
- In general the samples are well sorted.

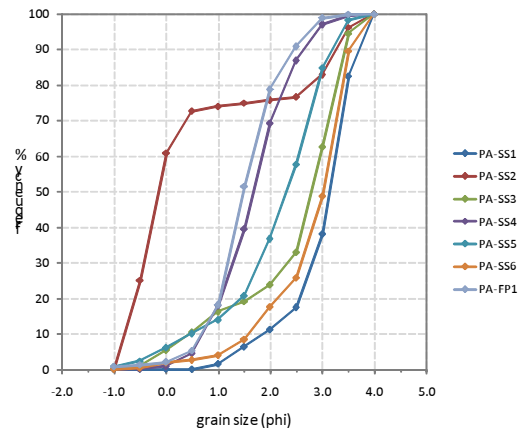


Fig. 6. Grain size distribution of the bottom and suspended sediments.

The results of the calibration procedure were applied to the field results obtained at Alfeite beach. Raw OBS data acquired during the tidal cycle showed a large temporal variability with higher outputs at the start of the measurement period which corresponds to breaking position at sensor location (fig. 7).

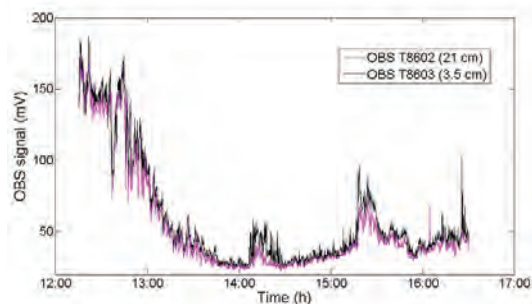


Fig. 7. Time series of raw OBS output signal.

Both sensors display a very coherent signal; as expected, the near bottom sensor shows a larger output than the higher one.

4. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Considering the standard approach, where OBS are calibrated with *in situ* bottom sediments, the application of equation 1 translates OBS voltage output to the sediment concentration time series displayed in fig. 8. These results show that maximum computed concentrations, up to 8 g/l, occur at the beginning of the experiment where the OBSs were directly under the influence of low amplitude wave breaking. Secondary maxima which occur at around 14:15 and 15:30 can be related to low frequency events associated with not only to fetch limited wind waves but also catamaran traffic at Seixal navigation channel. However, suspended sediment data showed that suspended sediment is generally much finer than the bottom one. Considering the modal suspended sediment size collected by the Niskin bottles

(3.25 ϕ) the concentration results are substantially lower than the results obtained using the beach face sediments (1.25 ϕ) (fig. 9) by a factor of about 3. These results put in evidence the importance of knowing the suspended sediment grain size in suspended load computation. Generally the uncertainty of this parameter leads to an overestimation of suspended concentration which increases with the ratio of suspended/bottom grain size sediment. For example, using the calibration equation 2 and considering a system with a grain size similar to the Alfeite beach (1.25 ϕ), the computed concentration overestimation (C_c/R_c) is about 2 for a 2.3 ϕ suspended sediment and can reach about 3.5 for a 3.5 ϕ suspended sediment (fig. 10).

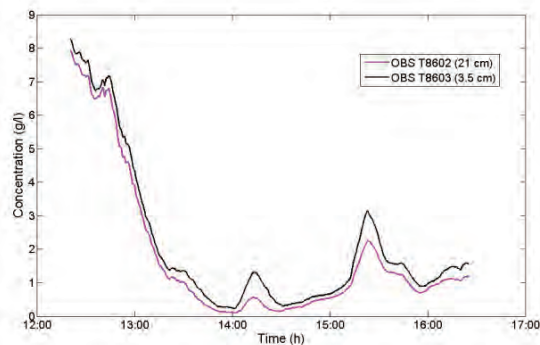


Fig. 8. Time series of sediment concentration computed with equation 1.

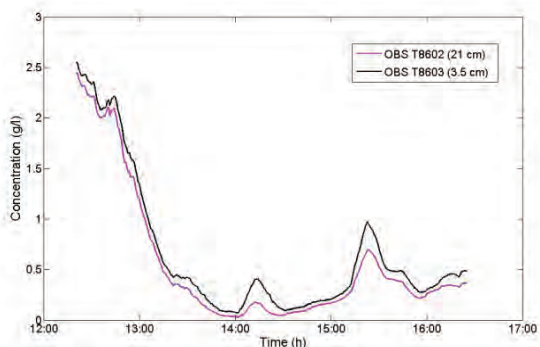


Fig. 9. Time series of sediment concentration computed with equation 2.

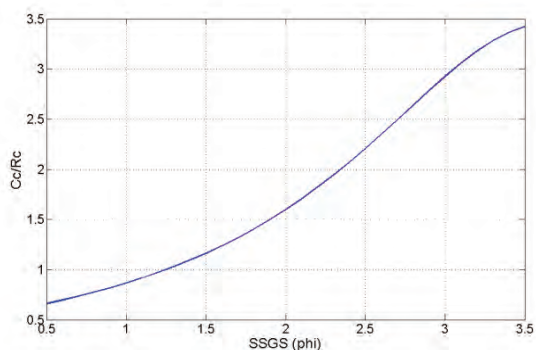


Fig. 10. Ratio between computed concentration (using bottom

1.25 ϕ mean grain size as a function of suspended sediment grain size (SSGS).

Results presented in this work show that the sediment suspension concentration measured by optical devices is highly dependent on particle size and put in evidence the importance of sensor calibration using real suspended sediments.

Acknowledgements

This work is a contribution of the project Beach Sand Code - *Sand beach textural and compositional variability as indicator of sedimentary dynamics* (PTDC/CTE-GEX/64592/2006).

REFERENCES

- Bunt, J., Larcombe, P., Jago, C. (1999). Quantifying the response of optical backscatter devices and transmissometers to variations in suspended particulate matter. *Continental Shelf Research*, 19, 1199-1220.
- Conner, C.S., De Visser, A.M. (1992). A laboratory investigation of particle size effects on an optical backscatterance sensor. *Marine Geology*, 108, 151-159.
- Downing, J. (2006). Twenty-five years with OBS sensors: The good, the bad, and the ugly. *Continental Shelf Research*, 26, 2299-2318.
- Freire, P., Taborda, R., Silva, A.M. (2007). Sedimentary Characterization of Tagus Estuarine Beaches (Portugal). A contribution to the sediment budget assessment. *J Soils Sediments*, 7(5), 296-302.

Avaliação do transporte sedimentar na praia da Praia de Faro a partir da medição de velocidades orbitais

L. Ferreira (1), P. A. Silva (1), T. Abreu (2), F. Sancho (3) e Ó. Ferreira (4)

(1) CESAM & Dep. Física – Universidade de Aveiro, Campus de Santiago, 3810-193 Aveiro, luis.ferreira@ua.pt; psilva@ua.pt

(2) Dep. de Eng. Civil – ESTGV – Instituto Politécnico de Viseu, Campus de Repeses, 3504-510 Viseu. tabreu@dcivil.estv.ipv.pt

(3) Laboratório Nacional de Engenharia Civil – DHA, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, fsancho@lnec.pt

(4) CIMA, Universidade do Algarve, Edifício 7, Campus de Gambelas, 8005-139, Faro, offerreir@ualg.pt

Resumo: No âmbito do projecto BRISA (Interação entre a Rebentação das Ondas e o Transporte de Sedimentos) decorreu uma campanha na Praia de Faro onde foram efectuadas medições da elevação da superfície livre e da velocidade orbital junto ao fundo na zona de espraiamento da onda. Nesta comunicação são apresentados os resultados do processamento desses dados, apresentando-se estimativas dos momentos estatísticos (valor médio, variância e assimetria) que permitem caracterizar o tipo de escoamento oscilatório existente nesse local. Os resultados obtidos são utilizados posteriormente para avaliar o transporte de sedimentos, recorrendo a formulações práticas empregues em modelos de engenharia. Finalmente, confrontam-se as variações topográficas estimadas com as observadas.

Palavras chave: ADV, velocidade orbital, transporte sedimentar, Praia de Faro

1. INTRODUÇÃO

O escoamento na zona de espraiamento da onda numa praia é caracterizado por duas fases distintas: uma de espraiamento (swash) e outra de ressaca (backwash). O transporte de areias nessa zona é intenso e portanto a sua quantificação para o balanço sedimentar deverá ser tida em conta. Recentemente, têm sido propostos na literatura modelos para estimar a taxa de transporte na zona de espraiamento da onda com base em formulações já conhecidas. Masselink e Russel (2006) mostraram que a formulação de Bailard (1981) não descreve correctamente as taxas de transporte observadas. A existência de outros processos, que não quantificados nesta formulação, como, por exemplo, os resultantes da aceleração do escoamento e os associados a processos de infiltração/exfiltração (Masselink e Russel, 2006), poderá estar na origem da intensificação da tensão de atrito junto ao fundo, τ , e da mobilização dos sedimentos na fase de espraiamento. Com base num conjunto de medições directas de τ , Barnes *et al.* (2009) mostraram que os valores de τ durante o espraiamento eram superiores aos obtidos durante a ressaca e reproduziram satisfatoriamente as taxas de transporte com a formulação de Bailard mas considerando diferentes valores para o coeficiente de atrito nas fases de espraiamento e de ressaca. Por outro lado, Austin *et al.* (2009) mostraram que a inclusão de efeitos de aceleração na formulação clássica de Meyer-Peter-Müller (1948) conduz a estimativas razoáveis das taxas de transporte.

No presente trabalho é analisado um conjunto de dados de velocidade medidos com um ADV na zona

de espraiamento da onda. Estes dados foram obtidos durante a 1.^a campanha do projecto BRISA que decorreu na praia da Praia de Faro entre 25 e 28 de Março de 2009. Com base nestes dados, caracteriza-se o escoamento, calculam-se as taxas de transporte de areia e compara-se esta estimativa com valores obtidos a partir de levantamentos topográficos no local.

2. MEDIÇÕES DA VELOCIDADE ORBITAL

2.1 ADV e processamento dos dados

As medições da velocidade orbital na zona de espraiamento, durante a campanha de campo, foram efectuadas com um ADV (*Acoustic Doppler Velocimeter*) Sontek 10MHz. Este instrumento mede as três componentes da velocidade da corrente num volume de controlo que dista cerca de 11cm do transmissor. Os dados foram recolhidos com uma taxa de amostragem de 20 Hz e a velocidade máxima definida foi de 2.5 m/s. A Figura 1 ilustra o ADV, a estrutura e o local onde foi instalado na Praia de Faro.



Fig. 1. ADV, PT (transdutor de pressão) e estrutura de instalação na Praia de Faro

Durante a campanha foram obtidos quatro conjuntos de dados de velocidade medidos com o ADV. Estes dados referem-se sempre a condições de preia-mar e cada conjunto tem uma duração média de 2h45min. Neste trabalho apenas são apresentados e analisados os dados correspondentes à segunda preia-mar, entre as 1h05 e as 4h00 do dia 27 de Março. A agitação marítima medida ao largo, a 11m de profundidade, caracteriza-se, em média, por uma altura significativa de 0.35m e um período médio de 6s. Durante as medições, a distância entre o volume de controlo do ADV e a superfície de areia variou entre 8.5 (valor inicial) e 7.5 cm (valor final).

Na Figura 2 representa-se, a título de exemplo, um registo típico dos valores das componentes horizontais da velocidade orbital medidas para um pequeno intervalo de tempo: U_x refere-se à componente transversal sendo positiva para a costa, e U_y a componente longitudinal. Como o ADV estava instalado na zona de espraio da onda, encontrava-se, alternadamente e por pequenos períodos de tempo, dentro e fora de água. Os valores das velocidades denotam essa periodicidade: quando o volume de controlo do ADV estava fora de água observam-se muitas oscilações nas velocidades medidas; pelo contrário, quando o volume de controlo está imerso, as medições efectuam-se correctamente (os valores correspondentes da velocidade estão indicados a vermelho na Figura 2).

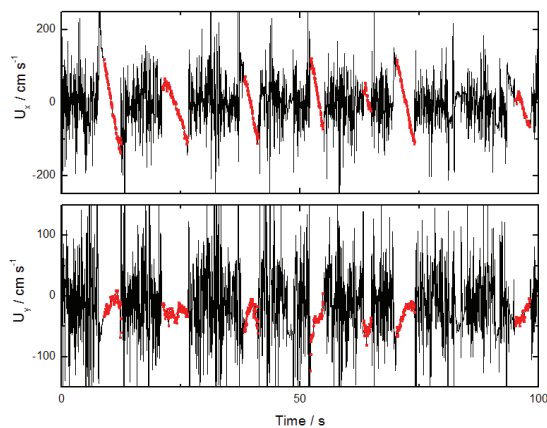


Fig. 2. Exemplo dos valores de U_x e U_y medidos

Desta forma, o conjunto de dados de velocidades medidas é constituído por uma série de pulsos, correspondendo cada um a uma onda. A identificação de cada pulso foi efectuada impondo um valor limite para os valores da razão entre o sinal e o ruído (SNR >30%) e da correlação (>70%), de acordo com o fabricante, e mediante uma análise detalhada das velocidades. Neste processo de identificação das ondas foram igualmente utilizados os registos de um transdutor de pressão que se encontrava instalado na estrutura do ADV (ver Figura 1).

Para cada onda individual identificada foram calculados os valores extremos da componente U_x da velocidade correspondentes às fases de espraio,

U_s , e de ressaca, U_b , os instantes associados a esses extremos, o período da onda (T) e o instante correspondente ao zero descendente, t_0 (ver Figura 3). Com base nestes dados, avaliaram-se os intervalos de tempo t_1 e t_2 , que correspondem, respectivamente, a valores positivos e negativos da velocidade (espraio e ressaca), bem como momentos estatísticos de U_x , nomeadamente a skewness, U_{sk} , e a curtose, U_{ku} :

$$U_{sk} = \frac{\langle U_x^3 \rangle}{\langle U_x^2 \rangle^{1.5}}$$

$$U_{ku} = \frac{\langle U_x^4 \rangle}{\langle U_x^2 \rangle^2}$$

onde $\langle \rangle$ representa uma média no ciclo da onda.

Estes parâmetros possibilitam a quantificação de algumas das características não lineares da componente transversal da velocidade na zona de espraio da onda e são contemplados em alguns modelos práticos de transporte sedimentar.

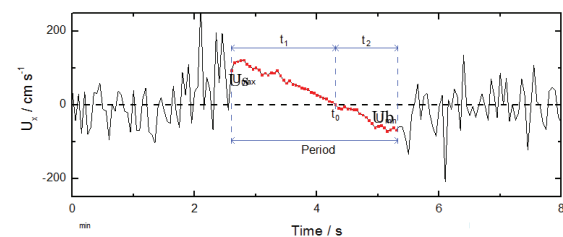


Fig. 3. Definição de parâmetros

O conjunto total das ondas identificadas foi, posteriormente, dividido em 17 subconjuntos de 10min e, para cada um deles, calcularam-se os valores médios e os desvios padrão dos parâmetros mencionados anteriormente

2.2 Resultados

Na Figura 4 apresentam-se os valores da elevação da coluna de água, h , e os valores de U_x correspondentes para um intervalo de 50s do registo.

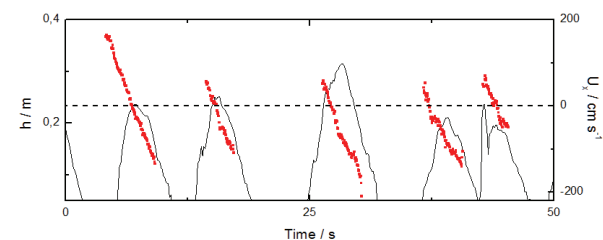


Fig. 4. Valores da profundidade h (a negro) e de U_x (a vermelho; negativo é dirigido para o largo).

A componente U_x apresenta valores positivos no início de cada pulso e valores negativos no seu final, correspondendo, respectivamente às fases de espraio e de ressaca. Observa-se que a componente U_x tem valores máximos em módulo que atingem 2m/s e

que os seus valores extremos positivos e negativos ocorrem, respectivamente, no início do espraio e no final da ressaca. A inversão do escoamento observa-se aquando dos valores máximos da altura da coluna de água. Quanto à componente longitudinal U_y , esta apresentou um valor médio de 0.15 m/s para oeste, decorrente da direcção dominante da ondulação. A Figura 5 representa as médias de 10min dos diferentes parâmetros calculados para todo o registo do ADV correspondente ao ciclo de preia-mar em questão.

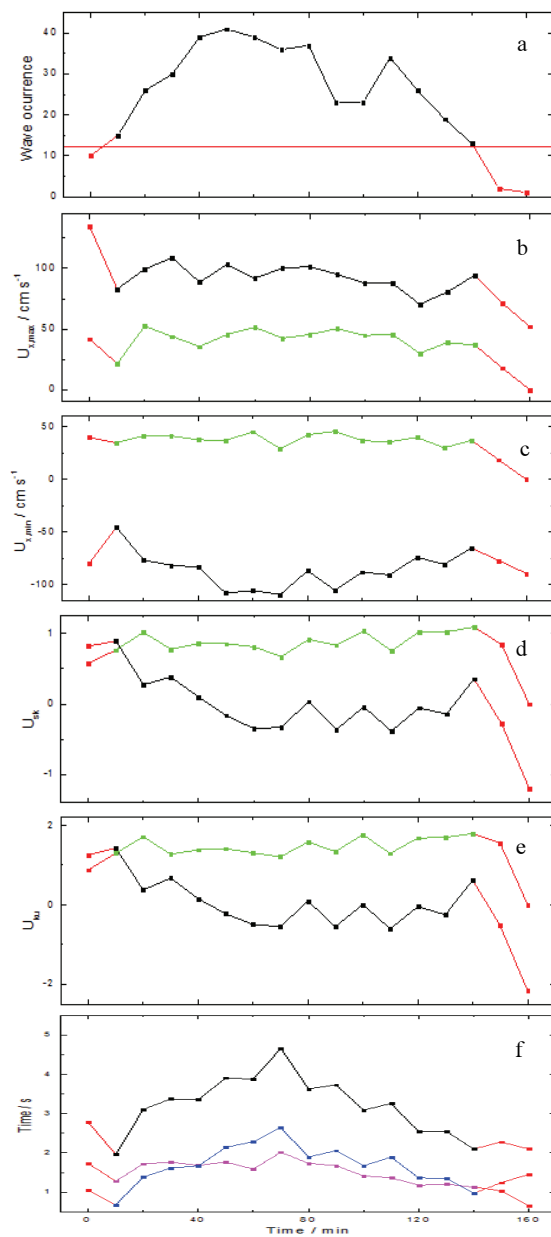


Fig. 5. Número de ondas (a) e valores médios de U_s (b), U_b (c), U_{sk} (d), U_{uk} (e), do período da onda - a negro- e duração dos intervalos t_1 - a rosa- e t_2 - a azul (f) em intervalos de 10min. As linhas a verde representam os valores do desvio padrão.

O painel superior da Figura 5 representa o número de ondas, N , identificadas em cada um dos intervalos de tempo. Os valores de N são superiores na zona central do registo ($N=40$), correspondendo à máxima preia-mar (a profundidade máxima atingida no local foi de 0.3m), e diminuem no início e fim da preia-mar. Para estas fases da maré (linhas e pontos assinalados a vermelho), os valores médios calculados têm pouco significado.

Os valores médios de U_s e U_b variam respectivamente entre 0.75 e 1.00 m/s e 0.50 e 1.10 m/s. Os valores de U_{sk} são predominantemente negativos, mas próximos de 0 entre os 40 e 130min. No início e no fim da preia-mar, verificam-se, naquele local, valores positivos, indicando que é sobretudo para estas fases que se observa uma assimetria (vertical) da velocidade do escoamento transversal. O valor médio do período da onda aproxima-se de 3.4 s, apresentando uma variação ao longo do registo com maiores valores nos instantes correspondentes à altura máxima da praia mar. Verifica-se também que o período t_1 correspondente às velocidades positivas (espraio) tem, em média, uma duração menor do que o tempo t_2 correspondente à ressaca (sobretudo entre 40min e 130min). Aponta-se que os valores de U_s e t_1 são aproximadamente constantes durante este evento de preia-mar, mas, em contrapartida, U_b e t_2 apresentam uma maior variabilidade, com valores menores no início e no fim do ciclo da preia-mar.

3. AVALIAÇÃO DO TRANSPORTE SEDIMENTAR

Na Figura 6 apresentam-se os dados dos levantamentos topográficos efectuados com um sistema RTK DGPS para o perfil de praia onde estava localizado o ADV e nas imediações deste. As duas linhas representadas na Figura 6 referem-se aos levantamentos efectuados antes e após a preia-mar em estudo.

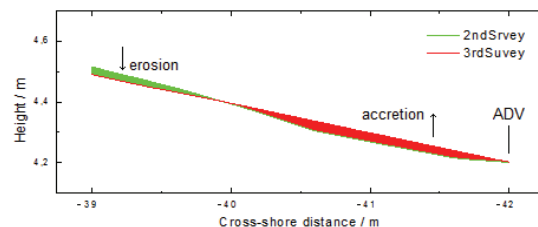


Fig. 6. Dados dos levantamentos topográficos nas imediações do ADV.

As variações do perfil de praia são muito pequenas, observando-se acreção entre $x=-42$ m (local do ADV) e $x=-40$ m e posterior erosão para valores de x inferiores. Assumindo que as variações da topografia observadas entre $x=-39$ e $x=-42$ m devem-se ao escoamento na zona de espraio da onda, estimou-se que a taxa de transporte volumétrica de areia no local do ADV durante o período total de medição

indicado na Secção 1 é de $+0.03\text{m}^2$ por metro de largura da praia.

As taxas de transporte de areia instantâneas na direcção transversal da praia foram também estimadas com base nas medições da componente U_x do ADV através da formulação de Bailard (1981):

$$q = q_b + q_s = \rho C_f \frac{\varepsilon_b}{\tan \phi} \left[|u|^2 u - \frac{\tan \beta}{\tan \phi} |u|^3 \right] + \rho C_f \frac{\varepsilon_s}{w_s} \left[|u|^2 u - \frac{\varepsilon_s \tan \beta}{w_s} |u|^3 \right]$$

Nesta expressão os índices ‘b’ e ‘s’ referem-se, respectivamente, ao transporte por arrastamento e em suspensão, ρ é a massa volumica da água, C_f representa o coeficiente de atrito, w_s é a velocidade de queda das partículas de areia ($w_s=0.05 \text{ m s}^{-1}$), ε é um factor de eficiência ($\varepsilon_b=0.135$; $\varepsilon_s=0.015$), $\tan \phi=0.63$, e $\tan \beta$ é o declive do fundo ($=0.10$ para o local do ADV). De acordo com Barnes et al. (2009), na zona de espraio da onda o valor do coeficiente de atrito correspondente ao espraio é superior ao correspondente à ressaca. Desta forma, reproduz-se indirectamente o aumento da tensão de atrito junto ao fundo no espraio associado a diferentes processos (aceleração do escoamento, efeitos de infiltração e exfiltração e ressalto hidráulico). Neste trabalho consideraram-se os valores de C_f de 0.015 para o espraio e de 0.009 para a ressaca (Barnes et al., 2009). A Figura 7 mostra, como exemplo, os valores da taxa de transporte de areia calculados para uma onda identificada no registo.

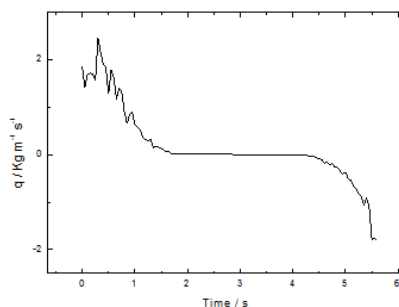


Fig. 7. Taxa de transporte de areia calculada pela formulação de Bailard para uma onda do registo (positivo indica transporte para terra).

Mediante a integração das taxas de transporte calculadas para todas as ondas identificadas no registo foi calculada a taxa de transporte volumétrica média na direcção transversal à praia no local onde estava localizado o ADV, tendo-se obtido o valor de $+0.05\text{m}^2$ por metro de largura da praia. Este valor corresponderá a uma acreção de cerca de 4.5 cm de areia em 3m de extensão desde o local do ADV para terra.

4. CONCLUSÕES

As características do escoamento na zona de espraio da onda na praia da Praia de Faro foram estabelecidas com base num conjunto de medições de velocidade obtidas com um ADV. Verificou-se que a assimetria da componente da velocidade transversal à praia, quantificada em termos da skewness da velocidade, apresenta valores positivos apenas no início e fim da preia-mar naquele local.

Os levantamentos topográficos efectuados mostraram, de acordo com a fraca ondulação que se fez sentir, pequenas variações da topografia. Com base nestes dados estimou-se uma pequena taxa de transporte positiva (para terra) no local do ADV.

Os valores das taxas de transporte de areia na direcção transversal da praia foram também calculados com base nos dados do ADV através da formulação de Bailard e considerando diferentes coeficientes de atrito para as fases de espraio e de ressaca. A comparação dos valores obtidos com as taxas de transporte volumétrico estimadas a partir dos levantamentos topográficos mostra que a metodologia adoptada conduz a resultados satisfatórios. Contudo, dado que as variações da topografia da praia foram muito pequenas, os erros associados aos levantamentos topográficos, da ordem de alguns cm podem influenciar os resultados obtidos.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado no âmbito do projecto “BRISA - BReaking waves Interaction with SAnd transport” - PTDC/ECM/67411/2006, financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT). O terceiro autor tem apoio da FCT através de uma bolsa de doutoramento - SFRH/BD/41827/2007.

REFERÊNCIAS

- Austin, M. et al. (2009). Onshore sediment transport on a sandy beach under varied wave conditions: flow velocity skewness, wave asymmetry or bed ventilation? *Marine Geology*, 259, 86-101.
- Bailard, J.A. (1981). An energetic total load sediment transport model for a plane sloping beach. *Journal of Geophysical Research*, 86, C11, 10938-54.
- Barnes, M.P. et al. (2009). Direct bed shear stress measurements in bore-driven swash. *Coastal Engineering*, 56, 853-867.
- Masselink, G. e Russel, P. (2006). Flow velocities, sediment transport and morphological change in the swash zone of two contrasting beaches. *Marine Geology*, 227, 227-240.
- Meyer-Peter, E. e Müller, R. (1948). Formulas for bed-load transport. *Proc. 2nd Congress of the Int. Ass. Hydraulic Structures Research*, Stockholm.

Variações morfológicas de face de praia em condições de baixa energia

M. Bezerra, Ó. Ferreira e M. Vousdoukas

CIMA, Universidade do Algarve, Edifício 7, Campus de Gambelas, 8005-139, Faro, mbezerra@ualg.pt

Resumo: Este estudo pretende contribuir para o conhecimento da morfodinâmica na zona de rebentação da Praia de Faro, em condições de baixa energia, incluindo a análise de parâmetros de agitação e de velocidade de correntes, e as suas interações no transporte de sedimentos. Para atingir este objectivo foram utilizados dados de um transdutor de pressão (PT) e de um correntómetro electromagnético (ECM) para analisar, respectivamente, as variações de altura e período significativo das ondas (H_s e $T_{1/3}$) e de velocidade de corrente transversal. Foram ainda utilizados dados de levantamentos topográficos ao longo do perfil coincidente com o local de instalação do ECM, a partir dos quais se calcularam variações volumétricas. As variações volumétricas observadas em condições de baixa energia foram genericamente pequenas (dentro do erro de estimativa), apenas existindo transporte significativo para terra, em condições de agitação de SW com $H_s > 0.5$ m com velocidades médias associadas de 0.5 m/s para terra.

Palavras-chave: Ondas; Correntes; Volume; Sedimentos.

1. INTRODUÇÃO

A adequada caracterização da área de rebentação das ondas é de elevada importância para o estudo da hidrodinâmica e do transporte de sedimentos em zonas costeiras. A rebentação e o espraio das ondas são os principais responsáveis pelas alterações morfodinâmicas das praias. Em situações de baixa energia, onde a rebentação se efectua directamente sobre a praia, essas alterações estão normalmente confinadas à face da praia.

O principal objectivo deste trabalho passa pelo conhecimento da interacção entre condições de agitação e de correntes, e a sua relação com alterações morfológicas do perfil de praia, em condições de baixa energia. O trabalho pretende, ainda, definir condições de agitação a partir das quais se pode observar transporte responsável por alterações morfológicas do perfil, acima da resolução do método de observação.

Para atingir o objectivo do trabalho foi efectuada uma campanha de campo na Praia de Faro (Península do Ancão; Fig. 1). Foram recolhidos dados de pressão e de velocidade de correntes, através de transdutores de pressão e de correntómetros e foram, também, efectuados levantamentos topográficos da área de estudo para determinar a evolução do perfil de praia durante a campanha.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é a Praia de Faro (Península do Ancão) localizada no sistema de ilhas barreira da Ria Formosa, no sul de Portugal (Fig. 1). A Península do Ancão corresponde à extremidade poente do sistema e o seu comprimento é variável (de 8.5 a 12.8 km entre 1947 e 2001; Matias *et al.* 2008) devido a variações da posição da barra do Ancão, que migra em direcção a Este a taxas de 40 a 100 m/ano (Vila-Concejo *et al.* 2006). A

península é estreita, variando de 50 a 250 m de largura e as dunas podem ser de uma única crista e atingir 5.5 m acima do nível médio do mar (NMM) (Matias *et al.* 2008).

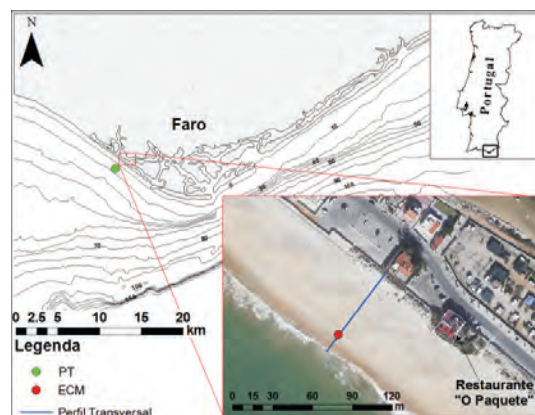


Fig. 1. Localização da área de estudo, do transdutor de pressão (PT), do perfil transversal e do correntómetro electromagnético (ECM) (Ortofoto de 2009).

O regime de maré na área de estudo é semidiurno, em ambiente de meso-maré, com amplitudes médias de 2.8 m, em marés vivas, e de 1.3 m, em marés mortas, podendo ser alcançadas amplitudes de maré máximas de 3.5 m (IH, 1990 e 2005).

O regime de agitação ao largo é dominado por ondas de W-SW (71% de ocorrências) (Costa *et al.* 2001). As ondas de Sudeste (SE) que consistem em ondas de período curto geradas por ventos locais também são frequentes (cerca de 23%) (Costa *et al.* 2001). Verifica-se que em termos médios o valor de altura significativa ao largo é de 1m e o de período de pico é de 8.2 s (Costa *et al.*, 2001). De acordo com Costa *et al.* (2001) são registadas durante 68% do ano alturas significativas inferiores a 1 m. Uma tempestade é definida como um evento com altura significativa (H_s) ao largo igual ou superior a 3 m

(Pessanha e Pires, 1981; Melo, 1989; Capitão, 1992; Carvalho, 1994; Costa, 1994). As alturas significativas das ondas de tempestades de Sudoeste (SW) são superiores às de tempestades de SE (Costa, 1994). As tempestades de SW correspondem a 64% das ocorrências e as de SE a 32% (Costa *et al.* 2001). Uma tempestade de SE de 5 m tem um período de retorno estimado de 50 anos, enquanto uma tempestade de SW de 5.7 m é esperada a cada 5 anos (Pires, 1998). A Península do Ancão está directamente exposta às ondas de W-SW e relativamente protegida das ondas de SE.

3. MÉTODOS

3.1. Ondas e Correntes

Para o registo de dados de ondas e de velocidade de correntes foram instalados equipamentos na Praia de Faro, perto do restaurante “O Pacote” (Fig. 1). À profundidade de 11 m abaixo do NMM foi colocado um transdutor de pressão (PT) (Fig. 1) e na zona da face de praia foi instalado um correntómetro electromagnético (ECM) numa estrutura em H (Fig. 1). Os equipamentos foram georreferenciados através de um sistema RTK-GPS e o tempo sincronizado com o Observatório Astronómico de Lisboa. Os equipamentos começaram a registar às 07:00 do dia 26.03.2009 e a aquisição de dados ocorreu durante cinco ciclos de maré. A campanha terminou às 22:00 do dia 28.03.2009.

Foram determinadas as alturas significativas das ondas (H_s) e o período de onda associado a H_s

($T_{1/3}$), com base nos dados do PT. Neste trabalho serão analisados os dados obtidos entre o 1º e o 2º levantamento topográfico (Topo 1 a Topo 2; Fig. 2) e entre o 5º e o 6º levantamento topográfico (Topo 5 a Topo 6; Fig. 2). Nestes dois períodos de análise existem dados de velocidade de corrente para os intervalos assinalados com linhas a tracejado e identificados pelas letras **A** (26.03.09: \approx 11h-18h; Fig. 2) e **B** (28.03.09: \approx 11h40m-18h40m) na Fig. 2. Foram realizadas médias de cinco em cinco minutos aos valores de saída do ECM. Estes dados foram representados graficamente para os dois intervalos **A** e **B** (Fig. 2).

Para representação gráfica do rumo das ondas durante a campanha foram utilizados os valores de direcção das ondas da bóia ondógrafo de Faro do Instituto Hidrográfico (Fig. 2).

3.2. Levantamentos topográficos

Para a monitorização de alterações morfológicas na área de estudo foram efectuados seis levantamentos topográficos, durante a baixa-mar, através da utilização de um sistema RTK-GPS. Estes perfis foram efectuados na totalidade da praia emersa, até à duna, apenas no 1º levantamento (26.03.09 – 08:11). Posteriormente, apenas foi coberta a zona da face de praia, pois as zonas superiores não foram actuadas pela acção da onda.

Para determinação das variações morfológicas e avaliação do transporte sedimentar entre levantamentos, foram determinados os volumes de acreção e/ou erosão ao longo de um perfil topográfico (perfil do equipamento; Fig. 1).

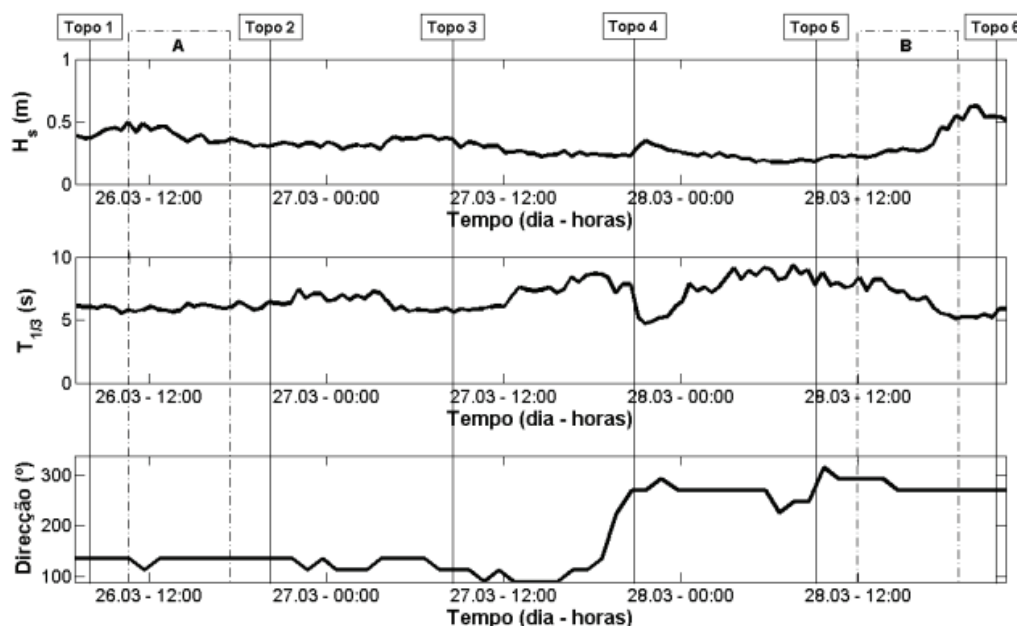


Fig. 2 Representação gráfica da altura significativa das ondas – H_s (m), do período associado à altura significativa – $T_{1/3}$ (s) (dados do PT) e da direcção das ondas (dados do IH) durante a campanha. Identificação dos 6 levantamentos topográficos (Topo 1 a 6) e dos dois intervalos com dados de velocidade de corrente (A – 26.03.09: \approx 11h-18h e B – 28.03.09: \approx 11h40m-18h40m) analisados neste trabalho.

4. RESULTADOS

Segundo a análise dos resultados de Hs e $T_{1/3}$ (Fig. 2), obtidos a partir do PT, observa-se que durante toda a campanha as alturas das ondas foram sempre inferiores a 1 m, verificando-se uma altura máxima de aproximadamente 0.7 m, já no final da campanha, no período coincidente com direcções de onda de SW (Fig. 2). Os valores de $T_{1/3}$ observados rondaram os 5 e 10 s (Fig. 2). Pelo gráfico com a evolução da direcção das ondas nota-se que para os dois primeiros dias a direcção dominante foi de SE passando para SW no final do dia 27 de Março e até ao fim da campanha (Fig. 2). Durante o primeiro período de análise assinalado (entre Topo 1 e Topo2; Fig. 2) os valores de Hs são em média ligeiramente superiores aos do segundo período de análise assinalado (entre Topo 5 e Topo 6; Fig. 2), ainda que os valores máximos sejam maiores no segundo período. Os valores de $T_{1/3}$ são em média superiores no segundo período.

De acordo com os valores médios de cinco em cinco minutos dos dados de velocidade de corrente cross-shore do ECM observa-se que para os períodos A e B as velocidades alcançam entre -0.2 e 0.4 m/s e entre -0.2 a 0.5 m/s, respectivamente (Fig. 3). Em média durante o período A as velocidades são de 0.073 m/s e para o período B são de 0.072 m/s (Fig. 3), indicando transporte para terra (Fig. 2). Os dois picos registados nas velocidades no início e fim dos ciclos de maré reportam-se à acção da rebentação sobre o ECM. A velocidade média em condições de rebentação foi de 0.16 m/s e de 0.34 m/s para o final do ciclo de maré em A e B, respectivamente.

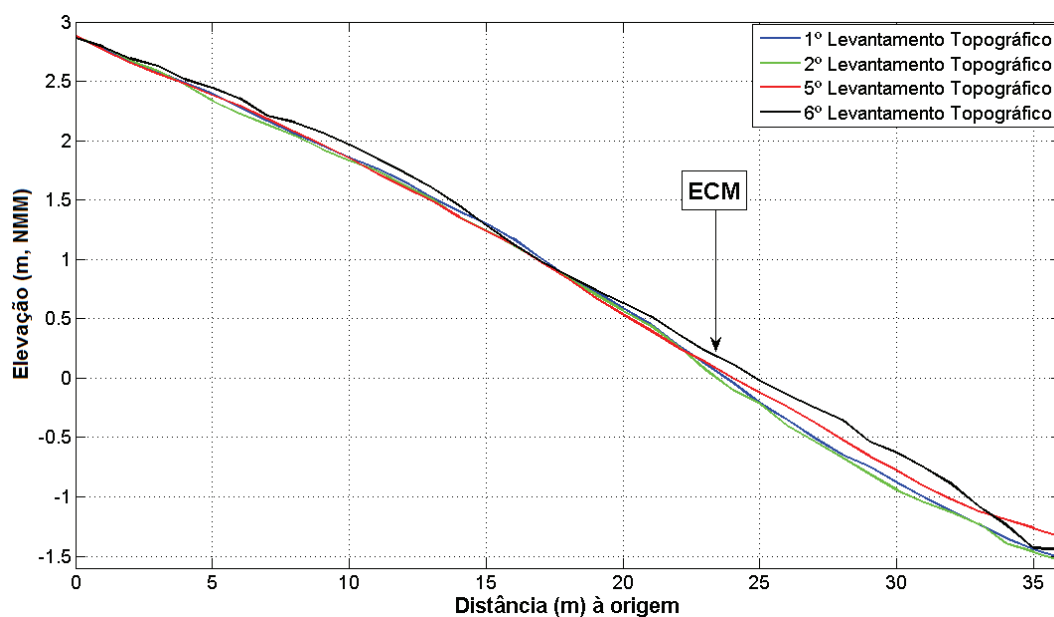


Fig. 4 Variações da face da praia para os quatro levantamentos topográficos analisados e indicação da localização do ECM.

No final do período B, o aumento de velocidade de corrente coincide com um aumento de Hs (Fig. 2).

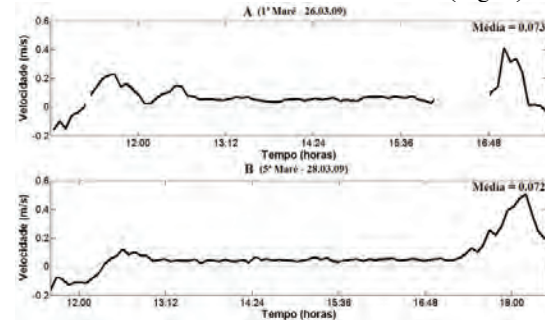


Fig. 3 Média de cinco em cinco minutos da velocidade de corrente cross-shore para os intervalos A e B assinalados na Fig. 1. Há dois intervalos com falta de dados em A que correspondem a períodos em que o ECM não registou.

A comparação dos quatro levantamentos topográficos que correspondem com o início e fim dos dois períodos de análise (entre Topo 1 e Topo2 e entre Topo5 e Topo 6) utilizados neste trabalho, permite verificar pequenas diferenças entre o perfil do 1º e do 2º levantamento, tendo este último valores de cota quase sempre inferiores, mas dentro do erro do método (erosão de 0.94 m³/m; diminuição vertical média de 2,6 cm). São visíveis maiores diferenças entre o 5º e 6º levantamento topográfico, em que para praticamente toda a extensão o 6º levantamento apresenta valores de cota evidentemente mais elevados (acumulação sedimentar de 2.68 m³/m; elevação vertical média de 7,4 cm, com máximos de 15 cm).

No local de instalação do ECM é evidente a pequena diminuição de elevação do 1º para o 2º levantamento e o aumento de elevação do 5º para o 6º levantamento topográfico.

5. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

O transporte de sedimentos foi genericamente reduzido devido às condições de agitação pouco energéticas e às baixas velocidades médias das correntes. Apesar de os valores de velocidade de corrente serem quase sempre positivos, o que indicaria transporte para terra, verifica-se no primeiro período analisado uma ligeira erosão da praia (dentro do erro de análise). A maior variação volumétrica regista-se no último período de análise, na dependência das maiores correntes registadas (Fig. 3, final do dia 28/3), associadas à rebentação em condições de agitação um pouco mais energéticas (Fig. 2, final do dia 28/3). A mudança de direcção de SE para SW, o aumento dos valores de H_s e os maiores períodos associados contribuíram para o transporte sedimentar, com acumulação e reajuste morfológico da face de praia. Tendo apenas por base as condições apresentadas, parece ocorrer transporte *onshore* (acumulação na face de praia e recuperação morfológica) para condições de H_s de SW acima dos 0.5 m (para $T_{1/3}$ entre 5 e 8 s), em associação a correntes médias induzidas da ordem dos 0.5 m/s. Para condições hidrodinâmicas inferiores a praia não parece sofrer reajustes ou variações apreciáveis.

Agradecimentos

Este trabalho foi um contributo para o projecto BRISA (PTDC/ECM/67411/2006), financiado pela FCT. M. Bezerra foi financiada pela FCT através do projecto de investigação DETI (PTDC/MAR/65585/2006). Os autores agradecem a todos os que participaram e ajudaram nos trabalhos de campo.

REFERÊNCIAS

- Capitão, R. J. P. (1992). Valores Extremos da Agitação Marítima – Síntese dos dados temporais ocorridos em Portugal Continental. *Relatório provisório*. LNEC, Departamento de Hidráulica, Núcleo de Portos e Praias, Lisboa, 8 pp.
- Carvalho, M. M. (1994). Valores Extremos da Agitação Marítima – Temporais: Base de dados VALEXT. *Clima de agitação marítima na costa portuguesa*, NATO PO-WAVES Sub-projecto A, Lisboa, 25 pp.
- Costa, M. (1994). Agitação marítima na costa portuguesa. *Anais do Instituto Hidrográfico*, Lisboa, 13, 35-40.
- Costa, M., Silva, R., e Vitorino, J. (2001). Contribuição para o estudo do clima de agitação marítima na costa portuguesa. *Instituto Hidrográfico*, Lisboa, 20 pp.
- Instituto Hidrográfico (1990). Roteiro da Costa de Portugal. *Instituto Hidrográfico*, Lisboa, 41 pp.
- Instituto Hidrográfico (2005). Tabela de Marés - Volume I. Lisboa, 186 pp.
- Matias, A., Ferreira, Ó., Vila-Concejo, A., Garcia, T., e Dias, J.A. (2008). Classification of washover dynamics in barrier islands. *Geomorphology*, 97(3-4), 655-674.
- Melo, J.S. (1989). Caracterização Hidro-Oceanográfica da Ria Formosa. *Anais do Instituto Hidrográfico*, Lisboa, 10, 7-23.
- Pessanha, L.E., e Pires, H.O. (1981). Elementos sobre o clima de agitação marítima na costa sul do Algarve. *Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica*.
- Pires, H.O. (1998). Preliminary Report on the wave climate at Faro - Project INDIA. *Instituto de Meteorologia - Instituto Superior Técnico*, Lisboa, 37 pp.
- Vila-Concejo, A., Matias, A., Pacheco, A., Ferreira, Ó., e Dias, J.A. (2006). Quantification of inlet-related hazards in barrier island systems. An example from the Ria Formosa (Portugal). *Continental Shelf Research*, 26(9), 1045-1060.

Simulação numérica da morfodinâmica de embocaduras

A.B. Fortunato (1), A. Oliveira (1), X. Bertin (2), N. Bruneau (1), A. Nahon (1), M. Guerreiro (1), M. Costa (1), L. Pinto (1)

(1) Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa. afortunato@lneec.pt.

(2) UMR 6250 LIENSS CNRS-Université de La Rochelle, Institut du Littoral et de l'Environnement (ILE), rue Olympe de Gouges, 17 000 La Rochelle, França.

Resumo: A gestão integrada da zona costeira debate-se com grandes problemas relacionados com a dinâmica sedimentar das embocaduras estuarinas e lagunares, associados à sua migração, ao seu fecho ocasional ou frequente e ao seu assoreamento, os quais requerem intervenções humanas. Apesar da óbvia conveniência da capacidade de prever a evolução destes sistemas, a sua modelação numérica está ainda pouco desenvolvida. Durante a última década, o LNEC tem vindo a desenvolver e a aplicar um sistema de modelação para simulação da morfodinâmica costeira forçada pela maré e pela agitação marítima, particularmente vocacionado para embocaduras. A presente comunicação apresenta este sistema e resume a experiência obtida, focando em particular os seguintes aspectos: 1) principais dificuldades numéricas, computacionais e físicas, e limitações associadas; 2) sucessos obtidos, ilustrados através de aplicações seleccionadas; 3) perspectivas de evolução futura na modelação de embocaduras.

Palavras chave: modelação numérica, embocaduras, malhas não estruturadas, interacção ondas-correntes

1. INTRODUÇÃO

Há cerca de uma década foi publicado o primeiro trabalho no qual um modelo numérico baseado em processos simulava com sucesso a evolução morfológica de uma embocadura real (Cayocca, 2001). Na mesma altura, o LNEC iniciou o desenvolvimento de um sistema de modelos de natureza semelhante, denominado MORSYS2D (Fortunato e Oliveira, 2004). Apresenta-se aqui um balanço destes 10 anos de desenvolvimento e perspectiva-se o futuro.

Os modelos numéricos morfodinâmicos são constituídos por vários módulos que simulam os principais processos envolvidos na dinâmica sedimentar, através da resolução de equações de conservação de massa, quantidade de movimento e energia. Em zonas costeiras, consideram-se tipicamente módulos de propagação da agitação marítima, de circulação, de transporte de sedimentos e de actualização de fundos (Fig. 1). Apesar da utilização de cada um destes módulos ser já quase rotineira, o seu acoplamento conduz a um sistema de modelos muito complexo e difícil de utilizar, existindo ainda muito poucas aplicações documentadas na literatura. As dificuldades são particularmente relevantes para a modelação de embocaduras estuarinas, em que os efeitos da agitação marítima e das correntes de maré são ambos importantes.

2. PRINCIPAIS PROBLEMAS

2.1 Aspectos físicos

A utilização de modelos morfodinâmicos envolve dois grandes tipos de dificuldades do ponto de vista físico: 1) a forte não linearidade e

sensibilidade do transporte de sedimentos geram grandes incertezas; 2) alguns processos físicos não são representados adequadamente por limitações computacionais ou do próprio conhecimento existente.

A incerteza deriva em grande parte da grande sensibilidade do transporte sólido a pequenas variações em alguns parâmetros, como o diâmetro do sedimento, a velocidade (Pinto *et al.*, 2006) ou a amplitude de alguns constituintes de maré (Fortunato, 2007). Assim, um pequeno erro nestes factores é amplificado no cálculo dos fluxos de sedimento. Este problema é frequentemente exacerbado pela dificuldade em obter dados batimétricos suficientes para uma calibração e validação detalhada do modelo morfodinâmico. Formas de lidar com esta incerteza estão ainda pouco exploradas, mas podem passar pela utilização de *ensemble simulations* (Fortunato *et al.*, 2009), à semelhança do que é feito em meteorologia.

Os modelos morfodinâmicos não representam correctamente alguns processos físicos relevantes. Por exemplo:

- A representação de correntes variáveis na vertical, como o *undertow*, é imprecisa ou mesmo impossível em modelos 2DH. Estas correntes podem criar barras longitudinais que afectam o canal da embocadura (Fig. 2).
- Para minimizar o custo computacional, utilizam-se tipicamente modelos de ondas integrados no período da onda (*phase-averaged*). Estes modelos não representam fenómenos que ocorrem a escalas temporais inferiores ao período das ondas, como o transporte na zona de esprai. Esta limitação impede a reprodução da formação de bancos de areia emersos em preia-mar, ou a

consolidação de cordões litorais. Com efeito, os modelos permitem reproduzir o crescimento destes cordões, mas a cota de coroamento fica limitada pelo nível de máxima preia-mar (Bertin *et al.*, 2009a).

- Ao contrário do que ocorre em estuários, onde os escoamentos são geralmente lentos (número de Froude inferior a 1), nas embocaduras lagunares ocorrem por vezes velocidades muito elevadas, que podem gerar ressaltos hidráulicos (Fig. 3). Uma vez que os modelos de circulação utilizados não representam as perdas de carga introduzidas por estes ressaltos, prevêem velocidades – e caudais sólidos – excessivas.

2.2 Aspectos numéricos

O conjunto de equações resolvido pelos modelos morfodinâmicos é fortemente não linear (e.g., devido à dependência das velocidades na batimetria). A sua resolução exige por isso métodos numéricos robustos, capazes de evitar oscilações de pequeno comprimento de onda sem uma difusão excessiva. Os métodos mais bem sucedidos combinam esquemas de progressão temporal de alta ordem, para minimizar o desenvolvimento de oscilações espúrias, com filtros numéricos que as eliminam (Fortunato e Oliveira, 2007). O MORSYS2D utiliza ainda um passo de cálculo adaptativo na resolução da equação de continuidade de fundo, que se revelou fundamental para garantir a estabilidade sem comprometer o custo computacional (Bertin *et al.*, 2009b).

2.3 Aspectos computacionais

O custo computacional constitui uma forte limitação na utilização destes modelos, em particular para simulações da ordem de anos a décadas (Bruneau *et al.*, 2010). Tipicamente, pretende-se conhecer o comportamento das embocaduras a escalas anuais ou superiores, enquanto o passo de cálculo dos modelos de circulação é da ordem de 1 segundo a 1 minuto. Os campos de ondas devem ser actualizados com uma frequência horária ou superior, dada a sua dependência no nível de maré. As resoluções espaciais devem ser elevadas, de forma a resolver a zona de rebentação com pelo menos 4 a 5 nós de cálculo. Uma vez que esta zona se desloca ao longo do ciclo de maré, a zona a resolver em detalhe pode ter uma extensão transversal à praia da ordem da centena de metros. A utilização dos modelos em modo paralelo em clusters permite mitigar estas dificuldades (Bruneau *et al.*, 2010).

O tempo computacional é também condicionado pela necessidade de transferir informação entre os vários módulos do modelo. Esta transferência

implica frequentes escritas e leituras em ficheiro, fazendo com que o *input/output* constitua uma fracção significativa do tempo de cálculo. Formas de mitigar este problema incluem a utilização de ficheiros binários e a utilização de memória RAM para a troca de informação temporária entre módulos (Costa *et al.*, 2010).

3. APLICAÇÕES

O sistema MORSYS2D foi recentemente aplicado às embocaduras das lagunas de Óbidos (Bertin *et al.*, 2009c), Aveiro (Plecha *et al.*, 2010) e St. André, à barra do Ancão (Bertin *et al.*, 2009a), a uma trincheira na costa algarvia (Lopes *et al.*, 2009), à Ribeira de Aljezur (Guerreiro *et al.*, 2010) e a casos sintéticos (Nahon *et al.*, 2009). A aplicação do modelo é ilustrada a duas escalas temporais.

A simulação da Ribeira de Aljezur mostra a evolução batimétrica da embocadura ao longo de um ciclo de maré (Fig. 4). Durante a enchente de maré viva, as velocidades são pequenas e a secção transversal mantém-se aproximadamente estável. Devido à forte assimetria da maré, na vazante ocorre um pequeno assoreamento, seguido de uma maior erosão da secção.

A simulação a longo prazo (3 anos) de uma embocadura sintética mostra o efeito da agitação incidente e da amplitude da maré sobre a forma dos bancos de enchente e de vazante (Fig. 5).

4. PERSPECTIVAS FUTURAS

Apesar de alguns inegáveis sucessos, os modelos morfodinâmicos de embocaduras estão ainda numa fase de desenvolvimento (Bertin *et al.*, 2010). É necessário por isso continuar o seu desenvolvimento, com vista a melhorar o seu desempenho e fiabilidade. As direcções em que o LNEC está a evoluir, em colaboração com investigadores da Universidade de Aveiro, da FCUL e da Universidade de La Rochelle, incluem: a melhoria da representação de vários processos físicos; o desenvolvimento de um modelo morfodinâmico 3D (Pinto *et al.*, 2007; Pinto, 2010 – Fig. 6); e a paralelização de vários módulos e melhoria da eficiência da transferência de informação entre módulos.

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, projectos: MADyCOS (PTDC/ECM/66484/2006), DETI (PTDC/MAR/65585/2006), G-Cast (GRID/GRI/81733/2006) e SANDEX (PTDC/ECM/70428/2006), e pelo projecto europeu IMMATIE.

REFERÊNCIAS

- Bertin, X., A.B. Fortunato e A. Oliveira (2009a). Morphodynamic modeling of the Ancão Inlet, South Portugal, *J. Coastal Research*, SI56: 10-14.
- Bertin, X., A. Oliveira e A.B. Fortunato (2009b). Simulating morphodynamics with unstructured grids: description and validation of a modeling system for coastal applications, *Ocean Modelling*, 28/1-3: 75-87.
- Bertin, X., A.B. Fortunato e A. Oliveira (2009c). A modeling-based analysis of processes driving wave-dominated inlets, *Continental Shelf Research*, 29/5-6: 819-834.
- Bertin, X., A.B. Fortunato e D. Roelvink (2010). Morphodynamic Modelling of Tidal Inlets and Embayments. *Geomatic Solutions For Coastal Environments*. Eds: M.Maanan and M. Robin, Nova Science Publishers Inc., pp.197-213, ISBN 978-1-61668-140-1.
- Bruneau, N., A.B. Fortunato, A. Oliveira, X. Bertin, M. Costa e G. Dodet (2010). Towards long-term simulations of tidal inlets: performance analysis and application of a partially parallelized morphodynamic modeling system, *Computational Methods in Water Resources XVIII*, Ed.: J. Carrera, 8 pp.
- Cayocca, F. (2001). Long-term morphological modeling of a tidal inlet: the Arcachon Basin, France, *Coastal Engineering*, 42: 115-142.
- Costa, M., N. Bruneau, A. Oliveira e A.B. Fortunato (2010). Optimizing I/O in a morphodynamic model, *Ibergrid 2010*, 485-488.
- Fortunato, A.B. (2007). Accuracy of sediment flux computations in tidally-driven simulations, *J. Waterways, Ports, Coastal and Ocean Engineering*, 133/5: 377-380.
- Fortunato, A.B. e A. Oliveira (2004). A modeling system for tidally driven long-term morphodynamics, *J. Hydraulic Research*, 42/4: 426-434.
- Fortunato, A.B. e A. Oliveira (2007). Improving the stability of a morphodynamic modeling system, *J. Coastal Research*, SI50: 486-490.
- Fortunato, A.B. e A. Oliveira (2007). Case study: promoting the stability of the Óbidos lagoon inlet, *J. Hydraulic Engineering*, 133/7: 816-824.
- Fortunato A.B., A. Bertin e A. Oliveira (2009). Space and time variability of uncertainty in morphodynamic simulations, *Coastal Engineering*, 56/8:886-894.
- Guerreiro, M., A.B. Fortunato, A. Oliveira, X. Bertin, N. Bruneau e M. Rodrigues (2010). Simulation of morphodynamic processes in small coastal systems: application to the Aljezur coastal stream (Portugal). *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 12.
- Lopes, V., P. Silva, X. Bertin, A. Fortunato, A. Oliveira (2009). Dinâmica Sedimentaria Alrededor de una excavación, *X Jornadas Españolas de Puertos e Costas*, 222-223.
- Nahon, A., X. Bertin, A.B. Fortunato e A. Oliveira (2009). A modeling-based assessment of tidal inlet classification. *Colloque SHF: "Morphodynamique et gestion des sédiments dans les estuaires, les baies et les deltas"*, CD-ROM, 13pp.
- Oliveira, A., A.B. Fortunato e J. Rego (2006). Effect of morphological changes on the hydrodynamics and flushing properties of the Óbidos lagoon, *Cont. Shelf Res.*, 26, 917-942.
- Pinto, L. (2010). *Modelação da morfodinâmica de estuários*. Tese de Doutoramento, Univ. de Coimbra, 188 pp.
- Pinto, L., A.B. Fortunato e P. Freire (2006). Sensitivity analysis of non-cohesive sediment transport formulae, *Continental Shelf Research*: 26/15, 1826-1839.
- Pinto, L., A. Oliveira e A.B. Fortunato (2007). Development of a Three-Dimensional morphodynamic modeling system, *Estuarine and Coastal Modeling 7 Book of Abstracts*.
- Plecha, S., Silva, P.A., Vaz, N., Bertin, X., Oliveira, A., Fortunato, A.B. e Dias, J.M. (2010). Sensitivity analysis of a morphodynamic modelling system applied to a coastal lagoon inlet, *Ocean Dynamics*, 60/2: 275-284.

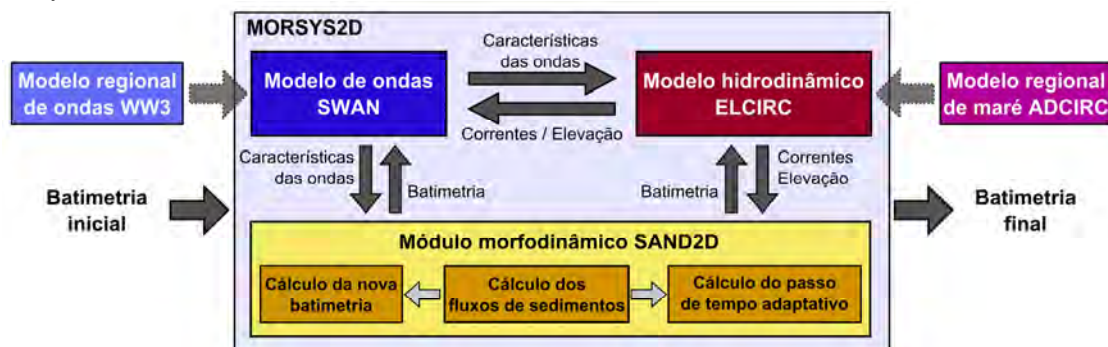


Fig. 1. Esquema de funcionamento do sistema MORSYS2D, incluindo os modelos SWAN (www.wldelft.nl/soft/swan/) e ELCIRC (www.stccmop.org/CORIE/modeling/elcirk/index.html).



Fig. 2. Exemplo do deslocamento da embocadura do estuário da ribeira de Aljezur, provavelmente devido em parte à formação de um perfil barra-fossa pelo undertow na praia da Amoreira.

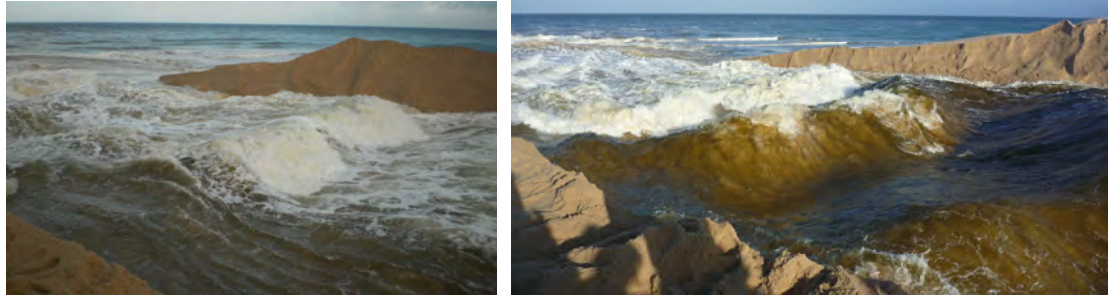


Fig. 3. Exemplos de formação de ressaltos hidráulicos na embocadura da lagoa de Albufeira após a sua abertura artificial. Note-se que o mar está calmo, pelo que a rebentação observada no canal não corresponde a agitação marítima.

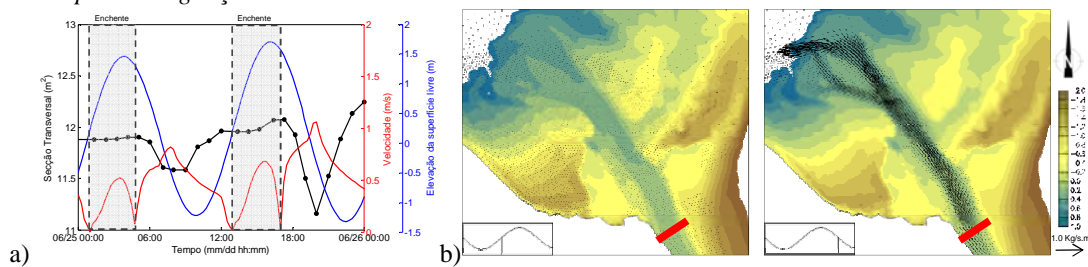


Fig. 4. Morfodinâmica de curto prazo da embocadura da ribeira de Aljezur em marés vivas: a) secção transversal (preto), nível (azul) e velocidade na embocadura (vermelho); b) batimetrias e caudais sólidos em enchente e vazante. O traço vermelho mostra a secção analisada em a).

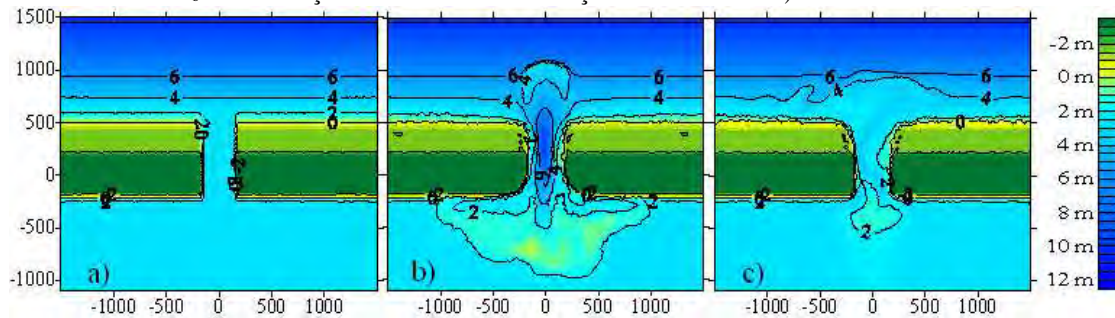


Fig. 5. Formação de bancos de enchente e de vazante numa embocadura sintética: a) condições iniciais; b) após 3 anos para uma amplitude de maré de 2 m e uma altura de onda de 0.5 m; c) após 3 anos para uma amplitude de maré de 1 m e uma altura de onda de 1 m.

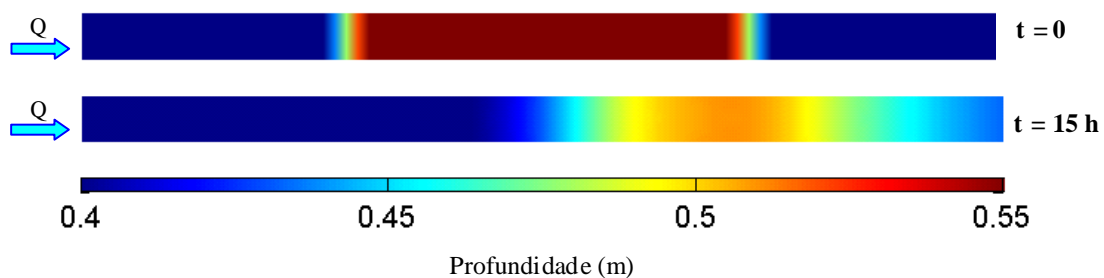


Fig. 6. Migração e assoreamento de uma fossa num canal, forçada por um caudal permanente, com o modelo morfodinâmico 3D MORSELFE: condições iniciais e após 15 horas de simulação.

Methodologies for coastal zone evolution analysis at medium-long term

P. Freire (1), F.S.B.F. Oliveira (1) and M. Clímaco (1)

(1) Laboratório Nacional de Engenharia Civil. pfreire@lnec.pt

Abstract: An integrated management of the coastal zone has to be supported by the knowledge of the forcing physical processes and the ability of prediction the morphological evolution at different time scales. In beach protection and/or rehabilitation studies the methodologies used in the analysis and prediction of the hydro-sedimentologic behaviour of the systems, that often applies analytical and numerical tools, should be sustained and validated by field data, as topo-hydrographic information of the shoreline and adjacent coastal area evolution. In the present work the methodologies applied in LNEC to analyse the coastal zone evolution at medium-long term (years to decades) are discussed and two examples of their application in rehabilitation studies of beaches in critical erosive process are presented.

Key words: evolution, medium-long term, shoreline, coastal zone management.

1. INTRODUCTION

In beach protection and/or rehabilitation studies the knowledge of past history of the coastal stretch should be one of the first steps to carry out. The morphological evolution of a beach and adjacent coastal area will give fundamental information in past evolutionary trends and in possible causes of erosive processes.

The main objective of this paper is to present the methodologies presently used in LNEC to analyse coastal zone evolution at medium-long term (time periods in the order of years to decades) and their practical application in beach rehabilitation studies. These methodologies include two different approaches: 1) evaluation of the shoreline position change; and 2) 2D evaluation of beach and nearshore bottom erosion/accretion rates. Both methodologies are based in geographical information, as topo-hydrographic data and aerial photographs, and characterise its variability in space and time. Obtained results are also used to calibrate and validate numerical models of shoreline and profile evolution applied to estimate the future hydro-sedimentologic behaviour of beaches where interventions of rehabilitation and/or protection are projected.

2. CASE STUDIES

2.1. Hac-Sá Beach

Hac-Sá beach is situated in the SE coast of Coloane island (Macau), located in the south coast of People's Republic of China. It is a narrow pocket beach, with 1.2 km long and a NNE-SSW general orientation, confined between two headlands (Figure 1).

This beach experimented an intensive erosive process since 2000 with the beach surface lowering and the damage of beach backshore infrastructures (Figure 2). The objectives of LNEC study were to diagnose the causes of beach erosion and to propose and evaluate alternative solutions for beach rehabilitation.

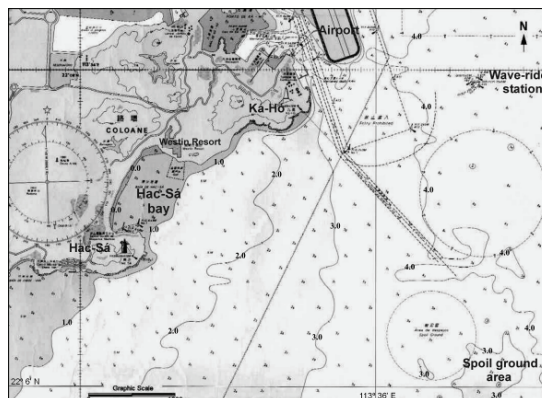


Figure 1. Location of Hac-Sá beach.



Figure 2. Aspects of infrastructures damages in Hac-Sá beach (June 2002).

In order to characterise past evolution of the beach and adjacent area, medium-long term morphological

evolution analysis was based on available data from 1966 to 2002 and included: 1) change in shoreline position analysis based on aerial photographs, charts and topo-hydrographic surveys; 2) evaluation of adjacent sea bottom sedimentation rates in the last decades based on hydrographic data.

2.1.1. Change in shoreline position

Aerial photographs and charts analysis allowed a qualitative characterisation of the shoreline and beach backshore occupation evolution. Mean sea level (MSL) positions were extracted from surveys from 1966, 1985 and 2002.

Results show that the terrestrial area around the beach had experimented in the recent decades a drastic change due to human action. Significant modifications of the north and south headlands contours of the beach occurred, mainly due to reclamation works: the north reclamation area was constructed after 1985 and presented a maximum shoreline advance of about 120 m, whereas south headland reclamation was performed after 1993, promoting a shoreline advance of about 50 m (Figure 3). For both reclamation areas, the land contour was protected with rubblemound slopes. After 1985, a progressive occupation of the beach backshore with infrastructures and other constructions took place. This occupation and the resulting advance towards the sea were more intense in the south and central zones of the beach, and the retreat of the former results from the erosion process initiated in 2000. These conditions promoted the inability of the beach profile to respond to high energy events, increasing beach vulnerability to erosion.

MSL lines were also used to validate two numerical models, based on different mathematical approaches (Vicente, 1991 and DHI, 2000), which were applied in order to evaluate the annual and seasonal longshore sand transport. For this propose the numerical models were also applied for the past equilibrium situation of the beach, i.e. for 1985.

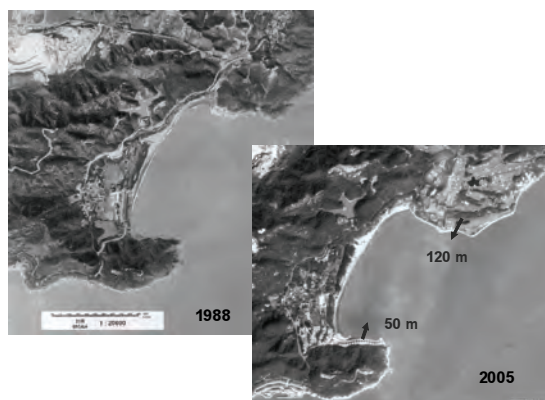


Figure 3. Aerial photographs of Hac-Sá beach showing the advance of the shoreline due to land reclamation.

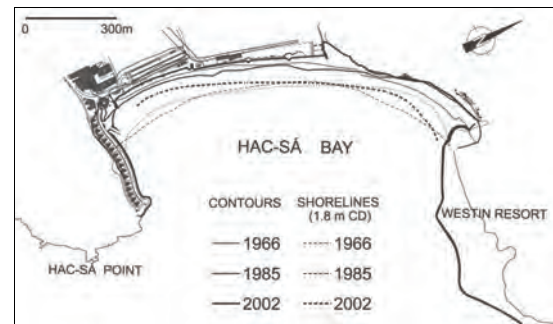


Figure 4. Hac-Sá shoreline evolution between 1966 and 2002.

2.1.2. Nearshore and offshore bottom evolution

Several hydrographic charts, from 1966 to 2001, were analysed in order to characterise the morphological evolution of Hac-Sá beach adjacent area in the last decades. Hydrographic data were processed, digital terrain models were used for subsequent comparison and rates of erosion and accretion were computed.

The morphological evolution of the area in beach vicinity is characterised by a general deposition, with an average accretion rate of 2-3 cm·year⁻¹. After 1985, an increase of the sedimentation rate is observed in the exterior zone, that extends from the southern limit of Macau International Airport, at depths of 2.0 to 4.5 m below chart datum (CD), approximately, towards offshore. In opposition, in Hac-Sá beach nearshore zone the average accretion rate decreased after 1985. This evolution trends were probably due to the alterations in the local hydrodynamic conditions related with the construction of Macau International Airport, such as: 1) sheltering effects of the airport, favouring sediment deposition in the surroundings of Ká-Hó cape; 2) a new shallow area formation at approximately 4.5 km distance from Hac-Sá bay, resulting from dredging disposal (Oliveira, 2006) (see Figure 1).

The results obtained by the medium-long term analysis allowed understanding the past evolution of Hac-Sá beach and adjacent coastal area, which was in recent times drastically controlled by human actions. Moreover, this analysis allowed rising up the following hypothesis for beach erosive trend that started on 2000: significant evolution of the sea bottom, that occurred in the nearshore area, and the north and south headlands contours advance through reclamation works introduced changes in wave propagation that affected the shoreline equilibrium. This hypothesis was confirmed by the numerical assessment of the wave climate evolution in the nearshore area of Hac-Sá beach (Oliveira, 2003).

2.2 Colwyn bay beach

Colwyn bay beach is situated in the NW of England facing the Irish Sea (Figure 5). The bay extends for 3.5 km and it is limited by Rhos Point (western extreme) and Tan Penman Head (eastern extreme) (Figure 5). The beach, showing a severe erosion

process that started last century, is backed by a masonry wall and has several cross-shore structures as low level rock groynes (Figure 6) and a rock-armoured detached breakwater at the western end.

The aim of LNEC study was to characterise the erosion process and to test different schemes of coastal protection based on beach nourishment with control structures.

In order to evaluate the recent beach morphological evolution, topo-hydrographic surveys from a period between 1956 and 2007 were analysed: 1) MSL lines were extracted for beach morphological characterisation and numerical modelling, 2) digital terrain models based on the full topographic surveys were compared in order to obtain the spatial distribution of erosion/deposition areas and respective rates.

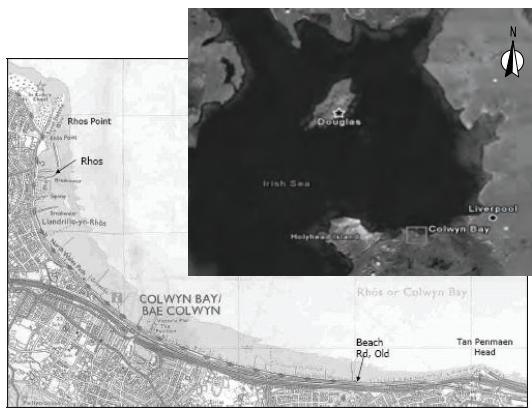


Figure 5. Location of Colwyn Bay beach.



Figure 6. Colwyn Bay beach.

2.2.1 Change in shoreline position

Historical evolution of Colwyn bay shoreline position was assessed through the comparison of a reference line extracted from the topographic surveys from different dates.

Shoreline evolution analysis was carried out using Digital Shoreline Analysis System (DSAS), a software extension of ESRI ArcGIS that enables the calculation of shoreline rate-of-change statistics from multiple historic shoreline positions (Thieler *et al.*, 2009). Five different shorelines were analysed corresponding to dates from 1956 to 2007. The shoreline change was assessed for each transect

perpendicular to the baseline, 75 m spacing (Figure 7). Several statistics were obtained: 1) net shoreline movement, which reports the distance between the oldest and the youngest shorelines or two subsequent dates; 2) end point rate corresponding to the rate of shoreline movement, based on the former; 3) beach area displacement and rate of beach area displacement.

Morphological variability interpretation has taken into account wave climate conditions and human interventions in the system, namely structures construction, for the analysed periods. Results were in agreement with the obtained from other sources of information about the historical evolution of this coastal stretch.

The lines extracted from the surveys were also used to calibrate and validate the two shoreline evolution models used in this study, Litmod (Vicente, 1991) and Litline (DHI, 2000), to test different solutions of coastal protection/rehabilitation.

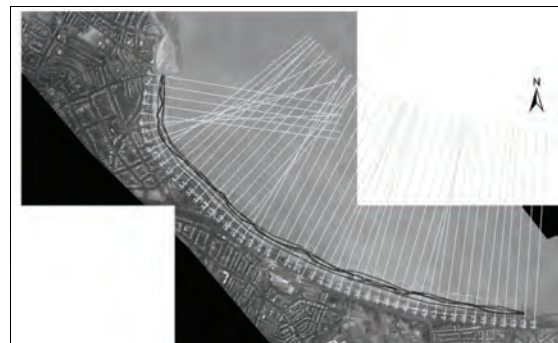


Figure 7. Transects used in the medium-long term evolution assessment of Colwyn Bay beach.

2.2.2. 2D Beach evolution

2D morphologic evolution of the beach foreshore was obtained through the comparison of topo-hydrographic surveys, available from 2001 until 2009. The surveys were compared based on DTMs for the common area, volumetric balances and erosion/sedimentation rates were obtained for each period of comparison.

Two important datasets of cross-shore profiles were also available for Colwyn Bay beach: 1) historical beach profiles from 1956 to 1990; 2) topographic surveys, including cross-shore profiles, since 1997 to 2009. Beach morphologic variation in space and time was characterised and morphologic parameters were assessed, particularly, at the upper foreshore, with the evaluation of the maximum and average vertical variation of beach levels.

Beach width variation, from the seawall to reference lines, was assessed for each profile as well as beach area. Variation of beach volume was calculated considering that each profile has a lateral extension equal to the sum of half distance between each two consecutive profiles. Results were in the same order

of magnitude as the volumetric balance resulting from the 2D approach.

3. CONCLUSIONS

In this paper two case studies of beaches in erosion process are presented, in which methodologies for medium-long term coastal zone analysis were applied. Two different approaches are presented, based on topo-hydrographic data, to characterise the variability of coastline morphology in space and time: 1) the evaluation of the coastline change in position; 2) the 2D evaluation of beach and nearshore morphological changes.

Medium-long term morphological past evolution analysis is essential as a initial step in coastal rehabilitation and protection studies, as it contributes to: 1) a better understanding the morphological evolution of the beach and adjacent coastal area and thus to diagnose the causes of their erosion tendency; 2) the quantification of evolutionary trends through erosion and accretion rates assessment; 3) support the numerical models calibration and validation process. Additionally, longer time span analysis allows the highlight of persistent morphologic evolution trends.

The two case studies presented in this paper also point out the importance that the availability of accurate topo-hydrographic data, extending from the beach backshore to the nearshore zone, at different dates, has in coastal studies.

REFERENCES

- DHI Software (2000). Litpack: an integrated modelling system for litoral processes and coastal kinetics. DHI, Denmark.
- Oliveira, F.S.B.F. (2003). Impact of anthropological pressure on the coastal area: cross-shore beach analysis. A case study. *CoastGIS'03*, Genova, Italy, CD-ROM, 8 pp.
- Oliveira, F.S.B.F. (2006). Impact of a disposal area of dredged sediment in front of a beach. *Journal of Coastal Research*, S.I. No.39, Vol. II, pp. 801-805.
- Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., Ergul, A. (2009). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0—An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278.
- Vicente, C. (1991). Aperfeiçoamento de métodos de modelação matemática e física aplicáveis a problemas de dinâmica costeira. Programa de investigação para Investigador Coordenador. Departamento de Hidráulica, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal (in Portuguese).

The importance of the topo-hydrography in the prediction of the short- and medium-term evolution of the coastal zone

F. S. B. F. Oliveira (1), P. Freire (1) and M. Clímaco (1)

(1) Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa. foliveira@lnec.pt

Abstract: The prediction of the short- and medium-term evolution of a coastal zone is performed when it is necessary to estimate its future hydro-sedimentologic behavior, frequently if interventions of rehabilitation and/or protection which need to be tested and evaluated are being planned. In this paper are presented the methodologies to predict the evolution of the coastal zone out of inlets presently applied in LNEC. These methodologies are based on the application of mathematical models of hydrodynamics and sediment dynamics suitable to the time and space scales to which they are applied. The objective of this paper is to point out the fundamental importance of the topo-hydrographic data to obtain prediction results through these methodologies. Two international case studies in which these methodologies were applied aiming to obtain rehabilitation solutions for two beaches in critical erosion condition are presented.

Keywords: coastal evolution, prediction, morphodynamics, shoreline, beach

1. INTRODUCTION

The main objective of this paper is to point out the great importance of the topo-hydrographic data in obtaining accurate predictions of the short- and medium-term morphodynamics of natural and interventioned beaches through the main methodologies presently used in LNEC.

These methodologies are frequently applied to estimate the future hydro-sedimentologic behaviour of littoral stretches where interventions of rehabilitation and/or protection are projected and therefore there is need to test and evaluate their effect. They are based on the application of numerical models (of hydrodynamics, sediment transport, morphodynamics and shoreline evolution) with different characteristics, suitable to the time and space scale in which they are applied.

By short- and medium-term it is understood time periods of the order of days (time scale of maritime storms) and decades, respectively.

Within the scope of the present paper, two international case studies in which the methodologies were applied to obtain solutions for the rehabilitation of beaches in critical erosion process (Hac-Sá beach, Macau, China, and Colwyn bay beach, Conwy, United Kingdom) are presented.

2. CASE STUDIES

2.1 Hac-Sá beach

The objective of this study was: i) to characterise the sediment dynamics of Hac-Sá beach, its recent evolution, and thus, to diagnose the causes of the erosion observed; and ii) to propose and evaluate alternative solutions for beach rehabilitation and complementary interventions for beach improvement and maintenance of the recommended solution.

Hac-Sá beach, confined between the two headlands

of Hac-Sá bay, in Figure 1, is located in the SE coast of Coloane island, Macau, a Special Administrative Region (SAR) located in the south coast of People's Republic of China, at the end of the great delta of Pearl River. It is a narrow pocket beach with 1.2 km long and a NNE-SSW general orientation. The northern side of Hac-Sá headland and the southern side of Ká-Hó headland have in the recent decades advanced over the sea through reclamation works. The slopes of the enlarged banks are protected against wave action by rock revetments. The beach backshore zone is occupied with constructions and infrastructures, particularly advanced in the southern stretch of the beach.

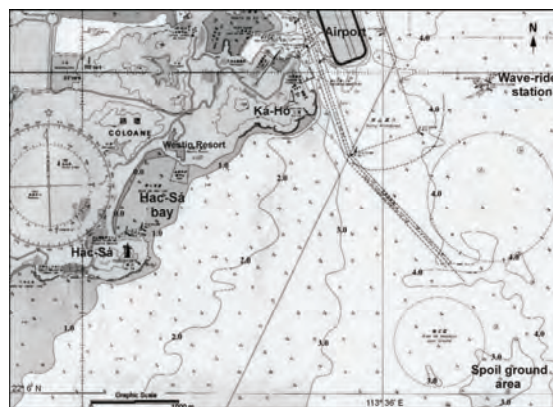


Figure 1. Location of Hac-Sá beach.

The main phases of the study were: the analysis of the natural agents that intervene in the Hac-Sá beach dynamics; the identification and evaluation of the major beach dynamics processes and their interaction mechanisms; the characterisation of the recent evolution of the beach system; and finally the prediction of the beach future evolution considering the implementation of the alternative interventions. The Hac-Sá beach hydrodynamics and sediment dynamics were characterized for the coastal conditions of 1985 and 2002. For both conditions,

the numerical results obtained from the propagation of the representative annual wave regime were used as input to the sediment transport numerical models. Numerical simulations of short- and medium-term sediment transport and morphodynamics were performed to: interpret the longitudinal equilibrium configurations of the beach; evaluate the cross-shore distribution of the longshore transport along the year in both directions; characterise the seasonal patterns of morphological variations; evaluate the influence of morphological and wave propagation changes on the erosion events; and analyse the impact of maritime storm events on the beach profile development.

2.1.1 Short-term evolution

The cross-shore evolution of Hac-Sá beach is characterised by medium-term cyclic morphological changes due to a seasonal wave regime and short-term morphological changes due to the occurrence of maritime storm events.

In order to assess Hac-Sá beach cross-shore behaviour, a numerical model, Litprof (DHI, 2000), was applied to simulate the beach profile response to a maritime storm event. Two cross-shore profiles were used to represent the northern and southern sectors of the beach. The evolution of each profile was simulated for two situations, 1985 and 2002. In 2002, at mean sea level (MSL), the profile in the northern sector showed a beach retreat that is about 63% of the retreat occurred in 1985, and the profile in the southern sector, which in 1985 was not significantly affected, showed in 2002 a retreat about 2.2 times higher than the one observed in the northern sector of the beach. Such results show the increase, from 1985 to 2002, of the retreat of the southern sector relatively to the retreat of the northern sector in the presence of a storm event (Oliveira, 2003). This increase of vulnerability of the southern sector of the beach was due to the construction of an advanced infrastructure (vertical seawall, in Figure 2), which, by limiting the natural expansion of the beach profile in the presence of the highest energy events (maritime storm conditions), caused a beach retreat larger than the one that would happen in its absence. In fact, the presence of a highly reflective structure (without dissipative conditions) on the top of the beach profile promotes erosion conditions by increasing the seaward sediment transport and thus the lowering of the beach face.

2.1.2 Medium-term evolution

The morphological evolution of Hac-Sá beach adjacent area in the last three decades was characterised based on comparisons between hydrographic data available from several chart surveys from the 1966-2001 period. The data were

processed with a digital terrain model and the volumetric results obtained from the comparisons allowed to conclude on the rates of erosion and accretion. The morphological evolution of the coastal area in the vicinity Hac-Sá beach is characterised by a general deposition, with an average accretion rate of 2-3 cm.year⁻¹. Since 1985, this accretion rate observed had a tendency to increase offshore and decrease nearshore Hac-Sá bay. Most likely, this evolution tendency is a consequence of the changes on the hydrodynamic conditions introduced by the construction of Macau International Airport. An evidence of its effect is the increase of deposition observed in the surroundings of Ká-Hó cape, which can be interpreted based on the sheltering effects of the airport, favouring sediment deposition. Another new morphological feature is the existence of a distinct accumulation zone of disposal of dredged material, the spoil ground area, in front of Hac-Sá beach.

The beach morphological evolution was analysed based on the shoreline positions at MSL and the backshore occupation of the beach. These data were obtained from aerial photographs of Hac-Sá beach, shoreline surveys and charts showing the occupation of the backshore area for the 1966-2002 period. The main evolution aspects were: a significant retreat of the shoreline at the southern stretch; remarkable land reclamation at the north and south headlands; and a progressive occupation of the backshore zone with infrastructures and other constructions resulting in the narrowing of the beach.



Figure 2. Vertical seawall at Hac-Sá backshore.

In order to assess the wave climate evolution in the nearshore area of Hac-Sá beach, two cases of propagation of the representative wave regime towards the coast have been studied: one correspondent to the situation in 1985 (prior to the construction of Macau International Airport) and the other correspondent to the situation in 2002. The comparison of the results for the two cases, 1985 and 2002, allows concluding on the effect of the recent morphological (depth and sea bottom geometry) and land contour changes on the wave climate in the nearshore area (Oliveira, 2006). One of the major impacts of the wave propagation changes on the beach was the significant increase of

the gradient of the incident wave energy in the longshore direction due to the presence of a recent irregular shoal, resultant from disposal of dredged material in the nearshore region in front of the beach, which generates a complex wave transformation pattern with several convergence zones, i.e. peaks of energy concentration, between this new morphological feature and the shoreline.

Hac-Sá beach longshore transport, confined between the north and south headlands, produces a constant displacement of the granular sediments in both longitudinal directions, according to the varying incident wave directions. Two numerical models (Vicente, 1991 and DHI, 2000), based on different mathematical approaches, were applied for the past equilibrium situation of the beach (1985) to evaluate the annual and seasonal longshore sand transports and their cross-shore distribution for a profile at the central part of the beach. The shoreline evolution for this past equilibrium was also simulated. The results revealed the following:

- The shoreline had a long-term stability with a net transport almost null, as expected, taking into account the good confinement of the beach by the headlands;
- There were cyclic shoreline oscillations along the year consequent of the seasonal variation of incident wave directions. Between April-September there was a net transport directed northwards that produced enlargement of this part of the beach, and beach width reduction at the southern part. Between October-March occurred an opposite sand mass displacement, with beach enlargement at the southern part and decrease of the beach width at north;
- The average annual cumulative transport was approximately $120 \times 10^3 \text{ m}^3$ with about $60 \times 10^3 \text{ m}^3$ directed to north and about $60 \times 10^3 \text{ m}^3$ directed to south;
- The longshore sediment transport occurred was not significant 1 m below chart datum (CD), which is 1.8 m below MSL.

The medium-term evolution of the shoreline was also simulated for the beach conditions in 2002 (Figure 3). When comparing these results of the new equilibrium configuration with the results of the past equilibrium configuration, it can be observed a retreat of the shoreline positions in the southern stretch of the beach, counterbalanced by shoreline advance at the northern stretch.

The geographic features of the beach, confined between the two headlands, grant ideal natural conditions to keep the beach sand trapped, therefore the success not only of the implementation of a beach nourishment solution as well as its natural self-maintenance. Thus, two alternative solutions, which grant the enlargement of the beach width, were proposed and analysed: the first one based exclusively on beach nourishment; the second based

on beach nourishment and implementation of a cross-shore structure in the central part of the beach. The feasibility of both alternative solutions was investigated through the same numerical models used for the analysis of the beach longshore dynamics in 1985 and 2002. After comparing their advantages and disadvantages, LNEC recommended the implementation of the solution based exclusively on beach nourishment.

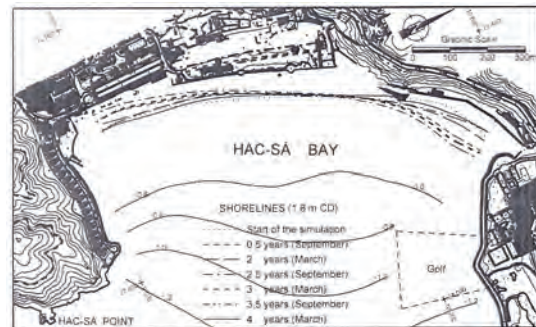


Figure 3. Numerical results of shoreline evolution (2002).

2.2 Colwyn bay beach

The objective of this study was: i) to characterise the sediment dynamics of Colwyn bay beach and its recent evolution (erosion process); and ii) to test numerically different schemes of coastal protection based on beach nourishment with control structures. Colwyn bay beach, in Figure 4, is located in the NW of England and faces the Irish Sea. The bay is limited at the western end by Rhos Point and at the eastern end by Tan Penman Head. From Rhos Point to Old Colwyn, the existent beach, with approximately 3 km, undergoes a severe process of erosion. It is backed by a masonry wall, dated back to the 19th century, which has been subjected to a great deal of repair and reconstruction. The latest intervention occurred in 1990 when a number of long low groynes were constructed aiming to encourage beach recovery, however, without success.

2.2.1 Short-term evolution

In this study the prediction of the short-term coastal zone evolution consisted in the simulation of the resilience of the equilibrium beach profile of the projected nourished beach to the worst storm event registered near Colwyn bay. Different combinations of profile geometry and sediment grain size were tested. The numerical simulation of the cross-shore sediment transport and morphologic evolution allowed to predict the parameters retreat of the beach foreshore at different levels, volume of sand extracted from the foreshore and coordinates of the sediment accumulation zone in the nearshore.

The objective of these tests was to estimate the berm width of the future beach initial profile, for each combination of profile geometry and sediment grain

size, which allows to guarantee a minimum width left intact after the occurrence of the storm event, needed for beach defence (to avoid direct wave action on the seawall) and for the beach future use (bathing and recreational).



Figure 4. Location of Colwyn bay beach.

2.2.2 Medium-term evolution

In this study the objective of the medium-term simulations was the prediction of the shoreline evolution for the different schemes of beach nourishment with and without control structures. Two shoreline evolution models, Litmod (Vicente, 1991) and Litline (DHI, 2000), based on distinct approaches (a classical one-line model and a profile based shoreline model, in which the longshore sediment transport is calculated for both modes, bed load and suspension) were calibrated for the 5-year period 2001-2005, during which five foreshore surveys were available. The reason for using both models is because they have different capacities and limitations. For example: i) the first considers the sea level constant and the second allows the sea level variation (which is very important for this study site where spring and neap tide ranges are 7.14 m and 3.81 m, respectively); and ii) the first allows the simulation of classical and fishtail groynes and the second only allows the simulation of classical groynes.

Prior to the shoreline models application for the different alternative defence schemes, a 2D-vertical sediment transport numerical model was applied to calculate the cross-shore distribution of the longshore transport along the beach profile active zone for the 19 years of hydrodynamic data available (every 3 hours). These results consist on calibration parameters for the Litine model. At a first stage, both models were applied to simulate the shoreline medium- to long-term evolution for the case of nourishment without control structures. However, at a second stage, according to the characteristics of the beach defence scheme to be tested only the most suitable model was applied.

3. CONCLUSIONS

The two case studies here presented illustrate well that the topo-hydrographic data, i.e., the information on the levels of the nearshore zone, beach face and beach backshore zone, at different dates, were essential for: i) the evaluation of the changes occurred recently in the respective coastal zones and thus to diagnose the causes of erosion and degradation of the beaches; ii) the characterisation of the present sediment dynamics; and iii) the calibration and validation the numerical models to predict the evolution of the coastal zones and thus test the alternative beach rehabilitation and protection solutions. If systematic topo-hydrographic surveys had not been done, the application of the methodologies described to predict the evolution of the coastal zones and thus recommend the best beach rehabilitation and protection solution could not have been possible.

The methodologies applied in LNEC for predicting the short- and medium-term evolution of the coastal zone are usually applied in two stages:

- 1) a stage of calibration, when the numerical models are applied to simulate with continuity the main coastal processes responsible for the recent morphological evolution;
- 2) a stage of prediction, when the numerical models are applied to estimate the future hydro-morphological behaviour of the littoral stretch and thus its morphological evolution.

The refinement and amount of topo-hydrographic data used in the first stage affects greatly the accuracy of the results obtained in the second stage. Thus, methodologies to accurately process the topo-hydrographic data and characterise its variability in space and time (described in a different paper presented by LNEC in this scientific meeting) are also a very important area in development in LNEC.

REFERÊNCIAS

- DHI (2000). Litpack: an integrated modelling system for littoral processes and coastal kinetics. Danish Hydraulic Institute, Denmark, 95 pp.
- Oliveira, F.S.B.F. (2003). Impact of anthropological pressure on the coastal area: cross-shore beach analysis. A case study. *CoastGIS'03*, Genova, Italy, CD-ROM, 8 pp.
- Oliveira, F.S.B.F. (2006). Impact of a disposal area of dredged sediment in front of a beach. *Journal of Coastal Research*, S.I. No.39, Vol. II, 801-805.
- Vicente, C. (1991). Aperfeiçoamento de métodos de modelação matemática e física aplicáveis a problemas de dinâmica costeira. Programa de investigação para Investigador Coordenador. Departamento de Hidráulica, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, 147 pp.

Impacte da extracção de inertes ao largo do Algarve na evolução da linha de costa

B. Proença (1), F. S. B. F. Oliveira (1) e F. Sancho (1)

(1) Laboratório Nacional de Engenharia Civil

bproenca@lnec.pt

Resumo: Pretende-se, com este estudo, avaliar o impacte de uma extracção de inertes realizada ao largo de Vale do Lobo na evolução da linha de costa entre Quarteira e o Ancão. Considerou-se o regime de agitação marítima obtido na bóia de Faro colmatado para um período de 10 anos. A sua transposição para a região em frente ao local de estudo efectuou-se com o modelo SWAN. No estudo da dinâmica sedimentar aplicou-se o modelo de transporte longitudinal Litdrift e o modelo de linha de costa Litline. Consideraram-se duas situações de evolução: com a presença da escavação ao largo e a alimentação efectuada na praia de Vale do Lobo; e apenas com a escavação. Os resultados mostram que, embora a escavação introduza pequenas alterações no regime de agitação marítima, estas têm impacte apreciável na evolução da linha de costa. Obtiveram-se taxas de recuo decrescentes de Oeste para Leste, em consonância com resultados de outros autores, embora as mesmas sejam claramente sobrevalorizadas em Forte Novo.

Palavras chave: alimentação artificial; evolução da linha de costa; extracção ao largo; erosão costeira; costa sul de Portugal

1. INTRODUÇÃO

O Algarve, sendo uma região de forte atracção turística, substancialmente devido à sua faixa costeira, vê-se economicamente muito afectado pelos problemas de erosão costeira.

Tratando-se a costa algarvia de uma costa onde o regime de agitação predominante é pouco energético, a alimentação artificial de praias vem já sendo o método mais consensual de mitigação dos problemas de erosão. A exploração de inertes ao largo tem vindo a ganhar preferência sendo que, para a costa algarvia só no ano de 1998 foram realizadas diversas alimentações de praia cuja fonte de sedimento foram extracções ao largo, nomeadamente na Praia dos Tremoços (Lagos), na Praia de Quarteira e na Praia de Vale do Lobo (Teixeira, 2009b).

No entanto, até à data não se conhecem estudos sobre o impacte da extracção de inertes na plataforma continental na evolução da linha de costa em Portugal, sendo portanto este o objectivo deste estudo.

2. LOCAL DE ESTUDO

Foi considerada, para o desenvolvimento deste trabalho, uma extensão de praia de cerca de 15 km que se estende desde o porto de pesca de Quarteira até à barra do Ancão (Figura 1). De acordo com Teixeira (2009a), o litoral de Quarteira faz parte da célula de circulação sedimentar que se estende desde Olhos d'Água (Albufeira) até ao Cabo de Santa Maria (Faro) sendo o sentido de transporte predominante de oeste para leste. Este autor salienta ainda que a principal fonte sedimentar advém da erosão das arribas arenosas que caracterizam esta secção atribuindo uma relevância secundária aos

sedimentos transportados pelas linhas de água que drenam para o litoral.



Fig. 1 Identificação do local de estudo.

A partir da década de 1970 começaram a ser registados graves problemas de erosão nesta célula devido à construção do porto de Vilamoura, cuja cabeça do molhe oeste atinge uma profundidade de -3 m ZH (Clímaco e Vicente, 1997), que constitui uma relevante interrupção no transporte sedimentar longitudinal. A leste desta estrutura encontra-se o porto de Quarteira, seguido de um campo de esporões que se estende até Forte Novo e também constitui um factor de relevância para o transporte longitudinal de sedimentos.

Na tentativa de mitigar os problemas de erosão verificados, em finais de 1998 e início de 1999, foi realizada uma alimentação artificial de 700 000 m³ na praia de Vale do Lobo, recorrendo-se à extracção de sedimentos ao largo desta praia como fonte sedimentar. Após 7 anos, com novos problemas de erosão, foi realizada, em 2006, uma nova alimentação, onde foram depositados 370 000 m³ de sedimento ligeiramente mais grosseiro ($D_{50}=0.76$ mm) do que a areia nativa da praia ($D_{50}=0.6$ mm), numa frente de mar de cerca de 1100 m, levando a um incremento médio da largura

da praia de 30 m (Teixeira, 2009b). A extracção de sedimento foi efectuada ao largo de Vale do Lobo entre a batimétrica dos -15 m e dos -20 m ZH numa área com extensão de 200 m perpendicularmente à costa por 600 m ao longo da costa.

O estudo da evolução da linha de costa ao longo do domínio espacial referido foi particularmente validado para os 4 sectores de praia identificados na Figura 1, Forte Novo, Trafal, Vale do Lobo e Garrão, pelo facto de existir informação quantitativa sobre a evolução recente dos mesmos.

3. MÉTODOS

No estudo da evolução da linha de costa entre Quarteira e o Ancão foram aplicados os modelos matemáticos Litdrift e Litline do pacote Litpack (DHI, 2008). Numa primeira fase foi efectuado o cálculo do transporte longitudinal com base no Litdrift. Foram analisados perfis de praia disponíveis correspondentes a diversos meses entre 1997 e 2008. Após esta análise considerou-se ser possível, sem grande erro associado, assumir um perfil representativo para toda a extensão entre Quarteira e o Ancão, escolhendo-se um perfil adquirido exactamente na praia de Vale do Lobo. Foi também avaliado o declive da face praia que se mostrou consistente com o valor apontado por Teixeira (2009b) de 0.12.

Foi considerado o regime de agitação obtido na bóia de Faro cuja metodologia de colmatação adoptada é descrita em Capitão *et al.* (2009). Posteriormente foi efectuada a sua transposição para a região do local de estudo com o modelo de ondas SWAN (Booij *et al.*, 1999).

O procedimento do cálculo do transporte longitudinal consiste num passo de calibração para o cálculo da evolução da linha de costa, recorrendo-se para tal ao Litline. Utilizaram-se três fotografias aéreas dos anos de 1995, 2005 e 2007. A partir destas imagens foram extraídas as linhas de água, com base no critério de identificação da transição entre a zona seca e molhada, que se admitiram ser as linhas de preia-mar nesses dias. A partir destas, sabendo a data e hora de cada imagem e admitindo o perfil de praia representativo, foi possível calcular a linha do nível médio do mar (NMM). A linha de 1995 foi considerada a condição inicial de cálculo em 1 de Janeiro de 1998 e as linhas de 2005 e 2007 foram utilizadas para verificação dos resultados.

Na aplicação do modelo de linha de costa adoptou-se uma metodologia baseada na inclusão dos fenómenos que intervêm localmente no transporte longitudinal de forma sucessiva, i.e., iniciou-se com a simulação de um cenário simples, considerando uma praia aberta, e progrediu-se sucessivamente para um cenário mais complexo e mais próximo da realidade onde se consideram as diferentes estruturas de engenharia presentes, as alimentações efectuadas e a variabilidade do clima de agitação ao longo do domínio.

4. RESULTADOS

Os valores calculados para o transporte líquido (transporte para Leste menos transporte para Oeste) e total, cuja média para os 10 anos de condições hidrodinâmicas consideradas é 184 800 m³/ano e 250 300 m³/ano respectivamente, apresentam-se dentro da gama de valores sugeridos na literatura (Teixeira, 2009b; Consulmar, 1989; Manso, 1998). Os resultados obtidos mostram uma variação interanual significativa (Figura 2).

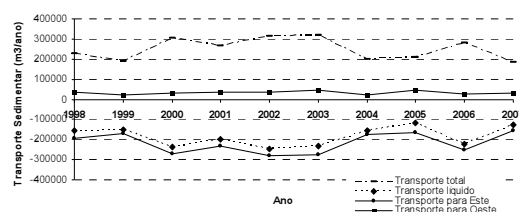


Fig. 2 Capacidade de transporte longitudinal, entre 1998 e 2007.

Verificou-se também uma clara sazonalidade do transporte longitudinal (Figura 3): o transporte anual acumulado apresenta uma variação acentuada durante o período de Inverno marítimo (entre Outubro/Novembro e Abril) seguida de estabilização, durante o resto do ano (Verão marítimo).

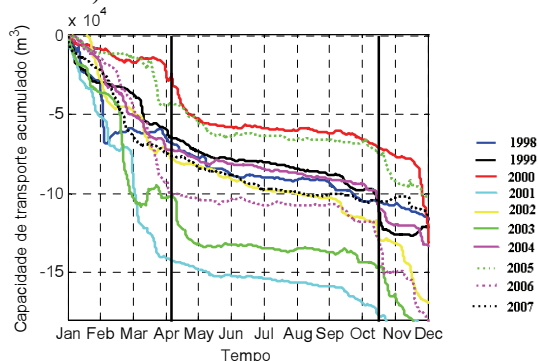


Fig. 3 Variação mensal da capacidade de transporte acumulado, entre 1998 e 2007.

No cálculo da evolução da linha de costa foram considerados três cenários: i) sem consideração da extracção de inertes e da alimentação artificial realizada em Vale do Lobo; ii) considerando a escavação; e iii) considerando tanto a escavação como a alimentação efectuada na praia. Os resultados das simulações numéricas efectuadas são apresentados na Figura 4. Verifica-se que na generalidade o modelo é capaz de reproduzir bastante bem a tendência evolutiva da linha de costa. É no entanto de notar que na região adjacente (a Este) ao campo de esporões de Quarteira, no sector do Forte Novo, o recuo é extremamente sobrestimado, devendo-se isto ao facto de esta ser na realidade uma região de arribas arenosas que não foi considerada como tal, devido a limitações do modelo, mas sim de perfil arenoso. A presença das arribas deverá causar um menor recuo porque o sedimento apresenta um maior grau de consolidação,

logo maior resiliência à erosão. Para além disso, as próprias arribas constituem uma fonte sedimentar

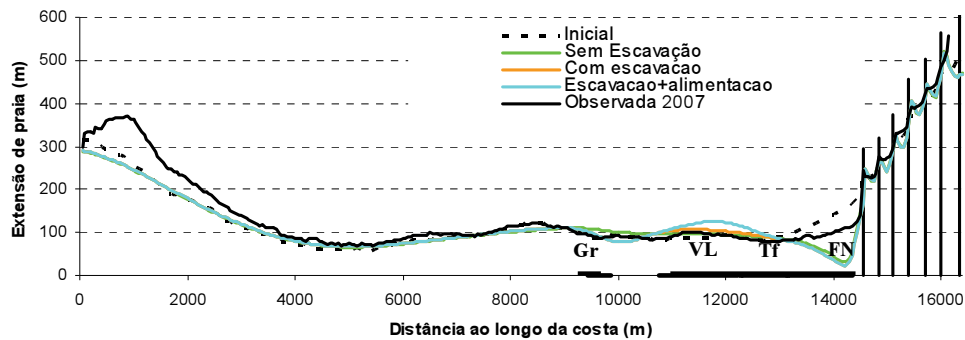


Fig. 4 Resultados numéricos da evolução da linha de costa para os três cenários considerados. Os sectores de praia são identificados por Gr – Garrão; VL – Vale do Lobo; Tf – Trafal e FN – Forte Novo. Escala distorcida.

para o sistema. Outro factor a salientar é a presença da ribeira de Carcava (ligeiramente a Este do Forte Novo) que será também uma fonte sedimentar, com relevância acentuada para a região em episódios de Levante, que não foi também considerada por incapacidade de quantificação da sua contribuição. Também na fronteira Leste do domínio existe uma grande discrepância dos resultados relativamente à linha observada. Este facto deve-se a não ter sido considerado na modelação o efeito do reposicionamento da barra do Ancão (em Junho de 1997, para uma localização a cerca de 3 500 m oeste) na linha de costa, por inexistência de informação.

Fazendo uma ampliação da zona frontal à escavação (Figura 5) verifica-se que esta tem efeito na evolução da linha de costa, concretamente gera avanço na região alinhada com o seu posicionamento e erosão nas regiões adjacentes à anterior, devendo-se este padrão ao efeito de difracção provocado pela presença da escavação. É interessante notar ainda que a erosão é mais acentuada no lado Este do que no lado Oeste estando este facto associado à predominância da ondulação de SW.

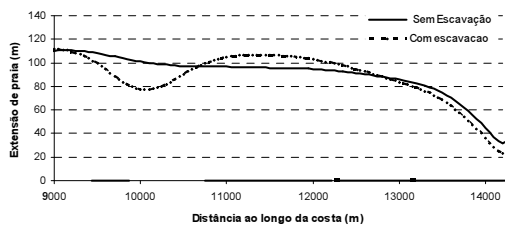


Fig. 5 Evolução da linha de costa na zona afectada pela escavação. Escala distorcida.

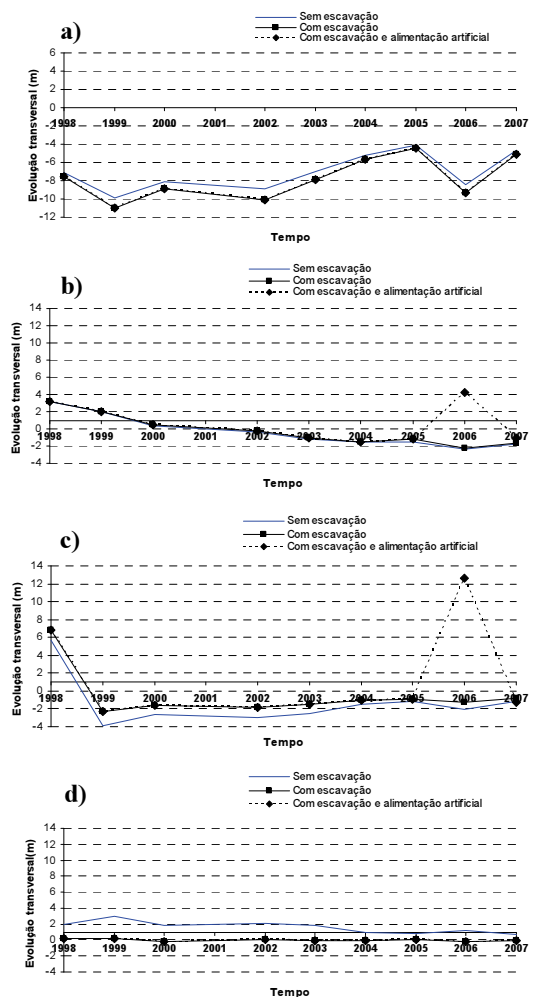


Fig. 6 Taxa média de recuo da linha de costa para os sectores: a) Forte Novo; b) Trafal; c) Vale do Lobo e d) Garrão.

Foram analisadas as taxas de recuo para os quatro sectores anteriormente mencionados, Forte Novo, Trafal, Vale do Lobo e Garrão (Figura 6). Os resultados foram comparados com os obtidos por Oliveira *et al.* (2008).

O sector do Forte Novo, adjacente ao campo de esporões de Quarteira é o que apresenta um recuo

mais elevado, com uma média de cerca de 8 m/ano. Oliveira *et al.* (2008) salientam que a interpretação dos valores de recuo deve ser efectuada cuidadosamente já que o intervalo em consideração é um factor de grande relevância. Estes autores obtiveram um recuo em Forte Novo de aproximadamente 2 m/ano considerando um período de 10 anos entre 1991 e 2001 e um recuo de 3 m/ano para um período menor de 1999 a 2001. Os valores obtidos com este estudo apresentam-se consideravelmente superiores o que advém do facto de, como já mencionado, as arribas arenosas não estarem a ser consideradas como tal, mas sim como perfis arenosos e de não estar a ser considerada também a fonte sedimentar da ribeira de Carcava. Em concordância com estes autores, os resultados obtidos para os sectores de Vale do Lobo e Garrão também apresentam as taxas de recuo mais baixas.

5. CONCLUSÕES

Foi efectuada o estudo do impacte de uma extracção de inertes realizada em 2006 ao largo de Vale do Lobo na evolução da linha de costa entre Quarteira e a barra do Ancão.

Estimou-se o transporte longitudinal entre o campo de esporões de Quarteira e a barra do Ancão recorrendo ao modelo Litdrift para posterior cálculo da evolução da linha de costa entre 1998 e 2007, no qual se utilizou o modelo Litline. Os resultados apresentaram um transporte longitudinal dentro da gama de valores sugerida por outros autores: cerca de 250 000 m³/ano e 185 000 m³/ano para o transporte médio total e líquido (com sentido predominante para Leste), respectivamente.

No cálculo da evolução da linha de costa verificou-se que na generalidade o modelo representa satisfatoriamente as tendências evolutivas da linha de costa com excepção da região adjacente ao campo de esporões de Quarteira, a Leste, onde o recuo foi extremamente sobrestimado, devido a alterações das condições iniciais e de fronteira não incluídas nas simulações. No sector da praia de Vale do Lobo verificou-se que a escavação realizada ao largo desta praia tem influência na sua evolução, traduzindo-se em avanço da linha de costa na região alinhada com a escavação e erosão em ambos os lados com particular incidência no lado Este, devido ao efeito de difracção produzido pelo buraco sobre a agitação predominantemente proveniente de SW.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FCT pelo financiamento do projecto SANDEX (PTDC/ECM/70428/2006) e à ARH-Algarve pela cedência de dados.

REFERÊNCIAS

Booij, N., Ris, R. C. and Holthuijsen, (1999). A third-generation wave model for coastal regions,

Part I, Model description and validation, *J. Geoph. Res.*, 104, C4, 7649-7666.

Capitão, R., Sancho, F., Alenquer, N., Proença, B. (2009). Colmatação de Falhas em Dados de Agitação Marítima. O Caso de Faro. 6^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária. Funchal, 8 e 9 de Outubro.

Clímaco, M., Vicente, C. (1997). Porto de Pesca da Quarteira. Impacte da sua Construção no Trânsito Aluvionar e na Morfologia das Praias Adjacentes. – Relatório 9/97 – Net. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa. Janeiro.

Consulmar, Hidroprojecto e Risco (1989). Estudo do Litoral entre o Porto de Recreio de Vilamoura e o molhe Oeste do Rio Guadiana. 1^aFase – Estudos de base. Caracterização do regime litoral e detecção dos problemas existentes. Direcção Geral de Portos, 109p.

DHI (2008). Litpack. Noncohesive Sediment Transport in Currents and Waves. User Guide. Danish Hydraulic Institute, Denmark.

Manso, P. (1998). A shore protection approach to the erosion problem in Peninsula de Faro – Guidelines for an artificial nourishment scheme.

MSc. Thesis, Delft University of Technology, 121 pp.

Oliveira, S.C. de, Catalão, J., Ferreira, Ó., Dias, J.M.A. (2008). Evaluation of Cliff Retreat and Beach Nourishment in Southern Portugal Using Photogrammetric Techniques. *Journal of Coastal Research*. pp. 184-193.

Teixeira, S.B. (2009a). Demarcação do Leito e da Margem das Águas do Mar no Litoral Sul do Algarve. Departamento de Recursos Hídricos do Litoral. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do desenvolvimento Regional. Administração da Região Hidrográfica do Algarve. Fevereiro. Faro. pp. 207.

Teixeira, S.B. (2009b). Alimentação artificial de praias com dragados no Algarve. 1^o Curso Técnico de Dragagens, Junho. Aveiro.

Evolução morfodinâmica de uma escavação de areia na plataforma continental: duas aproximações numéricas com graus de complexidade diferente

J. Rosa (1), D. Santos (2) e P. A. Silva (1)

(1) CESAM & Departamento de Física - Universidade de Aveiro, Campus de Santiago, 3810-193 Aveiro, jpsrosa@ua.pt

(2) Departamento de Física - Universidade de Aveiro, Campus de Santiago, 3810-193 Aveiro

Resumo: A utilização de modelos numéricos na descrição e previsão do balanço sedimentar e das variações da batimetria constitui uma ferramenta indispensável nos estudos da zona costeira. No presente trabalho são aplicados dois modelos de complexidade distinta ao problema da evolução de uma escavação de areia efectuada em Vale do Lobo (Algarve) para realimentação da praia (Teixeira, 2009): um sistema de modelos 2DH MORSYS2D (Fortunato e Oliveira, 2004, Bertin *et al.*, 2009) e um modelo 1D. A comparação dos resultados numéricos permitirá avaliar o desempenho do modelo 1D para descrever a evolução da escavação.

Palavras chave: extracção de areias, plataforma continental, simulações numéricas

1. INTRODUÇÃO

A exploração de depósitos de areias existentes na plataforma continental para diversos fins (ex. alimentação de praias e actividades da indústria e da construção) representa uma alternativa interessante às usuais explorações feitas nos rios e nas suas embocaduras, devido, entre outros, à qualidade do material extraído e à sua disponibilidade (Diesing *et al.*, 2004). As áreas de extracção devem de estar situadas offshore da zona da face da praia para minimizar os efeitos de erosão costeira.

Por outro lado, a extracção de areia é progressivamente mais dispendiosa quanto maior a distância da costa. Assim no planeamento de uma extracção de areia na plataforma é necessário encontrar o melhor equilíbrio entre os efeitos na costa que se pretendem evitar e os custos da extracção (Van Rijn *et al.*, 2005).

A presença da escavação pode alterar a localização da zona de rebentação e modificar o campo de ondulação através de refração e, numa menor extensão através de difracção. Estas modificações conduzem a uma modificação dos padrões de transporte de sedimentos ao longo da costa que consequentemente alteram a sua evolução (Demir *et al.*, 2004). A modificação das correntes médias induzidas pelo vento e maré junto da escavação e áreas adjacentes também alteram os balanços de transporte sedimentar local. As condições hidrodinâmicas ditam também o movimento da escavação e a sua taxa de enchimento, avaliando-se desta forma a evolução batimétrica ao longo do tempo.

Um exemplo conhecido de erosão costeira é o caso da praia de Vale do Lobo, localizada na costa Sul Portuguesa. Esta secção costeira apresenta arribas

verticais com 26 m de altura máxima. Oliveira (2005) mostra que entre 1991 e 1999 as arribas recuaram, em média, 1m/ano. Com o objectivo de abrandar a intensa erosão costeira que afecta a linha de costa ao longo de Vale do Lobo, foi estabelecida uma parceria entre as autoridades administrativas locais e a companhia responsável por um empreendimento turístico neste local tendo sido efectuadas duas operações de realimentação, a primeira em 1999 e a segunda em 2006 (Teixeira, 2009). Nos dois casos, foi extraída areia da plataforma continental interna entre os 15-20m de profundidade. A escavação resultante da segunda dragagem tem uma forma rectangular com aproximadamente 750m de comprimento, 250 metros de largura e com uma profundidade média de 3m, estando localizada a 4000 m da costa (Figura 1). O lado mais longo da escavação está alinhado com os contornos batimétricos.

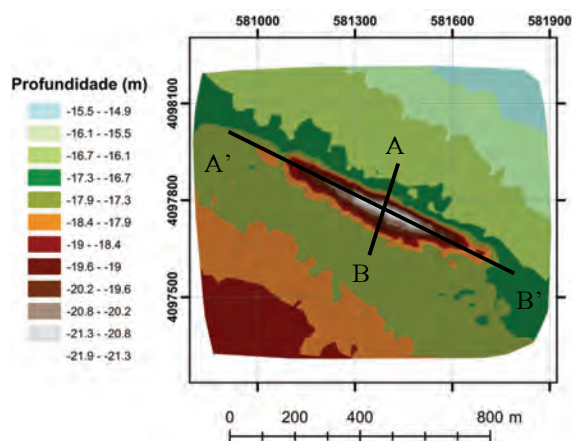


Fig. 1. Contornos batimétricos em torno da escavação resultante de dragagem em 2006 e corte transversal.

Nesta comunicação pretende-se avaliar a evolução temporal da escavação decorrente da dragagem de 2006 através da aplicação de dois modelos numéricos de complexidade diferente: um sistema de modelos morfodinâmico 2D e uma formulação 1D. A *performance* do modelo 2D é avaliada mediante a comparação dos resultados numéricos com os levantamentos batimétricos no local da escavação, em termos das áreas de deposição /erosão. A comparação dos resultados do modelo 1D com os do modelo 2D para um evento de tempestade permitirá aferir a representatividade deste modelo.

2. DESCRIÇÃO DOS MODELOS E CONFIGURAÇÃO NUMÉRICA

2.1. Modelo 2D

Este sistema computacional MORSYS2D (Fortunato e Oliveira, 2004; Bertin *et al.*, 2008) corre o modelo morfodinâmico SAND2D que calcula os fluxos sedimentares através de fórmulas semi-empíricas (por exemplo, Soulsby & Van Rijn e Bijker; Soulsby 1997) acoplado ao modelo hidrodinâmico ELCIRC (Zhang *et al.*, 2004) e ao modelo de propagação de ondas SWAN (Booij *et al.*, 1999). A presente configuração do modelo contempla as acções forçadoras mais representativas (as correntes de maré, o vento e a ondulação). A Figura 2 representa o domínio computacional considerado. As condições de fronteira para o nível da superfície livre associado à propagação da onda de maré são dadas por um modelo regional de larga escala e para a ondulação, são dadas pelo modelo WW3. O campo do vento é especificado a partir do modelo WW3. Assumiu-se um valor constante para o diâmetro mediano de areia, d_{50} , de 0.77 mm. Uma descrição mais detalhada sobre a aplicação e resultados do modelo a este problema pode ser encontrado em Lopes *et al.* (2009) e Rosa *et al.* (2010).

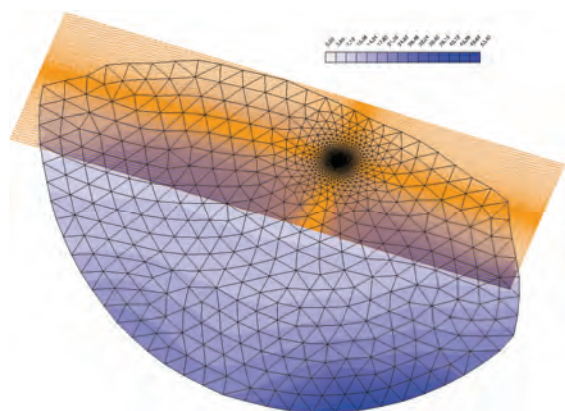


Fig. 2. Malha computacional utilizada no modelo 2D – Malha curvilínea Swan (a amarela) – Malha de elementos finitos triangular coincidente entre o módulo ElcIRC e Sand2d (com batimetria em todo o seu domínio – a azul)

1.2. Modelo 1D

O modelo unidimensional desenvolvido determina a velocidade do escoamento médio associado, por exemplo, às correntes de maré a partir da equação da continuidade e a velocidade orbital junto ao fundo é calculada a partir da teoria linear das ondas de superfície. Os cortes A-B e A'-B' apresentados na Figura 1 representa o domínio computacional do modelo 1D. O espaçamento entre os pontos da malha é constante e igual a 5m. Os valores da velocidade do escoamento médio e da altura de onda na fronteira aberta do modelo (B) foram especificados a partir da solução numérica do modelo 2D sob a hipótese simplificativa que o escoamento se processa na direcção da malha do modelo 1D. A avaliação das taxas de transporte de sedimentos foi efectuada a partir da formulação de Soulsby van Rijn e Bijker (Soulsby, 1997). A batimetria foi actualizada através da resolução da equação de Exner, considerando-se um passo de tempo morfodinâmico de 120s. Como no modelo 2D, o valor de $d_{50}=0.77$ mm.

3. RESULTADOS

3.1 Modelo 2D

A Figura 3 representa a solução numérica da hidrodinâmica obtida com o modelo MORSYS2D entre 28 de Março e 29 de Abril de 2006 para um ponto junto à escavação. A altura significativa da onda entre os dias 5 e 20 regista dois eventos de tempestade com $H_s > 2.5$ m.

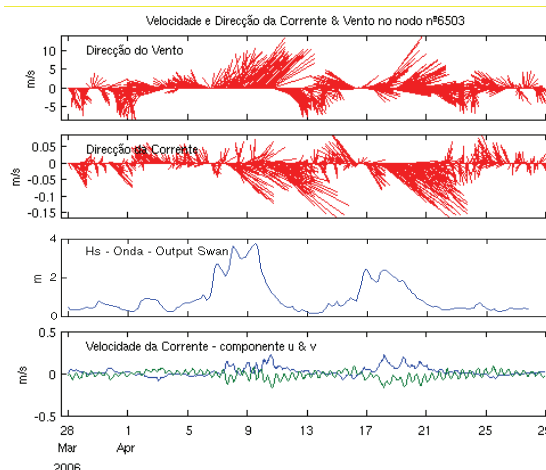


Figura 3. Velocidade e direcção da corrente e vento num ponto junto à escavação.

Da análise da serie temporal das componentes u e v da correntes verifica-se que a componente v contem oscilações associadas á onda de maré, já confirmado anteriormente pela análise das elipses de maré, bem alinhadas segundo a direcção N-S (Lopes *et al.*, 2009). A amplitude da corrente de maré é pequena, cerca de 0.05 m/s naquela região. Nos períodos calmos de vento os valores de u e v são baixos oscilando em torno de 0. Os eventos de tempestade

($H_s > 2.5m$) coincidem com ventos fortes de NW que induzem correntes fortes, de aproximadamente 0.2m/s, permanentes para SE. Verifica-se também que as velocidades orbitais associadas á agitação marítima (não mostrado) são sempre muito baixas excepto para os períodos de tempestade referidos onde atinge valores máximos de 0.5m/s.

A Figura 4 representa a solução numérica da batimetria obtida com o modelo MORSYS2D após 2.5 anos de simulação, entre Maio de 2006 e Novembro de 2008. A comparação com as observações efectuadas nos levantamentos batimétricos e representados na Figura 5 (Gonçalves, 2009) mostra que o modelo é capaz de reproduzir satisfatoriamente a evolução natural da escavação observada.

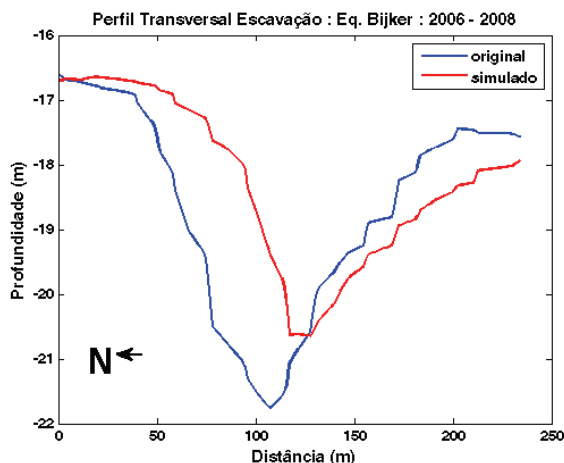


Fig. 4. Batimetria simulada em torno da escavação em Novembro de 2008 - corte transversal

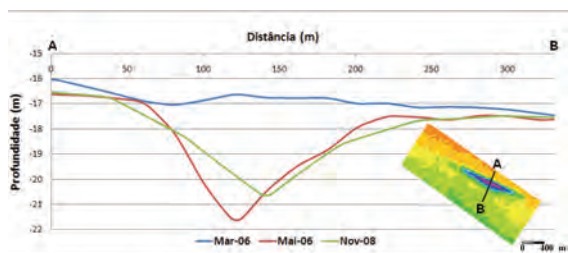


Fig. 5. Corte transversal na escavação ilustrando a batimetria antes e imediatamente após a dragagem (Março e Maio de 2006, respectivamente) e em Novembro de 2008 (Gonçalves, 2009)

3.2 Comparação dos resultados numéricos do modelo 1D e 2D para um evento de tempestade

Rosa *et al.* (2010) mostraram que as variações da batimetria na escavação estão associadas a eventos de tempestade. Desta forma a comparação dos resultados numéricos do modelo 1D e 2D foi efectuado para um mês e considerando o regime de agitação variável conforme a figura 3. No modelo 1D foi considerada para além da corrente de maré uma corrente permanente de 0.2m/s associada á acção do vento.

A Figura 6 mostra a batimetria inicial e a batimetria final calculada para os modelos 1D e 2D.

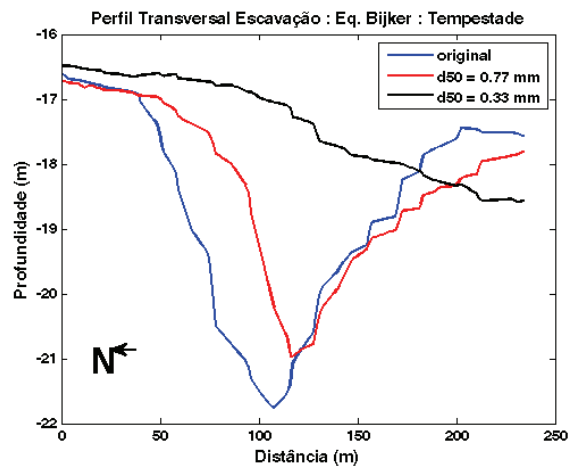
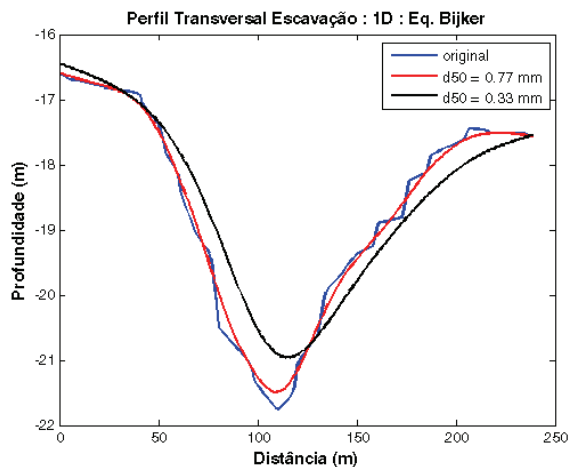


Fig. 6. Perfis transversais da batimetria calculadas com o modelo 1D(a) e 2D (b) em regime de tempestade para diferentes valores d_{50} . Equação de transporte utilizada Bijker.

As soluções numéricas obtidas com a fórmula de Bijker ilustram que o modelo 1D, para reproduzir a tendência de evolução da escavação no perfil transversal considerado, obriga a uma redução do d_{50} .

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho ilustrou a aplicação de dois modelos morfodinâmicos de complexidade diferente ao problema de evolução de uma escavação decorrente de extracção de areia na plataforma continental interna. O modelo 2D apresentado descreve satisfatoriamente a evolução da escavação durante 2,5 anos tendo em conta forçamentos realistas no campo do vento, da agitação marítima e da onda de maré. A evolução da escavação para Sul e Este observada (Gonçalves, 2009) está relacionada com o regime do escoamento simulado das correntes induzidas pelo vento e ondulação na tempestade. O modelo 1D implicitamente assume que o escoamento médio é unidimensional, o que poderá ser válido para pequenos períodos de tempo de simulação. No presente caso, na plataforma continental o escoamento tem uma direcção muito variável e nem sempre alinhada com uma direcção

preferencial, sendo difícil estruturar uma configuração para o modelo 1D que seja representativa da realidade neste caso, onde se conclui que esta configuração é mais aplicável a escoamentos unidireccionais bem polarizados, como exemplo, nas embocaduras dos estuários lagunares.

Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado pela FCT no seguimento do projecto de investigação POCI/ECM/70428/2006. SANDEX - Extracção de areia na plataforma continental portuguesa: impactos e evolução morfodinâmica. Os autores agradecem à equipa de desenvolvimento do modelo MORSYS2D (Anabela Oliveira, André Fortunato e Xavier Bertin) e ao Dr. Sebastião Brás Teixeira e Dr. Marcos Rosa da ARH SUL por providenciar os dados batimétricos.

REFERÊNCIAS

- Bertin, X., Oliveira, A. and Fortunato, A.B. (2009). Simulating morphodynamics on unstructured grids: description and validation of a modeling system for coastal applications. *Ocean Modelling*, 28/1-3, 75-87.
- Booij, N., Ris, R., Holthuijsen, L. (1999). A third-generation wave model for coastal regions. 1. Model description and validation. *Journal of Geophysical Research* 104 (C7), 649-666.
- Demir, H., Otay, E.N., Work, P.A. and Borekci, O.S. (2004). Impacts of dredging on shoreline change. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 130(4), 170-178.
- Diesing, M., Schwarzer, K., Zeiler, M. and Klein H. (2004). Comparison of marine sediment extraction sites by means of shoreface zonation. *Journal of Coastal Research*, vol2, 783-788
- Fortunato, A.B. and Oliveira, A. (2004). A modeling system for tidally driven long-term morphodynamics. *Journal of Hydraulic Research* 42 (4), 426-434.
- Gonçalves, D. S. (2009). *Estudo da evolução de uma área de extracção de areia na margem algarvia*. Tese de mestrado em Eng. Geológica, Universidade de Aveiro.
- Lopes, V., Silva, P. A., Bertin, X., Fortunato, A., Oliveira, A. (2009). Time-evolution of an offshore sandpit: validation of a morphodynamic model, *Journal of Coastal Research*, SI56, 529-533.
- Oliveira, S. (2005). *Evolução recente da linha de costa no troço costeiro Forte Novo-Garrão (Algarve)*, Universidade de Lisboa, Tese de Mestrado, 115p.
- Rosa, J., Silva, P., Bertin, X., Gonçalves, D., Fortunato, A., Pinheiro, L.M. (2010). Dragagem de areias ao largo da costa algarvia. Estudo numérico da evolução de uma escavação. Congresso Ibero-Americano Antropicosta, São Paulo Março 2010 - ID DO TRABALHO: 15030 - CD-ROM.
- Soulsby, R (1997). *Dynamics of marine sands*, Thomas Telford Publications, London, 249 p.
- Teixeira, S.B. (2009). Alimentação artificial de praias com dragados no Algarve. 1º Curso Técnico de Dragagens, Aveiro.
- Van Rijn, L., Soulsby, R., Hoekstra, P. and Davies, A.G (2005). *SANDPIT, Sand Transport and Morphology of Offshore Mining Pits*. Aqua Publications, The Netherlands, pp:156.
- Zhang, Y., Baptista, A.M. and Myers, E.P. (2004). A cross-scale model for 3D baroclinic circulation in estuary-plume-shelf systems: I. Formulation and skill assessment, *Continental Shelf Research*, 110(10), 1431-1456.

Análise multitemporal e morfodinâmica no estuário do Arade com geoprocessamento automático

A.P.F. da Silva (1), A. Santos-Ferreira (2) e E. Dias (3)

(1) CICEGe, DCT - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Univ. NOVA de Lisboa, 2829-516 Caparica; apfs@fct.unl.pt

(2) Instituto Portuário e dos Transportes Marítimos, I.P.

(3) Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa

Resumo: A deposição de materiais sólidos transportados pelo Rio Arade faz-se em toda a zona estuarina, e na zona terminal do rio, a partir de Silves. Entre Silves e a ponte rodoviária de Portimão, os materiais depositados tendem a ser de calibre mais fino que a jusante daquela estrutura.

Considerando a geologia e a geotecnia da bacia hidrográfica, e particularmente as características geotécnicas dos sedimentos depositados naquele estuário, analisa-se neste trabalho, com recurso a ferramentas SIG, a evolução da sedimentação e erosão no estuário, a jusante da ponte rodoviária, considerando a influência da hidrodinâmica estuarina, condicionada pela maré e a topo-hidrografia local, para uma série de anos, entre dragagens de manutenção.

A análise espacial foi desenvolvida em ambiente SIG, com recurso a técnicas de geoprocessamento automático para o modelo estuarino, que incluiu a conceptualização do sistema complexo envolvido, por integração das diversas variáveis do sistema e dos processos associados. Identificam-se e discutem-se os parâmetros chave, as variáveis, as relações, os processos, as estruturas e as escalas envolvidas no sistema, que explicam a deposição de materiais detectadas.

Palavras chave: Sedimentos, hidrodinâmica, granulometria, morfodinâmica.

1. INTRODUÇÃO

O Porto de Portimão apresenta das melhores condições naturais na costa sul de Portugal. A área sob jurisdição portuária vai desde a foz do Rio Arade até à ponte romana em Silves, 13 km a montante. Presentemente, a zona portuária só engloba o trecho fronteiriço à cidade de Portimão verificando-se que a montante da primeira ponte do Arade o rio apenas pode ser utilizado por pequenos barcos turísticos e, em certos locais, apenas na maré cheia. Dois molhes protegem a entrada do porto, a que se segue um canal de navegação com 180m de largura, que se prolonga até ao cais comercial e ao porto de pesca (Weinholtz, 1985).

A manutenção das condições de exploração deste porto implica a realização periódica de dragagens, de modo a manter as suas cotas de exploração. Para o planeamento dessas operações de dragagem é importante conhecer não só o volume de deposição dos sedimentos no interior do porto, mas igualmente a sua distribuição pelas várias áreas do estuário, bem como as características granulométricas dos diversos sedimentos que ali ocorrem.

A análise morfodinâmica dos sedimentos é também importante na definição dos métodos de dragagem a utilizar. De qualquer modo, deve considerar-se que a construção de barragens na bacia do Arade diminuiu, por um lado, os caudais de cheia ocorrentes no estuário e, por outro, limitou a granulometria dos sedimentos transportados até à foz, que consistem numa mistura de seixo fino (em pequena quantidade) até argilas em suspensão (IH, 2002; Dias, 2001).

O presente artigo apresenta um contributo para a análise morfodinâmica do trecho do Rio Arade a jusante da ponte rodoviária com recurso a análise espacial desenvolvida em ambiente SIG.

2. HIDRODINÂMICA DO ESTUÁRIO DO ARADE

A análise efectuada baseou-se em dados de estudos de hidrodinâmica para o Rio Arade de Santos-Ferreira (2006), que se sumarizam nas Figuras 1 a 2. Aqueles estudos, realizados com o modelo RMA2 (Norton e King, 1977), mostram que as maiores velocidades no trecho em referência se verificam na zona de montante, designada zona do baixio, diminuindo drasticamente a jusante, devido ao alargamento da secção de escoamento, na zona da bacia de manobra e porto de pesca. As velocidades aumentam novamente no canal entre o cais comercial e a marina, decrescendo novamente na zona do anteporto. Na barra, as velocidades são elevadas, da ordem das do canal do baixio (*op. cit.*, 2006).

A distribuição das velocidades de pico no trecho em estudo foi utilizada na interpretação da morfodinâmica dos sedimentos.

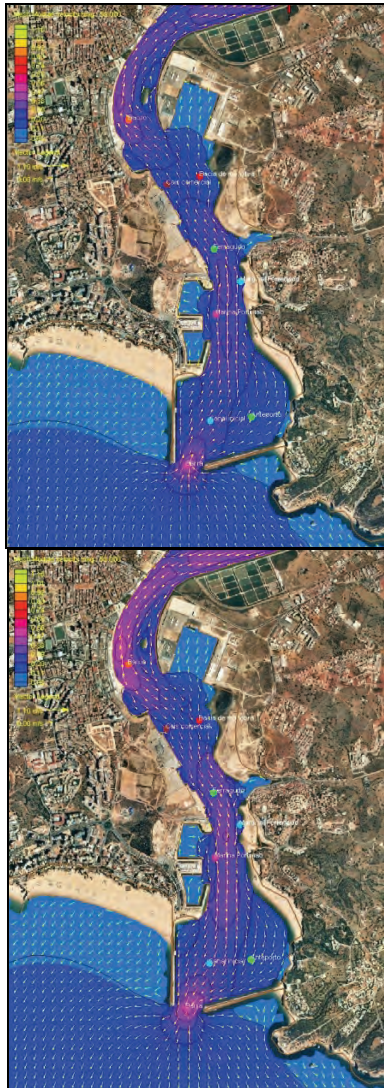


Fig. 1. O pico da velocidade respectivamente na enchente e na vazante (Santos-Ferreira, 2006, adaptado); velocidades entre $0.10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (azul escuro) e $0.47 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (roxo).

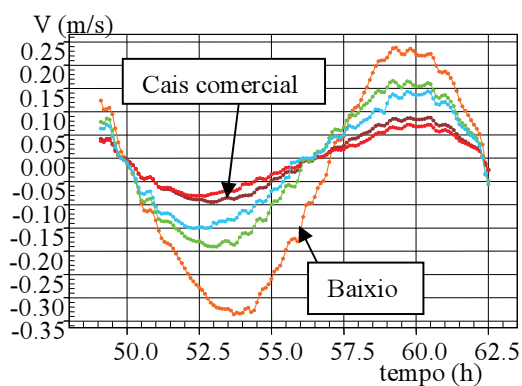


Fig. 2. Velocidades nos pontos de referência, num ciclo de maré; velocidades negativas correspondem à vazante (Santos-Ferreira, 2006, adaptado).

3. MÉTODOS E RESULTADOS

3.1 Geoprocessamento automático para gestão geotécnica de dragados

Considerando os princípios gerais de uma gestão integrada de gestão de sedimentos em áreas portuárias (Paixão, 2000; Dias, 2005), visou-se desenvolver uma solução que constituísse uma base de trabalho para a produção parcialmente automatizada de cartografia georreferenciada de sedimentos de áreas portuárias.

Desenvolveu-se um sistema de análise, denominado por *SAMM* – Sistema de Análise Multitemporal e Morfodinâmica, baseado num modelo conceptual de análise morfodinâmica e multitemporal de sedimentos em áreas portuárias, automatizando a produção de mapas (Silva, 2003). Inclui a conversão de diferentes formatos de dados, a geração de superfícies de diferentes granulometrias por métodos de interpolação (Soares, 2000) das várias classes granulométricas, o zonamento da área em análise e o cálculo de áreas e volumes depositados e erodidos para cada tipologia de sedimentos (neste caso 4 classes granulométricas, a saber: seixo, areia, silte e argila). Este sistema foi desenvolvido utilizando o módulo *Model Builder* do software ArcGIS, da ESRI, e consiste num conjunto de ferramentas que operam de uma forma integrada e sequencial no cálculo dos diversos componentes, viabilizando a arquitectura de modelos num projecto. Foram construídos cinco modelos parcelares (M1 a M5), cada um deles com processos específicos visando a obtenção de mapas de saída com a informação desejada. De seguida discriminam-se os 5 modelos:

M1 – Modelo de conversão de entidades CAD em entidades vectoriais, *shapefile*.

M2 – Modelo de cálculo de modelos digitais de batimetrias, *tin e raster*.

M3 – Modelo de interpolação das granulometrias, método determinístico IDW.

M4 – Modelo preliminar de zonamento dos sedimentos de áreas portuária.

M5 – Modelo de cálculo de áreas e volumes de deposição e erosão/dragagem.

3.2 Análise morfodinâmica

Da implementação daqueles modelos (M1 a M3), derivaram-se os mapas que se apresentam nas Figuras 3 a 7. A caracterização de sedimentos utilizada foi, essencialmente, a de uma campanha realizada para o Instituto Portuário e dos Transportes Marítimos - IPTM (IH, 2002).



Figura 3. Estações de colheita de sedimentos.

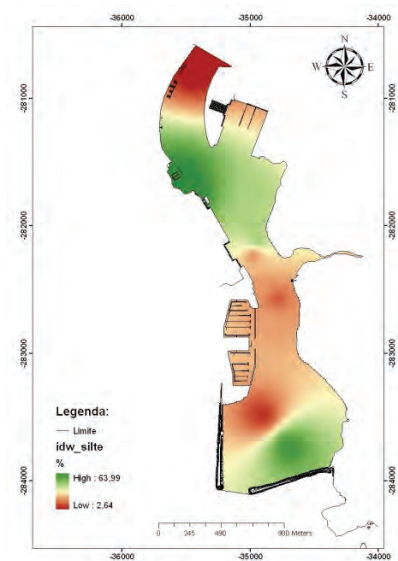


Figura 6. Mapa de interpolação de siltes (em%), obtido pelo modelo M3.

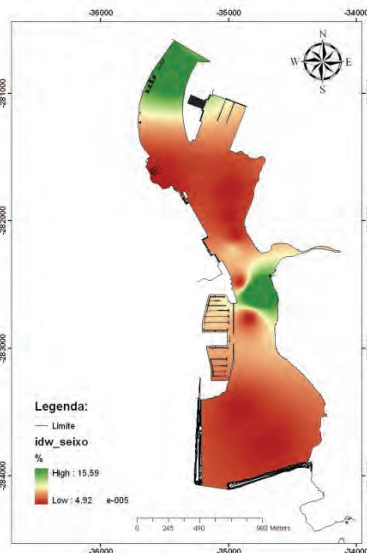


Figura 4. Mapa de interpolação de seixo (em %), obtido pelo modelo M3.

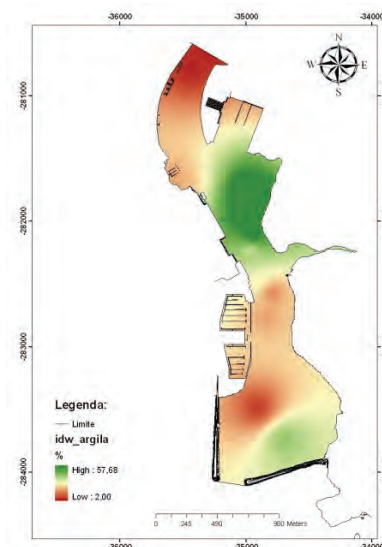


Figura 7. Mapa de interpolação de argilas (em%), obtido pelo modelo M3.

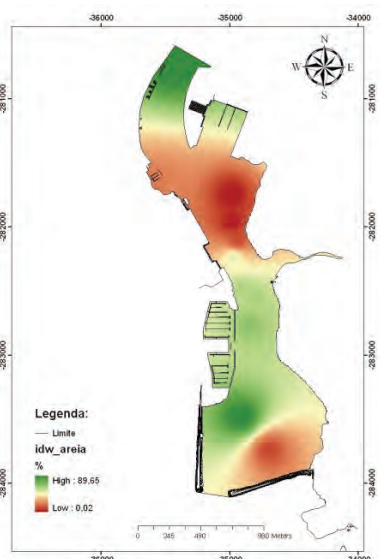


Figura 5. Mapa de interpolação de areias (em%), obtido pelo modelo M3.

3.3 Análise multitemporal

Para a análise multitemporal, elaborada com o Modelo 5, foram utilizados os levantamentos topohidrográficos de 2000, 2003, 2005 e 2007. O modelo digital de batimetrias, para o levantamento de 2000, encontra-se na Figura 8; os restantes resultados apresentam-se na Figura 9.

A interpretação correcta dos resultados desta análise multitemporal exige a inclusão de informação sobre as dragagens de manutenção realizadas no período em análise, e será objecto de trabalho ulterior a este. De qualquer forma, os resultados preliminares obtidos, e representados graficamente na Figura 9, confirmam o conhecimento prévio da necessidade de dragagens de manutenção de um volume aproximado de 100.000m³/ano.

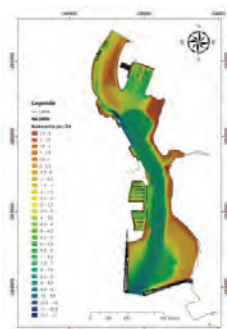


Figura 8. Modelo digital de topo-hidrografia (tin) obtido pelo modelo M2 (referente a 2000).

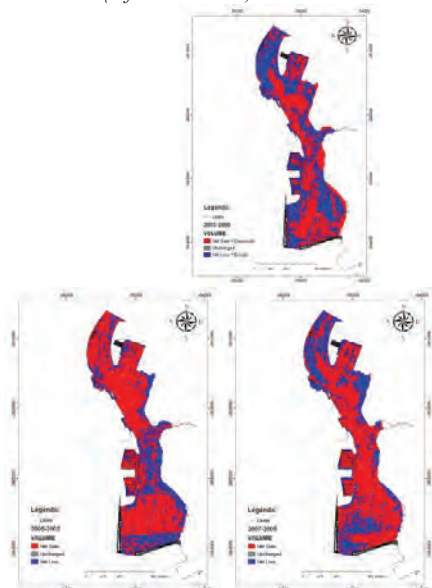


Figura 9. Análise multitemporal pelo modelo M5, respectivamente para os anos de 2000-03, 2003-5 e 2005-07.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

A análise dos resultados obtidos permite concluir que:

Os materiais mais grosseiros carregados pelo escoamento fluvial depositam-se na zona de montante do estuário, na zona da ponte rodoviária e do baixo.

Imediatamente a jusante do baixo, no alargamento da bacia de manobra, doca de S. Francisco, porto de pesca e cais comercial, depositam-se os materiais finos vindos de montante, siltes e argilas.

No canal entre Ferragudo e a Marina, a deposição é de, sobretudo, areias que, pela análise da hidrodinâmica estuarina, deverão ter origem no transporte costeiro.

Junto à chamada Angrinha, a jusante de Ferragudo, verifica-se uma deposição significativa de seixo, cuja origem só poderá ser o transporte das duas linhas de água torrenciais que ali desaguam.

5. CONCLUSÃO

O sistema de análise desenvolvido, considera-se adequado e responde às necessidades de gestão de

sedimentos em áreas portuárias. No entanto, salienta-se que existem limitações de processamento em domínio totalmente automático, e que se devem ao actual estado de desenvolvimento da tecnologia *Model Builder*.

A deposição preferencial das diversas granulometrias está em consonância com as velocidades de escoamento máximas, tanto na enchente, como na vazante.

Verifica-se que o controlo dos volumes depositados e erodidos entre levantamentos topo-hidrográficos fica muito facilitado com as ferramentas desenvolvidas e apresentadas.

REFERÊNCIAS

- Dias, E. (2005). Utilização de um sistema de informação geográfica na caracterização de áreas de dragagem. Dissertação de mestrado, ISEGI, Universidade Nova de Lisboa.
- Dias, Elisabete (2001). Caracterização dos sedimentos do estuário do Arade, de Portimão a Silves. IPTM
- IH, Instituto Hidrográfico (2002). Caracterização físico-química de sedimentos na área do porto de Portimão e barra. Rel f. Lisboa.
- Norton, W. R. & King, I.P. (1977). Operating Instruction for the Computer Program RMA2-2V. R M Associates, Lafayette, CA, USA.
- Paixão, G. L. (2000). Gestão Ambiental Integrada de Dragagens nas Zonas Costeiras e em Áreas Portuárias: Seminário EUROCOAST: Perspectiva de Gestão Integrada de Ambientes Costeiros (Universidade de Coimbra, Portugal)
- Santos-Ferreira, A.M.G. (2006). Impacte do plano do porto de Portimão na hidrodinâmica do estuário do Arade. Dissertação de Mestrado, Julho de 2006, IST, Lisboa.
- Silva, A.P.F. (2003). Cartografia geotécnica e o sistema de informação Geo-Almada. Tese de Doutoramento (Geotecnia), FCT/UNL, Monte de Caparica, 2 vols.
- Soares, A. (2000). Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente (Lisboa: IST Press).
- Weinholtz, M.B. (1985). Estudo da Situação do Troço Terminal do Rio Arade a Jusante das Pontes e Zona marítima Frontal após a Conclusão da Primeira Fase das Obras Portuárias. Direcção-Geral de Portos, Lisboa.

Erosão e sedimentação no estuário do Arade. Interpretação da evolução com consideração da hidrodinâmica estuarina.

A. Trigo Teixeira (1) e A. Santos Ferreira (2)

(1) Instituto Superior Técnico. alex@civil.ist.utl.pt

(2) Instituto Portuário e dos Transportes Marítimos, I.P.

Resumo: Neste trabalho faz-se um estudo sobre a situação actual do estuário, no que se refere a deposição e erosão de sedimentos, determinando-se as zonas em que estes fenómenos ocorrem, e aquelas em que existe um equilíbrio. Caracteriza-se a situação hidrodinâmica actual do estuário, recorrendo a um modelo de maré e considerando caudais médios do Arade e seus afluentes.

Relacionam-se de seguida os dados obtidos por modelação da série de levantamentos topohidrográficos utilizados para as zonas de erosão e deposição, no período em estudo, com as velocidades de pico de enchente e vazante determinadas com o modelo hidrodinâmico. Considera-se igualmente as zonas em que se verifica equilíbrio entre deposições e erosões.

Por último estimam-se as necessidades de dragagens de manutenção neste estuário, de modo a manter as condições de operacionalidade do porto.

Palavras chave: Estuário, hidrodinâmica, erosão, deposição, sedimentos.

1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho pretende-se analisar as necessidades de dragagem de manutenção no porto de Portimão. Para isso, e para além de uma análise da hidrodinâmica do estuário, estuda-se a situação actual de deposição e erosão de sedimentos, relacionando-as.

Informação detalhada sobre o modelo hidrodinâmico do Arade pode ser encontrado no trabalho de (Santos-Ferreira, 2006).

2. ESTUÁRIO DO RIO ARADE

2.1 Zona em estudo

A modelação efectuada do estuário do rio Arade engloba a zona costeira até à Ponta da Piedade, a poente de Lagos, e até próximo de Vilamoura, a nascente. Pretendeu-se, considerando a extensão de costa, garantir que as condições de maré que fossem estabelecidas à entrada da barra estariam livres de influências indesejadas da posição da fronteira oceânica do modelo.

Para o interior foi considerado o rio Arade até à ponte romana de Silves, numa extensão da ordem dos 13 Km, e a ribeira de Odelouca até uma secção a cerca de 14 Km a montante da foz do Arade (Figura 1). Pretendia-se, deste modo, obter, na zona em estudo – estuário do Arade entre a ponte rodoviária de Portimão e a barra – a situação mais representativa possível.

A calibração do modelo foi feita em três pontos (ver Figura 2), respectivamente a montante da ponte ferroviária, na Mexilhoeira Grande, na junção da ribeira de Odelouca com o Arade, e a jusante da ponte romana em Silves. As observações de que se dispunha para a calibração do modelo englobavam as

cotas da superfície livre do escoamento, ao longo de uma maré.

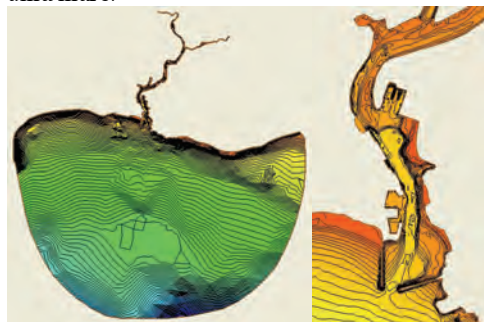


Fig. 1. Batimetria considerada, zona modelada, e área em estudo.

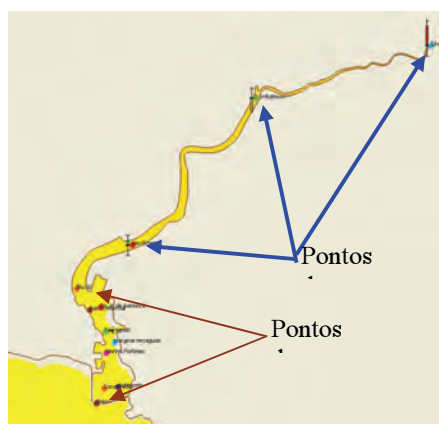


Fig. 2. Pontos de calibração e de observação do modelo hidrodinâmico.

2.2 Hidrodinâmica actual

A situação analisada corresponde à situação actual do porto de Portimão; no entanto utilizou-se como ainda representativa a topohidrografia do levantamento do IH de 2003.

Considerou-se para esta modelação, a maré de 27 de Fevereiro de 2002, por um lado, por representar uma maré de águas vivas, por outro lado, por corresponder à situação da obtenção dos valores de calibração do modelo. De um modo geral, a maré tipo utilizada apresenta, no mar, uma preia-mar de 3.69 m ZH, e uma baixa-mar de 0.30 m ZH (ver Figura 3).

O modelo correu por um período de 65 horas, ou seja, por mais de 5 ciclos completos de enchente e vazante. Pretendeu-se, deste modo, estabilizar os resultados obtidos, já que, em geral, e na aplicação do modelo RMA2 aqui utilizado (Norton e King, 1977), os dois ou três primeiros ciclos apresentam oscilações antes que se consiga a estabilização da solução. Assim, o período considerado para análise foi o compreendido entre as 48 e as 62.3 horas de simulação.

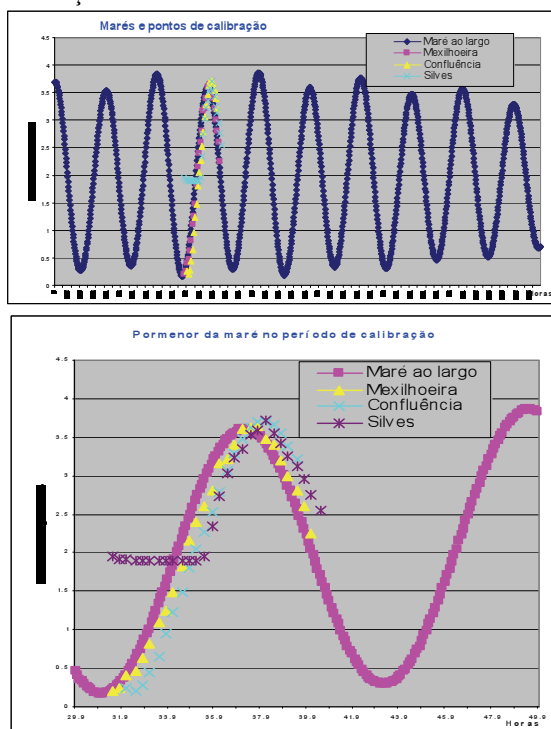


Fig. 3 Registo das marés utilizadas nas simulações (utilizou-se o período das 0 às 65 horas); apresenta-se também, para referência, os valores medidos para calibração.

Nas Figuras 4 e 5 apresentam-se alguns dos resultados que se consideraram mais relevantes tanto para a análise que se pretendeu efectuar, como para a compreensão da hidrodinâmica da zona em estudo.



Fig. 4. Situação determinada para os picos de vazante e enchente, respectivamente.

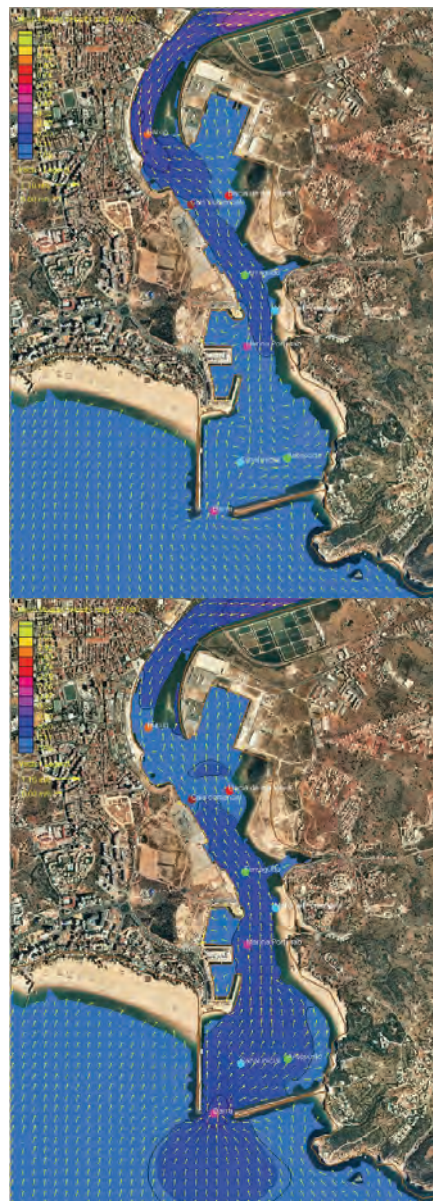


Fig. 5 Situação de referência. Vazante e enchente: 56 e 57 horas.

3. ANÁLISE DAS EROSÕES E ASSOREAMENTOS DO ESTUÁRIO

3.1 Método

A metodologia que foi aplicada consiste em:

Determinação, segundo o preconizado por (Dias, 2005), das zonas de erosão e de deposição de materiais. Esta determinação fez-se recorrendo a ferramentas de SIG, nomeadamente o 3D Analyst e o Spatial Analyst do ArcGis.

Determinar as velocidades máximas de vazante, em cada uma das zonas definidas, para as zonas de deposição de materiais, e para a zona de erosão de materiais.

Utilizaram-se os levantamentos de 2000 e de 2003 de todo o porto de Portimão.

A aplicação desta ferramenta, simples de utilizar sobre levantamentos georeferenciados, permite (Silva, 2003), por diferença de levantamentos topohidrográficos separados por um certo intervalo de tempo, determinar os locais onde as cotas subiram (deposição de material), ou baixaram (erosão de sedimentos), e qual o valor da diferença.

3.2 Resultados obtidos

Foi utilizada a caracterização dos sedimentos do estuário do Arade de Dias, 2001.

No que respeita às erosões, e começando pela zona 1 (Figura 6), correspondente ao porto de pesca, foi realizada, no ano de 2001, uma dragagem de manutenção, já que esta zona, e sobretudo a sua entrada e a zona junto à rampa varadouro estava muito assoreada. Não se verificou aqui, de facto, uma erosão, mas sim uma dragagem de manutenção; na área restante do porto de pesca, a alternância entre zonas erodidas e assoreadas, qualquer delas de valores muito reduzidos, correspondem à zona de atracação dos barcos, e às zonas sob as estacadas cais, e indicam que praticamente não houve movimentação de sedimentos.

A zona 2, que aparece nesta análise como fortemente erodida, foi, de facto, sujeita a uma dragagem pontual, já que é uma zona de forte deposição de sedimentos; o troço a montante desta zona, igualmente na foz da ribeira de Ferragudo, é, de facto, uma zona de elevada erosão.

Na zona 3 houve uma deposição de areias, por parte dos departamentos regionais do ambiente, ao longo da praia, e como reforço a esta. Segundo a experiência empírica, confirmada no caso presente, a areia que se deposita nesta praia é arrastada para o anteporto, assoreando-o; assim, neste caso, em toda a zona sujeita às marés, houve uma erosão de todo o material aí depositado, e de mais algum, como seria de esperar. Acima da cota de variação da maré manteve-se a areia depositada.

A zona 4 corresponde à Doca de S. Francisco. No período entre os dois levantamentos gerais

concluíram-se as obras de estabelecimento desta doca, tendo-se procedido à dragagem de primeiro estabelecimento. Assim, não houve aqui qualquer erosão – aliás é provável que se venham a verificar assoreamentos relativamente elevados – mas sim uma dragagem de estabelecimento de uma nova infra-estrutura portuária.

A zona 5 corresponde ao troço a montante da Doca de S. Francisco e do porto de pesca, e a jusante da ponte rodoviária. A erosão verificada é muito pequena, verificando-se igualmente um pequeno assoreamento debaixo das pontes cais, e no extremo de jusante do banco de areia (baixio).

A zona 6 é uma zona lodosa, e areno-lodosa, com uma cota geral situada entre a baixa-mar e a preia-mar, sendo assim coberta e descoberta em todos os ciclos de maré. Alterna entre erosão e deposição de sedimentos, mas sempre com um valor muito reduzido, estando quase em equilíbrio na situação actual.

A zona 7 é uma zona tradicional de erosão, tendência essa agravada com a construção da Marina de Portimão, do outro lado do Arade, com o conseqüente estreitamento do canal. Os sedimentos aqui erodidos vão, em geral, depositar-se no anteporto.

A zona 8 corresponde à barra, e a erosão que aí se observa, da ordem da dezena de centímetros, não é significativa, e poderá estar ligada a fenómenos periódicos de temporal e conseqüentemente, maiores velocidades na barra.



Fig. 6 - Zonas de erosão.

No que respeita às zonas de deposição de sedimentos, cujo estudo está sumariado na Figura 7, analisam-se sobretudo, as zonas A, B, C e D.

A zona A corresponde ao extremo de jusante do banco de areia existente frente à zona central de

Portimão, e situa-se num local de alargamento do canal principal de circulação da água, com a consequente diminuição da velocidade e, por conseguinte, da capacidade de transporte do escoamento.

A zona B, correspondendo ao cais comercial e à bacia de manobra, é a zona mais larga neste trecho do estuário, onde, portanto, as velocidades do escoamento baixam, assim como a capacidade de transporte do escoamento.

A zona C é uma zona particularmente sensível. De facto, actualmente, as zonas de erosão e de deposição, sempre de pequena amplitude, alternam, significando, que aqui o sistema está próximo do equilíbrio, no canal de navegação. No entanto há uma deposição acentuada tanto junto à entrada da marina de Portimão, na margem direita, como junto ao areal da margem esquerda.

A zona D, correspondendo ao primeiro troço do canal de navegação, e ao anteporto, está muito assoreada, o que se compreende atendendo a que é a zona mais larga do estuário, e que se encontra a jusante das zonas de forte erosão 3 e 7.



Fig. 7. Zonas de deposição de sedimentos.

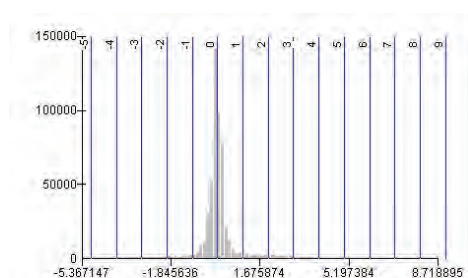


Fig. 8 Histograma de distribuição das espessuras de erosão e de sedimentação.

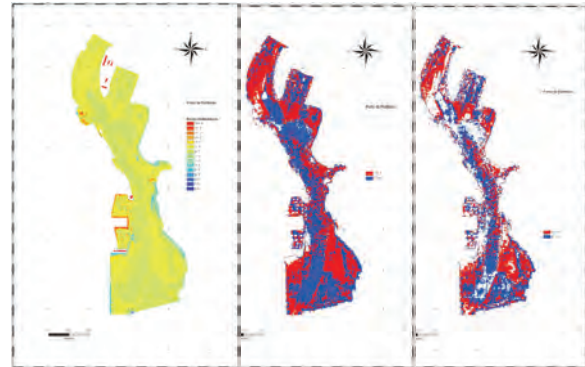


Fig. 9 Mapas representativos de: a) erosões e sedimentações totais, intervalos de 1m; b) mapa representativo das erosões entre 0 e -0.5m, e das sedimentações entre 0 e +0.5m; c) mapa representativo das erosões entre 0 e -0.20m, e das sedimentações entre 0 e +0.20m.

A análise da Figura 8, que mostra o histograma da distribuição das espessuras de erosão e sedimentação revela que a quase totalidade do estuário apresenta variações inferiores a 50cm. Este facto é explicitado igualmente pela Figura 9.

4. CONCLUSÕES

Verifica-se que a metodologia apresentada na presente comunicação, permite a avaliação dos volumes a dragar no âmbito da gestão portuária, e facilita também o controlo dos volumes depositados e erodidos entre as datas de realização de levantamentos topo-hidrográficos. O conhecimento da hidrodinâmica estuarina, por outro lado, dá indicações fundamentais sobre as zonas potenciais de erosão e de sedimentação.

REFERÊNCIAS

- Dias, E. (2005). Utilização de um sistema de informação geográfica na caracterização de áreas de dragagem. Dissertação de mestrado, ISEGI, Universidade Nova de Lisboa.
- Dias, E. (2001). Caracterização dos sedimentos do estuário do Arade, de Portimão a Silves. IPTM.
- Norton, W. R. & King, I.P. (1977). Operating Instruction for the Computer Program RMA2-2V. R M Associates, Lafayette, CA, USA.
- Santos-Ferreira, A.M.G. (2006). Impacte do plano do porto de Portimão na hidrodinâmica do estuário do Arade. Dissertação de Mestrado, Julho de 2006, IST, Lisboa.
- Silva, A.P.F. (2003). Cartografia geotécnica e o sistema de informação Geo-Almada. Tese de Doutoramento (Geotecnia), FCT/UNL, Monte de Caparica, 2 vols.

Oceanografia física – aplicações locais e regionais

A coastal countercurrent in the south coast of Portugal – Summer 2006

Mónica Rosa¹, Alexandra Cravo² and Paulo Relvas²

²CIMA, FCT, University of Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal

¹e-mail: monicasofiarosa@gmail.com

Abstract: During a cruise conducted in the south Portuguese coast in July/August 2006 under the scientific project DYNOCOSTAL (PDCTE/CTA/50388/2003), in collaboration with Instituto Hidrográfico - Portugal, it was aimed to characterize physical and chemically the inshore coastal countercurrent, recurrently observed during periods of relaxation or easterly winds. The studied parameters were: temperature, salinity, density, nutrients, suspended solids, dissolved oxygen, along with chlorophyll a concentrations. The data integration led to the identification of two water masses with different features: one at the surface, observed inshore, with high temperature and salinity and low concentrations of nutrients and chlorophyll a, typical of the coastal countercurrent; and other subsuperficial, with lower temperature and salinity, richer in chlorophyll a and nutrients enrichment towards the bottom. However due to the wind shift, predominantly N and NW, the coastal countercurrent retreated and was masked by a stronger upwelling event.

Palavras chave: contracorrente

1. INTRODUÇÃO

A costa W da Península Ibérica é o limite Norte do sistema de *afloramento costeiro* do Atlântico Nordeste (Sánchez & Relvas, 2003). A predominância de ventos de norte, de Maio a Outubro, é a principal razão para a ocorrência deste fenómeno (Haynes & Barton, 1990; Castro *et al.*, 1999; Relvas & Barton, 2002; Sánchez & Relvas, 2003). O sistema de ventos e afloramento é por isso um sistema de ventos sazonal (Relvas, 1999; Martins *et al.*, 2002). A ocorrência de afloramento costeiro propicia o rápido desenvolvimento do fitoplâncton, induzido pela remineralização de nutrientes dos fundos marinhos que são trazidos à superfície causando um enriquecimento das camadas superficiais, caracterizado por uma maior e mais rápida depleção de nutrientes à superfície (McNider & O'Brien, 1973; Castro *et al.*, 2000). Dentro do sistema de afloramento, ao longo do flanco norte do golfo de Cádiz, é detectada uma contracorrente costeira superficial, de águas mais quentes provenientes do Golfo de Cádiz, para Oeste, com uma largura de 15 - 25 km, que transpõe o CSM e atinge o CSV rodando no sentido horário e fluindo para norte ao longo da costa oeste. O desenvolvimento desta coincide com períodos de relaxamento do afloramento provocado pela mudança no regime de ventos ao longo da costa sul algarvia, (Relvas, 1999; Relvas & Barton, 2002; Sánchez & Relvas, 2003; Sánchez, *et al.*, 2006). Esta contracorrente é denominada de *Contracorrente Costeira*.

Com o objectivo de conhecer melhor a contracorrente costeira, tanto a nível físico como químico e biológico, foi realizada a missão oceanográfica – DYNOCOSTAL '06. A análise das amostras recolhidas, para determinação química, conjuntamente com os dados de

Conductivity, Temperature & Depth (CTD) aquando da missão oceanográfica pretende aprofundar o conhecimento existente, a nível químico e físico deste fenómeno.

2. MÉTODOS

A área de estudo foi seleccionada com base na análise prévia de imagens de satélite de SST (temperatura superficial da água) numa altura em que a contracorrente ao largo da costa no sul de Portugal esteve relativamente desenvolvida como se pode ver na Figura 1. Como resultado desta observação definiram-se os transectos de amostragem. Como esta corrente é uma corrente superficial, as amostragens efectuadas para análise química não excederam os 200m.

Os dois transectos IA e II, localizados em frente a Quarteira (N36°48'33.1'' W8°00'00.4'' a N37°00'00.7'' W8°00'00.4'') e Lagos (N37°03'28.4'' W8°40'00.1'' a N36°51'23.4'' W8°39'56.9'') respectivamente, foram planeados com o intuito de comparar a intensidade da contracorrente costeira perpendicularmente à costa e de forma a avaliar a sua evolução temporal, a qual se revelou mais intensa em frente a Quarteira, repetindo-se o Transecto I ao fim de 2 dias (IB). A distância entre os dois transectos foi de aproximadamente 78 km, com espaçamento entre estações de ~5 km. Cada um destes transectos teve uma extensão de ~20 km e foram amostradas estações para caracterização de temperatura, salinidade e profundidade através de registo de CTD Hidronaut OS 316 e recolhidas amostras na *rosette* na qual estavam acopladas 10 garrafas de *Niskin*, com capacidade de 2.5 L, a 7 níveis previamente definidos: -5, -10, -20, -30, -50, -75, -100 metros, para caracterização química de nutrientes, clorofila *a*, sólidos suspensos e oxigénio dissolvido.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No decorrer da missão, os ventos na costa Sul Portuguesa sopraram predominantemente do quadrante de NW, com intensidade média, sendo este um período típico de afloramento costeiro. Como consequência, o que foi observado foi o retrocesso da contracorrente costeira que se fez sentir nos dias anteriores à missão, de 15 a 25 Julho e o desenvolvimento do filamento de afloramento costeiro na costa Oeste, com um braço que contornou o CSV e que se estendeu para Este, na direcção do golfo de Cádiz, com temperaturas $\approx 19^\circ\text{C}$. Nesta altura do ano, é comum o desenvolvimento de um filamento de afloramento costeiro com estas características, tal como descrito por Relvas, (1999), Relvas & Barton (2002), Sánchez & Relvas (2003) e Criado-Aldeanueva *et al.* (2006). Junto à costa, sobre a plataforma continental e numa zona mais interior em relação ao filamento de afloramento, pôde identificar-se ainda, uma faixa de água com valores de temperatura mais elevados, entre os 22°C e os 24°C , caracterizada como sendo a contracorrente costeira. Esta teve um recuo (para Este) do dia 28 de Julho para o dia 2 de Agosto. Estudos efectuados por Relvas & Barton (2002), Sánchez & Relvas (2003), Relvas & Barton (2005), García-Lafuente *et al.* (2006), Sánchez, *et al.* (2006), Criado-Aldeanueva *et al.* (2006 a), García-Lafuente & Ruiz (2007) e Relvas *et al.* (2007) mostram valores semelhantes aos encontrados neste trabalho, identificando uma contracorrente costeira para Oeste durante a época de verão, numa altura em que ocorre relaxamento dos ventos propícios à ocorrência de afloramento costeiro na costa Sul de Portugal.

Para os parâmetros temperatura, salinidade e densidade, foram representados os campos verticais entre os 5 e os 300 m de profundidade. Em cada transecto, os perfis verticais destes parâmetros são semelhantes entre si (Figura 2). A Tabela 1 apresenta os valores de variação dos parâmetros acima mencionados nos primeiros 30m da coluna de água, onde se observaram as diferenças mais acentuadas entre transectos.

O estudo dos dados de temperatura, salinidade e densidade (Figura 2) complementaram a análise de imagens de satélite, tanto para os ventos como para a temperatura superficial, uma vez que se pode detectar, nos dois transectos, o fenómeno de afloramento costeiro mas apenas nas camadas abaixo dos 30/50m de profundidade. Na camada superficial (entre os 0 e 30-50m), do transecto IA para o II pode observar-se uma diminuição da temperatura, o que leva a supor que as diferentes zonas apresentam algumas diferenças quanto aos padrões de circulação superficial. Isto é, mais próximo do CSM verifica-se uma maior influência superficial da contracorrente, com campos de temperatura e densidade bem

definidos e abaixo desta, uma massa de água com características mais frias e densas, característico de águas afloradas. No transecto IA pode observar-se uma termoclina bem definida ($\approx 40\text{m}$) que separa estas duas massas de água. Do transecto IA para o IB verificou-se a retracção da contracorrente superficial, ao fim de 2 dias, uma vez que, no transecto IB, a temperatura superficial diminuiu ligeiramente em relação ao transecto IA, o que leva a supôr que o afloramento também se tornou mais forte, levando a contracorrente a recuar mais para Este. Através da análise dos resultados de distribuição da concentração de clorofila *a*, pôde observar-se que os valores máximos de concentração no transecto IA ($5,69 \mu\text{g/L}$) se situaram em estações mais afastadas da costa ao contrário dos transectos II ($2,58 \mu\text{g/L}$) e IB ($3,42 \mu\text{g/L}$), onde os máximos se situaram junto à costa. No transecto IA, os máximos detectados nas estações mais afastadas da costa, serão consequência da influência de afloramento. Os resultados obtidos vêm confirmar que no transecto II e IB existe uma maior influência de afloramento costeiro em relação ao transecto IA, uma vez que se pôde observar o avanço das concentrações máximas detectadas em direcção à costa, do transecto IA para o transecto IB e II. Dos perfis verticais de clorofila *a*/total de pigmentos verificou-se que a população jovem de fitoplanctones se encontra, em geral, junto à superfície e nas estações mais afastadas da costa no transecto IA, e junto à costa no transecto II e IB. Aqui, verifica-se que existe uma depleção acentuada na concentração de nutrientes. Os nitratos apresentam, na camada superficial, valores $<2\mu\text{M}$, os fosfatos concentrações $<0.2\mu\text{M}$, e os silicatos concentrações $2-2.5\mu\text{M}$, aumentando, em geral, em profundidade. A depleção de nutrientes, na camada superficial, está directamente ligada aos fitoplanctones, uma vez que estes, em situação de maior estabilidade hidrodinâmica, podem consumir os nutrientes necessários de um modo mais eficiente. É ainda de referir que na transecto IA, onde a contracorrente foi mais evidente (junto à costa e à superfície) a concentração de nutrientes foi baixa, o que sugere que esta água apresenta baixos valores de nutrientes, o que irá limitar o crescimento fitoplanctónico nesta água relativamente quente e salina. Relativamente aos transectos II e IB, com a intensificação do afloramento costeiro, verificou-se um ressurgimento de nutrientes de níveis mais profundos para a superfície, que foi visível pela inclinação das isolinhas, que seguem a linha de costa e que foi responsável pelo aumento de clorofila *a* nestes níveis e que posteriormente conduziu à depleção dos nutrientes nos níveis mais superficiais.

Pode então dizer-se que das duas massas de águas identificadas, quer ao nível da clorofila *a* quer de nutrientes, evidenciaram diferenças de concentração relevantes, pois enquanto as águas de afloramento apresentam valores elevados de clorofila *a* à superfície, as águas de contracorrente, em oposição, apresentam valores baixos de clorofila *a*. Os nutrientes, no presente estudo não foram um bom identificador de contracorrente costeira, apesar de o transecto IA, à superfície (onde a contracorrente foi melhor identificada) apresentar um perfil de distribuição vertical de todos os nutrientes diferente dos observados para os transectos II e IB. Isto pode ficar a dever-se ao facto de, aquando da realização da missão oceanográfica, a contracorrente já estar em retrocesso, e o que se observou foi predominantemente a influência de afloramento (que levou ao consumo de nutrientes por parte do fitoplâncton que se desenvolveu entretanto), o qual se sobrepôs à contracorrente, que retrocedeu.

Estes dados conjuntamente com os dados das imagens de satélite de temperatura e ventos superficiais permitiu a identificação de contracorrente costeira muito junto à costa e a nível muito superficial, de forma mais evidente no transecto IA (1º dia de missão). Verificou-se ainda, que a mesma veio a retroceder pois nos transectos II e IB, realizados nos dias seguintes, por influência dos ventos de NW provocou uma intensificação do afloramento costeiro, que se sobrepôs à presença da contracorrente, para a maioria dos parâmetros estudados. Contudo, os dados parecem indicar que esta contracorrente é caracterizada por uma massa de água mais quente e salina, relativamente pobre em nutrientes e por isso limitante para o fitoplâncton, como reflectido nos valores relativamente baixos de clorofila *a*.

Agradecimentos

Ao Instituto Hidrográfico pela disponibilidade e parceria demonstradas durante a realização da missão e todo o processo de ajuda de tratamento de dados CTD.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castro, C.; Pérez, F.; Álvarez-Salgado, X.A.; Fraga, F. (2000). *Coupling between the termohaline, chemical and biological fields during two contrasting upwelling events off the NW Iberian Peninsula*, Continental Shelf Research, 20, 189-210pp.
- Criado-Aldeanueva, F., Garcia-Lafuente, J., Vargas, J., Del Río, J., Vázquez, A., Reul, A., Sánchez, A. (2006). *Distribution and circulation of water masses in the Gulf of Cadiz from in situ observations*, Deep Sea Research II, 53, 1144-1160pp (a).
- García-Lafuente, J., Delgado, J., Crado-Aldenueva, F., Bruno, M., Río, J., Vargas, J. (2006). *Water mass circulation on the continental shelf of the Gulf of Cádiz*, Deep Sea Research II, 1182-1197pp.
- García-Lafuente, J., Ruiz, J. (2007). *The Gula of Cádiz pelagic ecosystem: A review*, Progress in Oceanography, 74, 228-251pp.
- Haynes, R., Barton, E. (1990). *A poleward flow along the Atlantic coast of the Iberian Peninsula*, Journal of Geophysical Research, 11425-11442pp.
- Martins, C., Hamann, M., Fiúza, A. (2002). *Surface circulation in the eastern North Atlantic, from drifters and altimetry*, Journal of Geophysical Research, 107 (C12 3217), 1-15pp.
- McNider, R&O'Brien, J. (1973). *A Multi-Layer Transient Model of coastal upwelling*; Journal of Physical Oceanography, vol III, 258-273pp.
- Relvas, P. (1999). *The physical oceanography of Cape São Vicente upwelling region observed from sea, land and space*, tese de doutoramento, 244pp.
- Relvas, P., Barton, E. (2002). *Mesoscale patterns in the Cape São Vicente (Iberian Peninsula) upwelling region*, Journal of Geophysical Research, 107 (C10 3164), 1-23pp.
- Relvas, P., Barton, E. (2005). *A separated jet and coastal counterflow during upwelling relaxation off Cape São Vicente (Iberian Peninsula)*, Continental Shelf Research 25, 29-49pp.
- Relvas, P., Barton, E., Dubert, J., Oliveira, P., Peliz, A., Silva, J., Santos, A. (2007). *Physical oceanography of the western Ibéria ecosystem: Latest views and challenges*, Progress I Oceanography, 74, 149- 173pp.
- Sánchez, F. and Relvas, P. (2003). *Spring-summer climatological circulation in the upper layer in the region of Cape St. Vicent, Southwest Portugal*, ICES Journal of Marine Science, 60, 1232-1250pp.
- Sánchez, R., Mason, E., Relvas, P., Silva, A., Peliz, Á. (2006). *On the inner-shelf circulation in the northern Gulf of Cádiz, southern Portuguese shelf*, Deep See Research II, 53, 1198-1218pp.

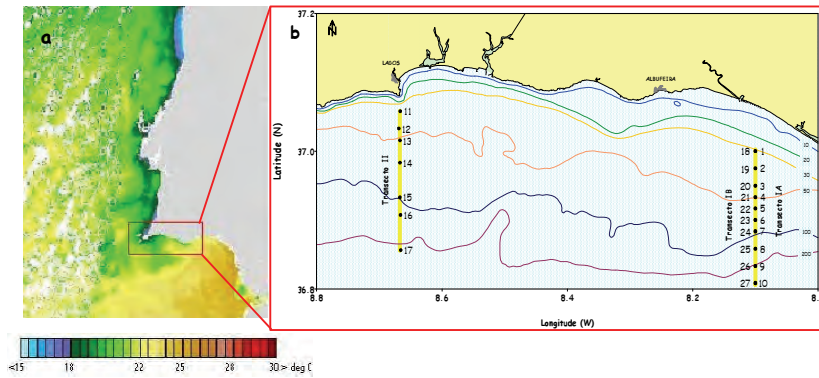


Figura 1 - Representação da área de estudo: a) Imagem de SST do dia 28/07/2006 (@ Meteo France); b) Localização dos transectos

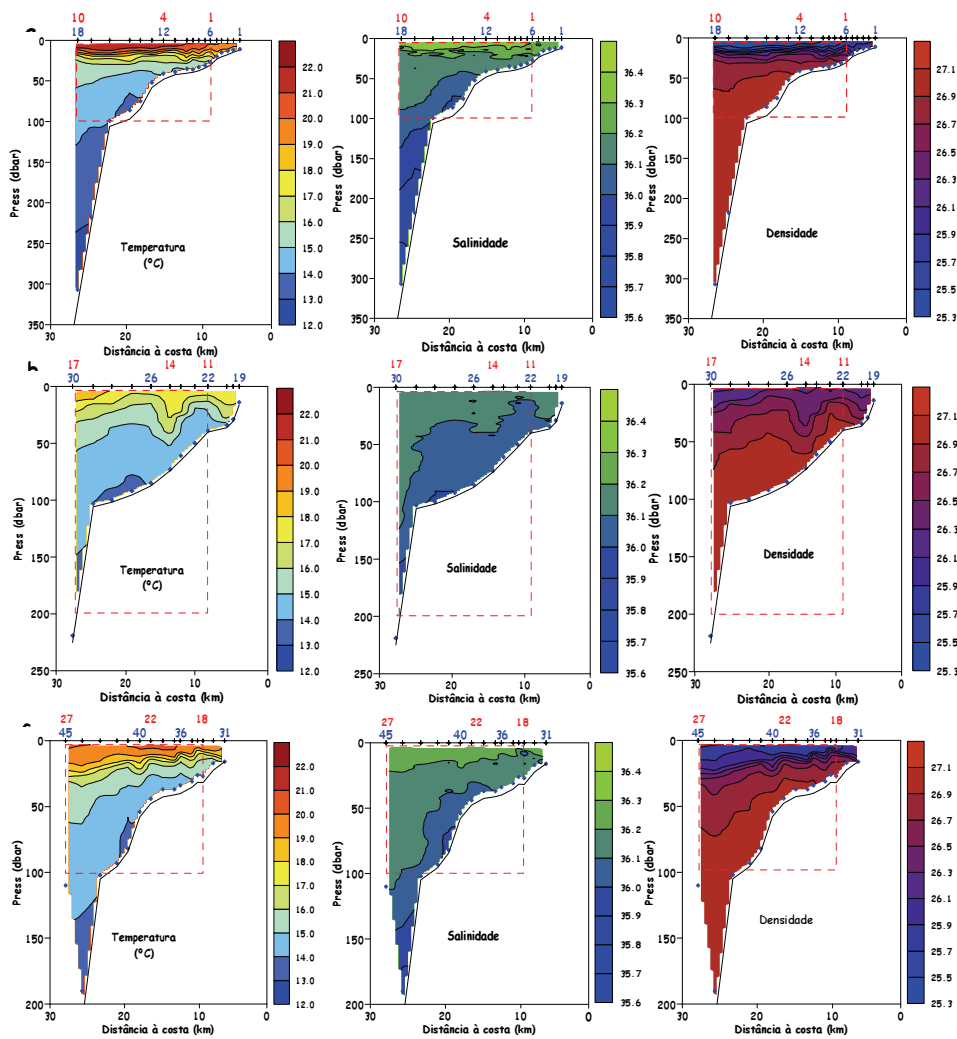


Figura 2 - Representação dos perfis verticais dos parâmetros temperatura, salinidade e densidade de aquisição de CTD dos transectos a) IA b) II e c) IB. Encontram-se representadas, a vermelho tracejado, a equivalência das estações onde foram colhidas para determinação de nutrientes.

Tabela 1 - Valores de parâmetros temperatura, salinidade e densidade de aquisição CTD para os primeiros 30 m de profundidade

	Temperatura (°C)	Salinidade	Densidade γ_t (kg/m ³)
Transecto IA	20 - 22	36,2 - 36,4	25,3 - 25,9
Transecto II	16 - 19	36 - 36,1	26,1 - 26,7
Transecto IB	18 - 20	36,1 - 36,3	25,5 - 26,5

Avaliação da agitação marítima ao largo dos portos de Faro e Setúbal

Rute Bento (1), Dina Silva (1), Liliana Rusu (1) e C. Guedes Soares (1)

(1) Centro de Engenharia e Tecnologia Naval (CENTEC), Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal

rute.bento@mar.ist.utl.pt, dina.silva@mar.ist.utl.pt, lrusu@mar.ist.utl.pt, guedess@mar.ist.utl.pt

Resumo: O presente trabalho pretende avaliar estados de mar ao largo dos portos de Faro e Setúbal. Foi baseado em informação produzida pelos modelos MM5 (campos de vento) e WAM (ondulação), que posteriormente forçam o modelo SWAN. Neste estudo foram feitas validações dos resultados do modelo regional SWAN com dados de bóias ondógrafo pertencentes ao I.H. Estas validações permitiram avaliar os parâmetros estatísticos de onda, provenientes das simulações e foram executadas com base na avaliação estatística dos resultados obtidos. Este estudo permite-nos otimizar os resultados do sistema de previsão de agitação marítima implementado.

Palavras chave: portos de Faro e Setúbal, Transformação de ondas, SWAN, MARPORT

1. INTRODUÇÃO

Conhecer à priori condições de agitação marítima permite aos portos um melhor planeamento das suas actividades. São, actualmente, utilizados métodos de monitorização baseados em bóias ondógrafo ou em radares, que fornecem informação em tempo real sobre o estado do mar à entrada do porto. O conhecimento antecipado é assegurado por boletins meteorológicos ou por vários serviços da mesma natureza, normalmente obtidos a partir de modelos numéricos globais. No entanto, estes modelos não têm em conta as especificidades locais, junto à costa. Assim sendo, justifica-se o desenvolvimento e implementação de um modelo regional, executado em domínios de alta resolução, para que a informação fornecida seja fidedigna, (Bernardino *et al.* 2009).

Um dos modelos mais utilizados para a previsão das condições de mar junto à costa é o SWAN (Simulation WAVes Nearshore). Este é um modelo espectral de alta resolução que simula e descreve a propagação de ondas em águas pouco profundas, (Booij *et al.* 1999). A partir do conhecimento das condições de fronteira, batimetria e campos de vento, o modelo calcula a evolução do espectro direccional. Este considera todos os processos relevantes para uma descrição adequada da agitação marítima em águas costeiras como a refração devido à variação da profundidade, a dissipação por atrito no fundo, as interações não lineares ressonantes e a rebentação.

Neste trabalho foram estudadas duas áreas da costa portuguesa, o troço Sesimbra-Sines e Faro. Toda a área do troço Sesimbra-Sines tem uma configuração costeira muito particular. Neste sector da costa portuguesa a ondulação é perturbada pela presença do Cabo Espichel, a Oeste da Ponta de Tróia, originando, por refração, uma rotação do rumo da ondulação, (Gomes *et al.* 2001). Sendo característica

ondulação de NW, as ondas são refractadas originando uma direcção de W-E ou WSW-ENE. Em larga escala, o delta do Rio Sado tem também um papel importante na refração, pois sendo um corpo arenoso de baixa profundidade, o efeito de refração é ampliado nessa zona, (Ferraz *et al.* 2009). A costa sul, dado a não estar directamente exposta às componentes de agitação predominantes na costa oeste, nomeadamente à ondulação de NW gerada no Atlântico e à vaga associada aos ventos locais dos quadrantes norte, apresenta condições médias muito menos severas, (Costa *et al.* 2001). Esta zona apresenta alturas de onda inferiores a 1m, para 62% do ano, sendo o seu valor máximo por volta dos 4m (IM, 2004).

2. ASPECTOS TEÓRICOS

O SWAN (Simulating WAVes Nearshore) é um modelo espectral desenvolvido pela Universidade de Tecnologias de Delft, que permite obter estimativas realistas de parâmetros de onda em zonas costeiras e lagos, tendo como entradas condições de fronteira, dados batimétricos, campos de ventos e de correntes. A equação utilizada no modelo é a equação de conservação de acção da onda, com fontes e sumidouros, e é dada pela seguinte expressão:

$$\frac{DN}{Dt} = \frac{S}{\sigma}$$

onde $N(\sigma, \theta)$ é a acção de onda dada pelo quociente entre o espectro direccional e a frequência relativa:

$$N(\sigma, \theta) = \frac{E(\sigma, \theta)}{\sigma}$$

O termo S representa fontes e sumidouros que podem ser categorizados em processos de águas profundas e processos de águas pouco profundas. Relativamente ao primeiro tipo estão incluídos o input atmosférico (in), rebentação da onda (dis) e interações não-lineares de quatro ondas (nl). Em águas pouco profundas, verificam-se os processos atrito de fundo (bf), rebentação devido à diminuição de profundidade (br) e interações não-lineares de três ondas (tri). O termo S pode então ser escrito como, (Rute *et al.* 2009):

$$S = S_{in} + S_{dis} + S_{nl} + S_{bf} + S_{br} + S_{tri} + \dots$$

3. IMPLEMENTAÇÃO E SIMULAÇÕES EM DOMÍNIO ESPACIAL

Este estudo abrange o registo entre o dia 30 de Outubro e 21 de Novembro de 2009. Os resultados obtidos das simulações feitas pelo modelo SWAN, foram validados através das bóias ondógrafo de Sines e Faro, pertencentes ao Instituto Hidrográfico.

Para se obter uma representação real dos efeitos da batimetria sobre as características das ondas, que se propagam nas áreas costeiras, é preciso aumentar a resolução espacial em direcção à costa utilizando grelhas encaixadas. A primeira área (de baixa resolução) alcança toda a parte Oeste da Península Ibérica (A1), fazendo o acoplamento entre o oceano e as zonas costeiras em estudo, representadas por A2, para o caso do troço Sesimbra-Sines, e A3 para Faro (Figura 1).

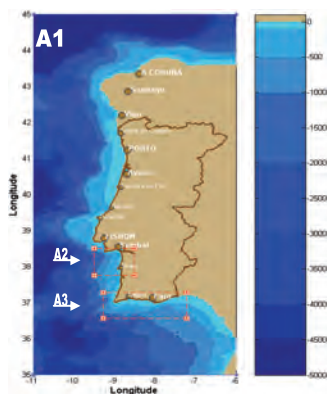


Figura 1 - Domínios de implementação do modelo SWAN (A1-Península Ibérica; A2-troço Sesimbra-Sines; A3- Faro)

O forçamento do modelo SWAN implementado na área A1 é realizado com previsões de ondas fornecidos pelo modelo WAM (WAMDI Group, 1988) e campos de vento previstos pelo modelo MM5 (Dudhia *et al.* 2000; Grell *et al.* 1994). Os resultados obtidos através das simulações para a área A1 são utilizados como condições de fronteira para as áreas, de maior resolução, A2 e A3.

As características dos domínios computacionais definidas para as simulações do modelo SWAN, estão apresentadas na Tabela I.

Domínio computacional SWAN	Limites de coordenadas	$\Delta x \times \Delta y$	Nº de pontos
A1	35°N-45°N / 11°W-6°W	0.05°x0.1°	10201
A2	37.75°N- 38.5°N/ 9.5°W - 8.5°W	0.0083°x0.0083°	10800
A3	36.55°N-37.27°N/ 9.27°W-7.22°W	0.0083°x0.0083°	21242

Tabela I – Características dos domínios computacionais

As grelhas batimétricas, para qualquer um dos domínios, foi adquirida através do site GEBCO (General Bathymetric Chart of the Ocean).

A distribuição espacial da ondulação está representada nas figuras seguintes. A Figura 2 traduz o padrão de ondulação para a Península Ibérica, para o dia 5 de Novembro às 00h. Verifica-se ondulação de NW, com alturas significativas (H_s) ao largo que estão compreendidas entre os 3.5m e os 7.5m. Pode observar-se desde já que nas zonas onde foram efectuadas as simulações locais (A2 e A3) o valor de H_s é reduzido, conferindo às mesmas características de zonas de sombra.

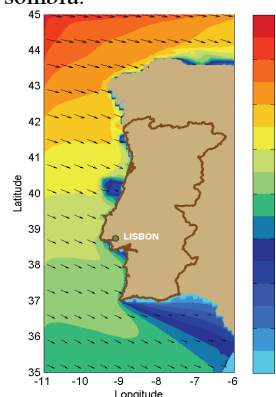


Figura 2 - Campos de altura significativa e direcção média das ondas previstos para o dia 5 de Novembro de 2009.

A Figura 3 mostra o resultado de uma simulação do SWAN para o troço Sesimbra-Sines (A2), para o dia 5 de Novembro às 21h.

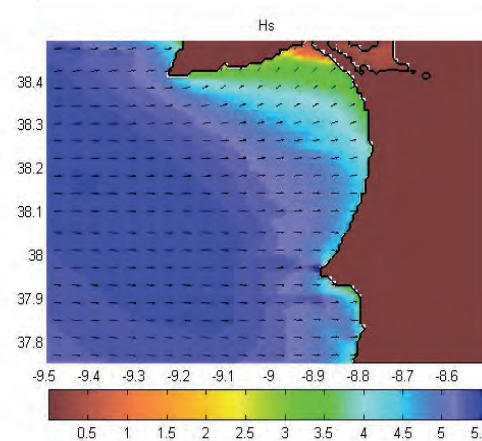


Figura 3 - Propagação da ondulação para a Baía de Setúbal obtido através de simulações com o SWAN, para o dia 5 de Novembro de 2009.

Ao observar-se ondulação de Oeste o efeito da refração torna-se evidente, como se pode verificar na Baía de Setúbal. Confirmando o que já foi mencionado, o Cabo Espichel cria uma zona de abrigo, fazendo com que a ondulação que atinge a costa registre valores de Hs mais reduzidos.

A Figura que se segue, apresenta o padrão de ondulação para Faro, simulado para o dia 20 de Novembro às 21h. A direcção de ondulação é de SW, característica dos meses de Inverno, que ao chegar ao cabos de Sagres e de Santa Maria sofre uma mudança de direcção (refracção). Também se verifica nestas zonas uma diminuição das alturas de onda, sendo mais evidente após o cabo de Santa Maria.

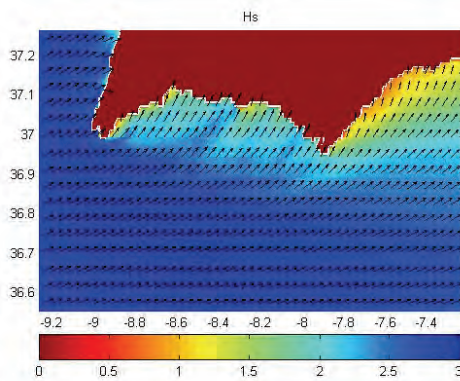


Figura 4 - Propagação da ondulação para Faro obtido através de simulações com o SWAN, para o dia 20 de Novembro de 2009

4. ANÁLISE NO DOMÍNIO DO TEMPO

Foram utilizados dados medidos por bóias ondógrafo para validar as simulações em todos os domínios (A1, A2 e A3). Os gráficos seguintes traduzem as séries temporais do parâmetro Hs para as várias previsões.

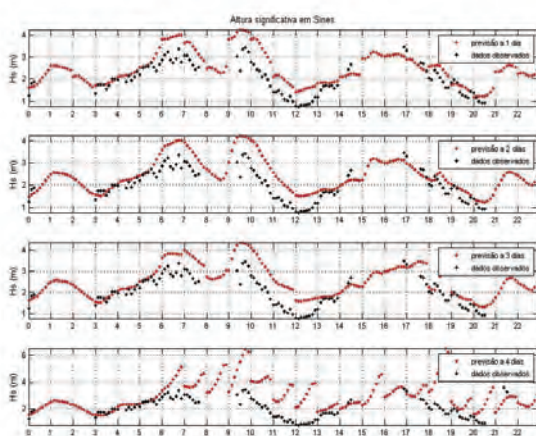


Figura 5 - Distribuição da Altura Significativa simulada vs bóia ondógrafo, para o período de 30 de Outubro a 21 de Novembro, em Sines

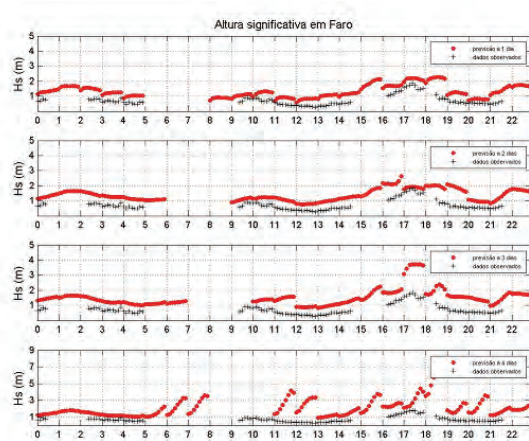


Figura 6 - Distribuição da Altura Significativa simulada vs bóia ondógrafo, para o período de 30 de Outubro a 21 de Novembro, em Faro

5. RESULTADOS ESTATÍSTICOS

Foi feita uma avaliação estatística dos resultados obtidos, tendo por base a análise do RMSE (erro quadrático médio), o Bias (enviesamento), o r (coeficiente de correlação) e o SI (Scatter Index ou índice de dispersão). Foi também calculado, relativamente a cada previsão, a média e o desvio padrão. No caso da bóia de Faro a média e o desvio padrão foram 0,698m e 0,363m e para Sines foram 2,032m e 0,743m, respectivamente.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad X_{dv} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)}{n}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad SI = \frac{RMSE}{\bar{X}}$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_i)(Y_i - \bar{Y}_i)}{(\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_i)^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_i)^2)^{1/2}}$$

Nº de pontos = 106	P _{avul}	Bias	RMSE	Si	r	P _{di}	
Previsão a 1 dia	2.458	-0.426	0.412	0.203	0.883	0.872	A2
	2.514	-0.482	0.522	0.257	0.822	0.947	A1
Previsão a 2 dias	2.468	-0.426	0.440	0.217	0.821	0.878	A2
	2.515	-0.483	0.538	0.265	0.811	0.947	A1
Previsão a 3 dias	2.551	-0.519	0.562	0.277	0.791	0.886	A2
	2.545	-0.513	0.574	0.282	0.800	0.933	A1
Previsão a 4 dias	3.121	-1.089	2.441	1.201	0.445	1.239	A2
	2.880	-0.848	1.569	0.772	0.566	1.115	A1

Tabela II - Resultados estatísticos relativos ao parâmetro Hs (áreas A1 vs A2)

Nº de pontos = 93	P_{med}	Bias	RMSE	SI	r	P_{dv}	
Previsão a 1 dia	1.242	-0.544	0.344	0.493	0.862	0.435	A3
	1.281	-0.583	0.376	0.538	0.889	0.413	A1
Previsão a 2 dias	1.329	-0.631	0.474	0.679	0.777	0.436	A3
	1.300	-0.602	0.414	0.593	0.838	0.418	A1
Previsão a 3 dias	1.523	-0.825	0.860	1.232	0.898	0.720	A3
	1.419	-0.721	0.620	0.888	0.904	0.606	A1
Previsão a 4 dias	2.136	-1.438	3.793	5.435	0.277	1.375	A3
	1.772	-1.075	2.073	2.970	0.323	1.017	A1

Tabela III - Resultados estatísticos relativos ao parâmetro H_s (áreas A1 vs A3)

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Analisando as Tabela II e III podemos verificar que, em qualquer caso, o *Bias* é negativo o que mostra que o modelo sobrestima os valores reais. É de notar que, excepto para as previsões a 4 dias, os coeficientes de correlação (r) são todos superiores a 0.7, o que demonstra uma boa correlação entre os dados e os resultados do modelo. No caso do estudo da área A2 o *RMSE* é relativamente pequeno tal como o *SI*, no entanto, para a área A3, as previsões a 3 dias apresentam valores pouco reduzidos para estas duas estatísticas. Os resultados apresentam também uma evolução normal em relação às previsões, ou seja, quanto mais afastada a previsão piores são os resultados. Fazendo a comparação A1 vs A2, podemos ver que para A2, as previsões a 1 e 2 dias obtiveram melhores resultados. Relativamente à previsão a 3 dias ainda se obtiveram valores de *RMSE*, *SI* e de P_{dv} inferiores aos resultantes da simulação com a área A1, e os valores para as restantes estatísticas andam muito próximos entre si. No caso A1 vs A3 verifica-se que o domínio A3 apenas apresentou melhores resultados que o domínio A1 para previsões a 1 dia.

7. CONCLUSÕES

O presente trabalho descreve a modelação de agitação marítima para as zonas ao largo dos portos de Setúbal e Faro, sendo utilizados três domínios, por forma a fazer a ligação entre o oceano e a zona costeira, sendo a resolução da batimetria, para este último, maior.

As comparações entre as previsões do modelo e os resultados das bóias ondógrafo, mostram que o modelo, em termos de Altura Significativa, é capaz de obter resultados viáveis, apresentando um bom nível de correlação, no entanto se for realizado um nesting nas zonas de interesse, os resultados podem ser melhorados para algumas previsões.

Pode concluir-se que o SWAN é uma boa ferramenta para fazer previsões de agitação marítima. Para trabalho futuro pretende-se explorar os resultados para a Baía de Setúbal, realizando simulações locais para aquela zona em particular.

Agradecimentos

O presente trabalho foi feito no âmbito do projecto NEARPORT (Desenvolvimento de um sistema operacional de previsão em tempo real da agitação marítima para os portos portugueses) que é financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (PTDC/ECM/64373/2006).

REFERÊNCIAS

- Bernardino, M.; Rusu, L.; Silva, D.; Bento, A.; Pilar, P. e Guedes Soares, C. (2009). "Avaliação do desempenho do sistema de previsão da agitação marítima implementados para os portos de Sines e Leixões". Proceedings das VI Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, Funchal, Outubro.
- Bento, A., Rusu, E. e Soares, C. (2009). Modelação da agitação marítima ao largo do porto de Leixões. Nuevas Contribuciones Al Margen Ibérico Atlántico, Oviedo, 241-244.
- Booij, N., R.C. Ris and L.H. Holthuijsen, (1999). A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation, *J. Geoph. Research* C4, 104, 7649-7666.
- Costa, M., Silva, R. e Vitorino, J. (2001). Contribuição para o estudo do clima de agitação marítima na costa portuguesa, 2^{as} Jornadas de Engenharia costeira e Portuária, Sines, 17-19 de Outubro.
- Dudhia, J., Gill, D., Kuo, Y.R., Bourgeois, A., Wang, W., Bruyere, C., Wilson, J. e Kelly, S. (2000). PSU/NCAR Mesoscale Modeling System. MM5 Modeling System Version 3. NCAR Tech. Notes.
- Ferraz, M.; Rebelo, L.; Costas, S.; Brito, P. (2009). Quantifying the coastline evolution for risk assessment – Applications for the Portuguese Southwest Coast. 6^o Simpósio sobre a Margem Ibérica Atlântica MIA09. Nuevas Contribuciones Al Margen Ibérico Atlántico - 249-251.
- Gomes, N., Machado, I., Delgado, F. (2001). Potencial de Recuperação Dunar em Tróia Utilizando Algas (*Dictyota dichotoma*), II Seminário de Recursos Geológicos, Ambiente e Ordenamento do Território, UTAD.
- Grell, G.A., Dudhia, J. e Stauffer, D.R., (1994). A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale modelling system (MM5). Tech. Note NCAR/TN-398+STR, NCAR.
- IM – Instituto de Meteorologia (2004). Caracterização climática da costa. www.meteo.pt
- WAMDI Group: S. Hasselmann, K. Hasselmann, E. Bauer, P. A. E. M. Janssen, G. J. Komen, L. Bertotti, P. Lionello, A. Guillaume, V. C. Cardone, J. A. Greenwood, M. Reistad, L. Zambresky and J. A. Ewing, (1988). The WAM Model - A Third Generation Ocean Wave Prediction Model, *J. Phys. Ocean.*, Vol. 18, pp. 1775-1810.

Análise numérica e in-situ da evolução das ondas na praia de Faro

Conceição J. Fortes¹, Theo Moura¹, Óscar Ferreira³, Rui Capitão¹

(1) Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas, Departamento de Hidráulica e Ambiente, LNEC
Av. do Brasil, 101, 1700 066 Lisboa, Tel. +351 21 844 3912, Fax. 351 21 844 3019
E mail: jfortes@lnec.pt, tmoura@lnec.pt, rcapitao@lnec.pt

(2) CIMA, Universidade do Algarve, Edifício 7, Campus de Gambelas, 8005-139, Faro, offerreir@ualg.pt

Resumo: Nesta comunicação, é efectuada uma análise comparativa entre medições in situ e resultados numéricos da aplicação do modelo não linear COULWAVE para as condições de agitação verificadas na Praia de Faro durante os dias 26 a 28 de Março de 2009. O objectivo é avaliar o desempenho do modelo na simulação da hidrodinâmica da rebentação em condições reais. Este trabalho insere-se no âmbito do projecto BRISA.

Palavras-chave: Rebentação, Modelação numérica, Campanhas de campo, COULWAVE

1. INTRODUÇÃO

A zona costeira é uma região de dinâmica complexa, produto da interacção de diversas forças como vento, correntes de maré, ondas de gravidade, entre outras. As ondas geradas pelo vento são consideradas como a variável forçadora dominante em regiões costeiras de águas pouco profundas, sendo a principal responsável pelo transporte de sedimentos na zona de rebentação. Com o objectivo de melhor compreender os efeitos das ondas no transporte de sedimentos, está em curso o projecto BRISA (Interacção entre a rebentação das ondas e o transporte de areias), o qual inclui a realização de ensaios experimentais, modelação numérica e a realização de campanhas de recolha de dados de campo.

Neste trabalho, analisam-se duas dessas componentes do projecto, i.e., as medições efectuadas na Praia do Faro e os resultados obtidos por modelação numérica. O objectivo é analisar a hidrodinâmica desta zona. Foi escolhido o modelo numérico COULWAVE (Lynett e Liu, 2004), que simula a propagação de ondas fortemente não-lineares e dispersivas, em zonas de profundidade variável. Baseia-se nas equações do tipo Boussinesq, que são deduzidas a partir da integração em profundidade das equações de continuidade e movimento, utilizando o conceito de camadas múltiplas (*multi-layer*).

Utilizando o modelo COULWAVE, efectuou-se um conjunto de simulações com base em dados medidos na Praia do Faro entre os dias 25 e 28 de Março de 2009, utilizando diferentes tipos de equipamentos de medição (sondas resistivas e sensores de pressão) na zona da rebentação. As condições de contorno foram geradas com base em séries temporais de elevação medidas a uma profundidade aproximada de 11.7 m (abaixo do nível médio do mar). Os resultados

numéricos são comparados com séries de elevação medidas por sensores de pressão posicionados próximo da linha de costa. São apresentadas análises no domínio do tempo e estatísticas de conjunto, que têm como objectivo validar as simulações.

Esta abordagem permite avaliar o desempenho do modelo para simular as condições específicas do local, mas também permite, de uma maneira geral, contribuir para ter maior confiança na sua utilização em escalas temporais e espaciais maiores, necessárias numa perspectiva de gestão operacional. Nesta comunicação descrevem-se sucintamente a campanha de campo e a análise efectuada aos dados obtidos pelos sensores de pressão. Seguem-se as descrições do modelo COULWAVE e da sua aplicação às condições da campanha, assim como a avaliação do desempenho deste modelo.

2. CAMPANHA DE CAMPO

2.1 Descrição

A campanha de campo considerada neste trabalho decorreu na Praia de Faro, Península do Ancão, localizada no sistema de ilhas da Ria Formosa, na costa Sul de Portugal Continental (Figura 1).



Figura 1 – Localização da zona em estudo e do sensor Infinity PT (mapa de Matias et al. 2009).

Esta campanha decorreu nos dias 25 a 28 de Março de 2009, envolvendo diversos instrumentos de aquisição, tais como transdutores de pressão (PT), correntómetros electromagnéticos (ECM), *Acoustic Doppler Velocimeter* (ADV), armadilhas de

sedimentos (ST) e instrumentos de posicionamento geográfico (DGPS).

Os dados obtidos consistem em medições simultâneas de elevação da superfície livre, velocidades de corrente, variações de pressão e concentração de sedimentos em transporte na coluna de água, para diferentes pontos ao longo de 2 perfis de praia localizados na zona de rebentação (Figura 2). Efectuou-se, também, a medição da elevação da superfície livre a maiores profundidades, bem como a recolha de sedimentos em todos os locais com equipamento, ao longo dos perfis.

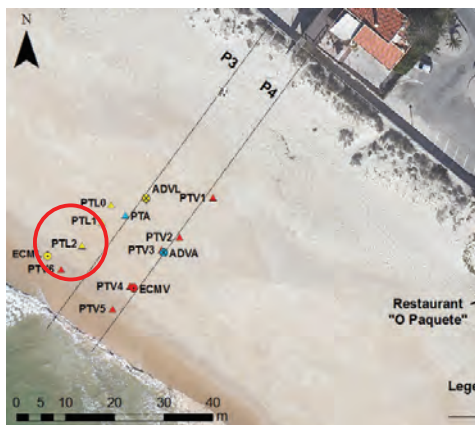


Figura 2 – Localização da instrumentação utilizada ao longo de dois perfis na praia de Faro. No interior do círculo vermelho, mostram-se os sensores PTL1 e PTL2.

No presente trabalho, apenas se consideraram os dados provenientes dos sensores de pressão a 9 m abaixo do ZH, (designado por Infinity PT), a 3.116 m acima do ZH e a 2.2 m acima do ZH – designados por PTL1 (correspondente a um Leveltroll 500) e PTL2 (correspondente a um sensor de pressão Honeywell de laboratório), respectivamente.

2.1 Análise dos dados obtidos

Com os dados obtidos no sensor de pressão Infinity PT, foram determinados (Voudoskas et al. 2009) os seguintes parâmetros da onda: altura significativa (HS) e período significativo (TS) (Figura 3). Apenas se apresenta os valores dos dias 26 a 28 de Março.

Os valores de HS obtidos no Infinity PT, variam entre 0.2 e 0.6 m, correspondentes a ondas de baixa energia, com direcções provenientes de SE (até 28 de Março) e de SW (durante 28 de Março). Os valores do período significativo TS mostram um padrão bastante regular (da ordem de 6 s) nos dias 26 a 27 de Março, até às 12:00, mudando a partir daí para valores mais elevados (cerca de 8 s), condições estas correspondentes a SW (dia 28).

Nos sensores de pressão PTL1 e PTL2, os valores de HS e TS são apresentados na Figura 4 (dados extraídos de Capitão e Fortes, 2009).

Em termos de altura de onda, os sensores PTL1 e PTL2 tem um comportamento semelhante, isto é, verifica-se que a altura de onda pode atingir valores de 0.45 m, em situação de preia-mar. Porém,

existem períodos de tempo (situações de baixa-mar) em que ou não há coluna de água, ou esta é insuficiente para o cálculo da altura de onda.

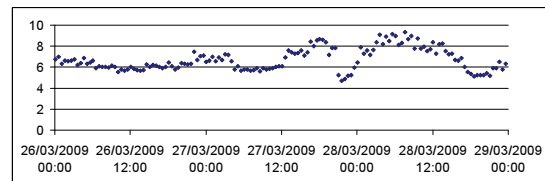
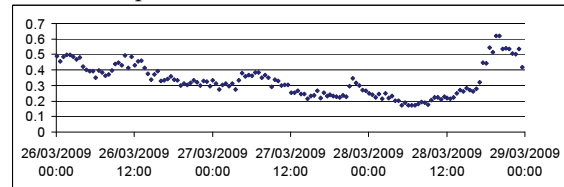


Figura 3 – Valores de HS e TS (s) no Infinity PT.

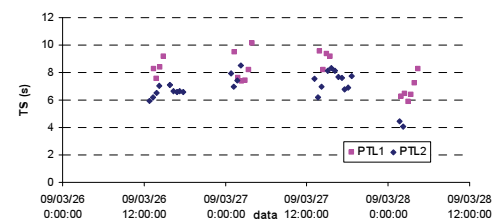
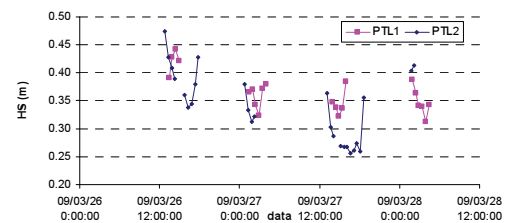


Figura 4 - Parâmetros da onda: HS (m) e TS (s) nos sensores de onda PTL1 e PTL2.

Relativamente aos períodos, o sensor PTL2 apresenta períodos entre 6 s e 8 s na maioria dos casos enquanto o sensor PTL1 tem valores entre 6 s e 10 s. Note-se que o sensor PTL1 se encontra em profundidades menores do que o PTL2 e, por isso, nem todas as ondas que chegam a PTL2 conseguem chegar a PTL1. Relativamente aos valores observados na posição do sensor Infinity PT, os valores na zona destes sensores são ligeiramente superiores.

3. MODELAÇÃO NUMÉRICA

3.1 O modelo COULWAVE

O modelo numérico COULWAVE, desenvolvido por Lynett e Liu (2004), resolve as equações não-lineares de Boussinesq deduzidas por aqueles autores utilizando o conceito de multi-camada, i.e., é adoptado um perfil de velocidades para cada camada em que é dividida a coluna de água. A precisão do modelo assim desenvolvido depende do número de camadas que se considera, permitindo a sua

utilização em águas muito profundas. Na simulação da hidrodinâmica da zona de rebentação, a dissipação de energia devido à rebentação é tratada através da inclusão de termos de viscosidade turbulenta nas equações de conservação da quantidade de movimento (Kennedy et al. 2000).

3.2 Condições de cálculo

Para este caso, o domínio computacional usado pelo modelo COULWAVE é bidimensional, de comprimento 846 m e de largura 120 m. A discretização da batimetria foi fornecida com um espaçamento de 2 m (Figura 5). O próprio modelo gera uma malha de diferenças finitas com base num número mínimo de pontos dado pelo utilizador que, neste caso, foi de 40. O número de Courant admitido foi igual a 0.4. A função fonte (geração de ondas) foi colocada na posição $x=0$ m. Consideraram-se duas fronteiras de absorção nos extremos do domínio, com 1.25 vezes o comprimento de onda. Em todas as simulações, considerou-se apenas uma camada, as equações totalmente não-lineares e atrito de fundo (coeficiente de atrito= 1.0×10^{-2}). Nos restantes parâmetros do modelo, consideraram-se os valores sugeridos pelo manual (Lynett e Liu, 2004).

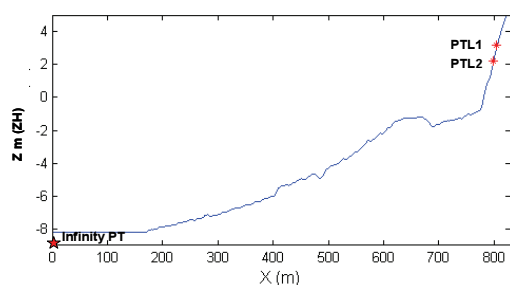


Figura 5 – Domínio de cálculo do modelo COULWAVE. Indicação dos sensores de pressão Infinity PT, PTL1 e PTL2

As condições de onda incidentes corresponderam a ondas regulares com as características dos valores medidos no sensor Infinity PT durante três dias de medição (26 a 28 de Março), Figura 3. Nestes cálculos a direcção da onda foi considerada perpendicular ao domínio computacional. Embora isto constitua uma considerável simplificação, tal foi efectuado pois não se possuem as direcções de onda na posição do sensor Infinity PT.

O tempo total simulado foi de 600 s. Os resultados numéricos foram obtidos em todos os nós da malha de cálculo e, em particular, nas posições das sondas de pressão PTL1 e PTL2.

3.3 Resultados

A Figura 6 apresenta a evolução da altura das ondas desde a posição do Infinity até à dos sensores de pressão, para uma onda incidente verificada no dia 26 de Março às 15:30, com as seguintes características: $H=0.39$ m, $T=6.2$ s.

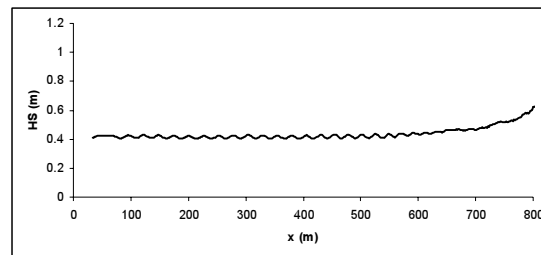


Figura 6 – Evolução da altura de onda ao longo do perfil de fundo, para a onda incidente de $H=0.39$ m e $T=6.2$ s (26 Março, 15:30).

A partir da observação da figura, é evidente o aumento da altura das ondas, devido ao empolamento à medida que a onda se aproxima da praia (menores profundidades), especialmente após $x=600$ m. Nota-se contudo a ocorrência de reflexão, cuja causa pode estar relacionada quer com o facto de se ter imposto agitação regular quer com a inclinação significativa do perfil de fundo, especialmente na face da praia ($\sim 1/6$). Assim, estes resultados devem ser vistos com alguma reserva.

Na Figura 7 e na Figura 8 apresentam-se os resultados numéricos (em termos de alturas de onda) e as medições nos sensores de pressão correspondentes, para os pontos PTL1 e PTL2.

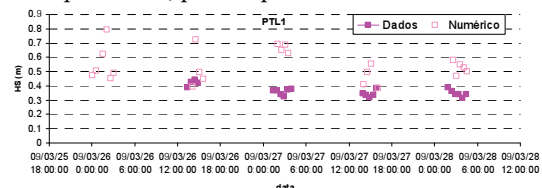


Figura 7 – Comparações entre medições e valores numéricos de HS na posição PTL1.

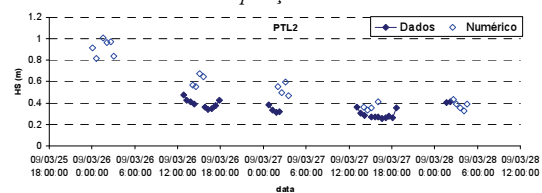


Figura 8 – Comparações entre medições e valores numéricos de HS na posição PTL2.

A Tabela 1 apresenta os valores dos parâmetros estatísticos calculados entre os valores numéricos e medidos nos dois sensores, PTL2 e PTL1. Os parâmetros considerados foram o desvio (BIAS), o erro médio quadrático (RMSE) e o índice de concordância (IC) dado por:

$$IC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - x_i|^2}{\sum_{i=1}^n (|y_i - \bar{x}| + |x_i - \bar{x}|)^2} \quad (1)$$

onde x_i são os valores experimentais (referência), y_i são os valores dos modelos numéricos, \bar{x} é a média do valor experimental e n é o número de pontos. O índice de concordância IC varia de zero a um, que corresponde a uma maior concordância dos

valores numéricos com os experimentais.

Tabela 1 – Valores de BIAS, RMSE e índice de Wilmott (IC) para os sensores PTL2 e PTL1.

Sondas	BIAS	RMSE	IC
PTL1	0.120	0.214	0.588
PTL2	0.146	0.155	0.627

Para ambas as posições dos sensores:

- o Em geral, os valores numéricos apresentam comportamento semelhante aos obtidos das medições, para o período analisado (desde que haja coluna de água suficiente no sensor para permitir o cálculo dos parâmetros de onda). Verifica-se também que os valores medidos são inferiores aos obtidos pelos modelos numéricos.
- o A concordância entre resultados numéricos e experimentais é melhor para o caso do sensor PTL2 do que para o sensor PTL1. Com efeito, o índice de concordância é de 59% no caso de PTL2 e de 63% no caso do PTL1. Além disso, a média das diferenças entre os valores numéricos e experimentais é de aproximadamente 0.12 (PTL1) e de 0.168 (PTL2). Com efeito, no caso do PTL1 a altura da onda é controlada pela altura da coluna de água, pelo que é normal que a concordância não seja tão boa.

As diferenças observadas entre valores numéricos e medidos, sendo estes consistentemente inferiores, podem estar relacionadas com o facto de se ter imposto uma direcção das ondas normal à batimetria (que agrava as condições de agitação nos sensores junto à linha de costa) e que não corresponde à direcção das ondas na bóia de Faro. Há que ter em atenção também as limitações quer do próprio modelo numérico quer dos equipamentos de medição, conforme dito na secção 2. Relativamente às limitações do COULWAVE, note-se que a aplicação do modelo em inclinações de fundo da ordem 1/6 é muito exigente para o modelo pois as equações base são integradas no pressuposto de fundos de inclinação suave. Para além disso, fenómenos como a rebentação são incluídos no modelo através da adição de um termo de viscosidade turbulenta à equação original, que depende de um conjunto de parâmetros relacionados com o início, fim e duração da rebentação. Estes parâmetros têm de ser calibrados para cada caso de estudo e condição de agitação, sendo assim uma limitação do modelo numérico. Ora, no presente trabalho, os parâmetros da rebentação foram mantidos constantes quaisquer que fossem as condições de agitação incidente, dada a grande variabilidade dessas condições nos três dias de medição.

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho, descreveu-se a aplicação do modelo COULWAVE às condições de agitação observadas pelo sensor de pressão Infinity PT durante o período de 26 a 28 de Março de 2009.

A comparação de resultados numéricos com medições efectuadas com sensores de pressão localizados na zona de rebentação mostrou que o modelo simula razoavelmente a evolução da onda desde a posição do Infinity PT até praia. Existem diferenças, no entanto, principalmente nas zonas menos profundas, que estão relacionadas com as condições de agitação impostas (agitação regular, direcção normal às batimétricas, parâmetros de rebentação adequados) e com limitações do modelo. Como trabalho futuro, a imposição de condições de agitação mais próximas da realidade bem como uma análise de sensibilidade aos parâmetros de rebentação intrínsecos do modelo permitirá melhorar os resultados numéricos. Além disso, a comparação de resultados numéricos (alturas de onda e velocidades) com outras medições efectuadas por equipamentos na praia, permitirão confirmar o desempenho do modelo.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos elementos que colaboraram na campanha de campo e à FCT pelo financiamento obtido através de projecto BRISA - PTDC/ECM/73145/2006.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Fortes, C.J.E.M.; Capitão, R. (2009). Relatório da Campanha BRISA I à praia de Faro. 26 a 28 de Março de 2009. Relatório BRISA 1/2009. Maio.
- Kennedy, A.B., Q. Chen, J.T. Kirby, and Dalrymple, R.A. (2000). Boussinesq Modeling of Wave Transformation, Breaking and Runup I: 1D. J. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, Vol. 126, No. 1, pp. 39-47.
- Lynett, P., Liu PL-F. (2004). Modelling wave generation, evolution and interaction with Depth-Integrated, Dispersive Wave equations. COULWAVE Code Manual. Cornell Univ. Long Inter. Wave Modelling Package.
- Matias, A., Vila-Concejo, A., Ferreira, Ó., Morris, B., Dias, J.A. (2009). Sediment dynamics of barriers with frequent overwash. J. Coast. Res. 25(3)768-780.
- Voudoskas, M., Almeida, L.P. (2009). MICORE-Intensive Campaign Report. Internal Ciacomar Report 06/09.

Monitorização da Variação do Nível Médio do Mar

Carlos Antunes (1)

(1) LATTEX - IDL, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, cmantunes@fc.ul.pt.

Resumo: O recurso aos mais modernos marégrafos de radar ou de pressão, com ligação IP, permite uma monitorização em tempo real da variação do Nível Médio do Mar causada pelos diversos factores meteorológicos e oceânicos. O acesso por parte da FCUL aos marégrafos de Cascais e Lagos do IGP tem permitido o desenvolvimento de metodologias de análise da variação do NMM em tempo real e em pós-processamento com vista, por um lado, à avaliação da presumível subida do NMM causada pelas alterações climáticas e, por outro lado, monitorizar as sobre-elevações meteorológicas associadas a eventos de depressão atmosférica que atravessam o território nacional. Baseado no cálculo diário do nível médio da maré juntamente com a média da pressão atmosférica, uma série temporal com uma base de 10 anos de dados serve para avaliar a variação sazonal do NMM e a respectiva taxa de variação ao longo desse período. Consequentemente, esta metodologia viabiliza a estimativa da evolução da subida do NMM, com a determinação da presumível aceleração. A modelação de modelos numéricos feita com base na análise harmónica das marés permitiu obter modelos de precisão para a previsão de marés destes portos, com os quais é avaliada a sobre-elevação meteorológica em tempo real, por comparação da maré observada com a maré prevista. É apresentada nesta comunicação a metodologia de cálculo e análise, bem como, a abordagem da aplicação de monitorização da sobre-elevação em tempo real com envio automático de emails de aviso, em situações de risco, para o Instituto de Meteorologia e para a Protecção Civil.

Palavras-chave: Subida do Nível Médio do Mar, sobre-elevação meteorológica, análise harmónica de marés

1. INTRODUÇÃO

A actual infra-estrutura de marégrafos nacionais do Instituto Geográfico Português (IGP), de Cascais e Lagos, e a respectiva acessibilidade aos dados, via FTP, tem possibilitado um conjunto de análises sobre a variação do Nível do Médio Mar (NMM) na costa portuguesa.

O novo marégrafo de Cascais está a operar desde Novembro de 2003, com registo de elevações de maré, à taxa actual de 3 minutos, juntamente com a pressão atmosférica (PA) a uma taxa de registo de 10 minutos. Bem mais recente, em Março de 2009, o marégrafo de Lagos reiniciou a sua actividade na mesma configuração do marégrafo de Cascais; contudo, este vem apresentando alguns problemas de referência e calibração que têm inviabilizado a utilização sistemática dos seus dados. Por essa razão os resultados aqui apresentados referem-se todos ao marégrafo de Cascais

A existência de dois suportes FTP de dados, respectivamente, o armazenamento a *posteriori* e o envio de *streams* em tempo real, permite a análise dos dados em tempo real e em pós-processamento. Estes dois tipos de análise de dados contribuem de forma diferente para o estudo da variação do Nível do Mar (NM). O pós-processamento é usado, por intermédio das séries de médias diárias e mensais, para avaliar a subida do NMM às escalas decadal e secular; por outro lado, o processamento em tempo real é usado para avaliar instantaneamente a sobre-

elevação do NM causada por passagens de depressões atmosféricas, por vezes com os consequentes riscos naturais, nomeadamente, de galgamento, erosão, inundação e destruição de infra-estruturas das zonas costeiras e ribeirinhas.

2. MONITORIZAÇÃO DO NÍVEL DO MAR EM TEMPO REAL

A comparação directa da altura de maré observada instantaneamente com um modelo harmónico de maré preciso e exacto, conhecendo-se a PA, possibilita a avaliação rigorosa da sobre-elevação do NM causada por efeitos meteorológicos. Este é o princípio de funcionamento da monitorização em tempo real do NM.

2.1. Modelação harmónica da maré

Foram determinados modelos harmónicos de maré para os marégrafos de Cascais e Lagos, com base nos dados maregráficos horários de 2007 e 2006, respectivamente. Os modelos numéricos foram determinados por análise harmónica com recurso ao método dos mínimos quadrados (MMQ). O modelo adoptado de ajustamento das constituintes harmónicas locais (h_i , g_i) foi o método paramétrico, assumindo como valores iniciais aproximados os valores provenientes de modelos anteriores. Adicionalmente o valor da harmónica de grau zero, Z_0 (altura do NMM actual em relação ao ZH), foi

também ajustado aos dados, resultando um NMM relativo a ZH de 2,23 m em Cascais e 2,07 m em Lagos.

O elevado nível de precisão obtido nestes modelos deve-se à forma como foram corrigidos, por um lado, os efeitos meteorológicos da PA e do vento sobre a variação diária do NM, e por outro lado, a variação sazonal do NMM. Dado que a PA local é registada e faz parte dos dados do marégrafo, é possível corrigir os valores horários do efeito barométrico inverso (EBI) através da correcção, para o caso de Cascais:

$$y' = y - \frac{1019 - PA[mbar]}{100} \quad (1)$$

onde 1019 mbar é o valor médio da PA dos últimos 10 anos em Cascais e o factor 1/100 m/mbar (coeficiente do EBI) corresponde ao valor de correlação entre PA e o NMM.

Para o caso do vento, e na impossibilidade de se conseguir um modelo numérico adequado que produza bons resultados de causa/efeito, foi feita uma modelação numérica removendo das observações o campo residual de tendência. Finalmente, a componente sazonal do NMM (Figura 1) foi modelada com base na série de dados de médias diárias (Figura 2) e sobreposta à constituinte harmónica SA (solar anual), considerada no modelo matemático como variável dependente do sistema.

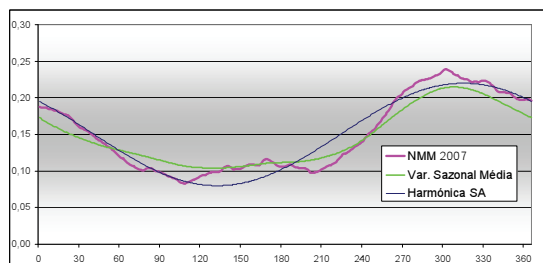


Fig. 1. Variação sazonal média do NMM de Cascais, NMM de 2007 e modelação da componente harmónica SA.

O modelo de maré astronómica resultante, quando comparado diariamente com a maré observada, apresenta uma precisão média diária na ordem dos 2 cm e uma exactidão média, a menos do efeito de sobre-elevação atmosférica, superior a 5 cm.

2.2. Monitorização em tempo real

A aplicação computacional desenvolvida neste âmbito, MareVB V2.5, através de uma ligação FTP (*sock.RemoteHost = IP*) ao marégrafo seleccionado, recebe duas linhas de informação (*streams*) que contém, respectivamente, dados de elevação de maré (*Sensor 6: Water level*) e de PA (*Sensor 2: Air Pressure*) medidos pelos sensores do marégrafo. A aplicação converte a elevação em altura e compara-a com o valor do modelo de previsão de alturas de maré; da diferença resulta a sobre-elevação do NM. Com o valor da PA, remove o EBI e calcula a componente residual da sobre-elevação causada

pelos restantes efeitos meteorológicos e oceânicos.

Em função da amplitude da sobre-elevação do NM e com base em níveis predefinidos, a aplicação emite avisos automáticos de alerta (Amarelo, Laranja e Vermelho), via *email*, para o Instituto de Meteorologia e para a Protecção Civil, registando em ficheiro (*Email_data.log*) todos os eventos ocorridos durante o dia.

Com base na oscilação de ondas de *seicha* (calema) provocadas por forte agitação marítima, a aplicação avalia, através de um simples filtro linear, o estado do mar em “Encrespado”, “Aagitado” e “Tempestuoso”, e em caso extremo, de “Grande Vaga”. Em caso de estado do mar Aagitado e Tempestuoso são também enviados avisos de alerta.

A eventual ocorrência de uma onda de longo período e de grande amplitude, do tipo de *Tsunami*, será classificada simultaneamente de Grande Vaga, no início da ocorrência, e de sobre-elevação de nível de alerta Vermelho, durante todo o período de ocorrência (caso o equipamento se mantenha operacional).

Os níveis de alerta extremos estão associados não só à elevada amplitude de sobre-elevação, mas também aos níveis extremos de preia-mar e marés-vivas, que quando sobrepostos, correspondem a níveis extremos de inundação e galgamento. Todos os dados e eventos são armazenados em ficheiros para posterior verificação e como forma de salvaguarda dos dados e respectiva análise.

A aplicação MareVB 2.5 procede ainda à emissão de um aviso automático de alerta para o IGP quando o marégrafo deixa de enviar dados em tempo real, por causa de uma qualquer falha no sistema ou na internet.

3. MONITORIZAÇÃO DECADAL DO NMM

Diariamente são descarregados os dados do sítio de FTP público do IGP e é feito um processamento e análise de dados, com vista à determinação do NMM diário, à determinação de sobre-elevação meteorológica e à actualização dos dados e respectiva estatística de controlo e análise.

3.1. Série temporal do NMM diário

A média do NM calculada diariamente é adicionada à respectiva série temporal, com uma base de 10 anos de dados, de forma a possibilitar o estudo da variação sazonal e decadal do NMM. De igual forma são também calculadas as médias mensais, a acrescentar à série secular da variação do NMM, que no caso de Cascais se inicia no ano de 1882.

Dada a variação decadal do NMM provocada por efeitos ainda pouco conhecidos, nomeadamente o forçamento atmosférico, a tendência de variação da subida/descida do NMM é apenas possível por aplicação de operadores lineares de longo período, por exemplo, a média móvel de período de 10 a 20

anos. Estes operadores lineares de remoção de variações de curto período, por suavização, não permitem avaliar rigorosamente a variação actual do NMM. Por essa via, será necessário esperar por mais 10 anos de dados para se obter a taxa actual de subida do NMM. Nesse sentido, foi desenvolvida uma metodologia que viabiliza, embora com maior incerteza, a taxa de variação actual do NMM.

Conhecido o EBI sobre a superfície livre do mar, cujo valor teórico é de -1 cm/mbar, a série temporal de médias diárias pode ser corrigida desse efeito usando o respectivo valor médio da PA. A série temporal resultante (média diária corrigida) apresenta menor variabilidade, e por isso, mais estável no que diz respeito à determinação da taxa média de subida do NMM. Sobre esta série temporal é então corrida uma média móvel de 60 dias, obtendo-se uma curva que mostra claramente a variação sazonal do NMM, e que, através de uma regressão linear, resulta uma taxa média actual da subida do NMM. A Figura 2 mostra esta série temporal do Marégrafo de Cascais e a respectiva média móvel de 60 dias com a variação sazonal, cuja causa principal é o forçamento de regime de vento que assola a costa atlântica portuguesa (Relvas *et. al.*, 2007).

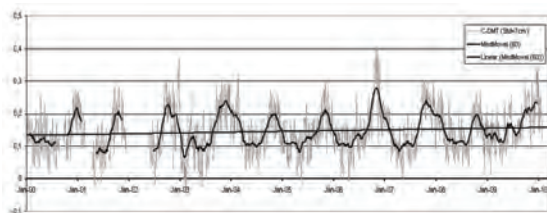


Fig. 2. Série temporal do Marégrafo de Cascais de médias diárias corrigidas, sobreposta com uma média móvel de 60 dias e respectiva regressão linear (em metros).

Desta série de 10 anos de base extrai-se a taxa actual de subida do NMM, a partir da média móvel de 60 dia, com o valor de 2,6 mm/ano, para o período de 2000 a 2009, e uma incerteza de $\pm 0,3$ mm/ano.

3.2. Monitorização em pós-processamento

O acesso *a posteriori* aos dados armazenados do marégrafo, via FTP público, permite um variado conjunto de possíveis análises. Os dados armazenados em ficheiros horários são convertidos, concatenados e processados, resultando ficheiros diários com valores horários e, médias diárias de NMM e PA posteriormente acrescentadas às séries temporais (exemplo da Figura 2).

Estes dados servem depois para reproduzir gráficos diários e mensais, onde se insere a curva da maré observada versus maré prevista, adicionada da curva de sobre-elevação.

Sobre os valores de médias diárias é determinada a sobre-elevação média diária, em relação ao NMM actual, causada quer apenas pelo efeito da PA, quer pelo forçamento atmosférico total (vento mais PA).

Estes valores de sobre-elevação são depois categorizados e contabilizados, resultando numa simples análise estatística de frequência e período de retorno.

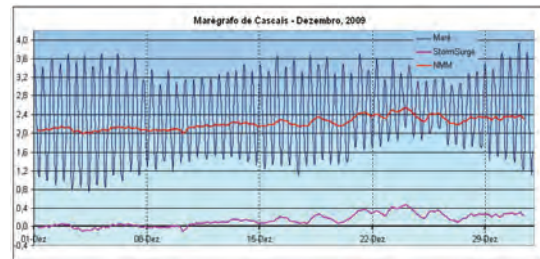


Fig. 3. Gráfico mensal do Marégrafo de Cascais, do mês de Dezembro de 2009, com maré observada, variação do NMM e sobre-elevação (em metros).

As sobre-elevações extremas estão sempre associadas à ocorrência de temporais, pelo que esta estatística reproduz, em si, também a estatística de temporais que atravessam a região. Particularmente, neste último inverno, nos meses de Dezembro (Figura 3) e Fevereiro verificaram-se níveis extremos muito pouco frequentes. A 23 de Dezembro pelas 3:00, observou-se uma sobre-elevação horária em Cascais de 50 cm (em relação ao NMM actual, e de 72 cm em relação ao NMM de Cascais de 1938). A sobre-elevação média mensal do mês de Dezembro em Cascais foi de 31,3 cm acima do NMM de Cascais de 1938, e a de Fevereiro de 33,7 cm. Este último foi o segundo maior valor de sempre, desde 1882, a seguir ao valor máximo alcançado em Dezembro de 1989, com 34,5 cm. Um outro valor extremo alcançado neste inverno, foi a máxima altura de maré ocorrida a 2 de Março em Cascais, com o valor de 4,28 m, pelas 3:20 da manhã.

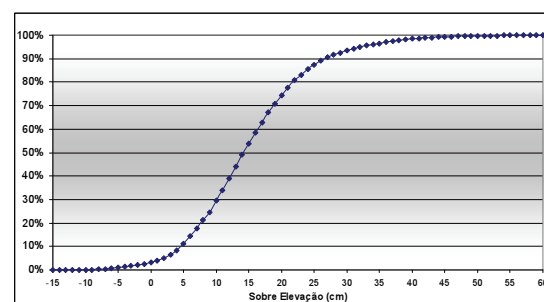


Fig. 4. Curva do percentil de sobre-elevações do marégrafo de Cascais, relativo ao NMM de Cascais de 1938.

A Figura 4 mostra o gráfico de percentil de sobre-elevações registadas em Cascais desde Janeiro de 2000. Neste gráfico pode-se verificar que 90% das sobre-elevações são inferiores a 26 cm, ou seja, apenas 10% das sobre-elevações são superiores a 26 cm e apenas 5% são superiores a 32 cm. No gráfico da Figura 5 verifica-se que as sobre-elevações correspondentes a esses percentis ocorreram maioritariamente entre 2009 e 2010, ou seja neste último inverno, no período de Dezembro a Março.

Estes dados revelam a severidade das tempestades ocorridas neste último inverno, tal como é conhecido, quando comparado com os restantes anos da presente década.

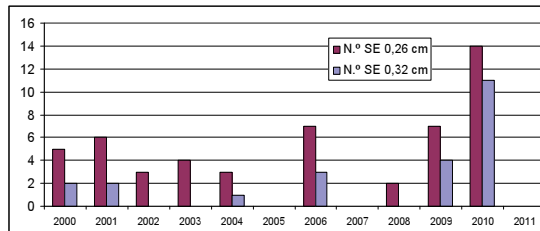


Fig. 5. Número de ocorrências de sobre-elevação correspondente aos percentis de 90% e 95%, respectivamente, de 26 e 32 cm, relativo ao NMM de Cascais de 1938.

4. ACELERAÇÃO DA SUBIDA DO NMM

A actual taxa de subida do NMM relativa em Cascais de 2,6 mm/ano, quando comparada com a respectiva taxa de 2,1 mm/ano correspondente às últimas duas décadas do século XX (Antunes and Taborda, 2009), induz um cenário de aceleração da subida do NMM, com um valor na ordem 2,6 mm/ano² ($\pm 1,5$ mm/ano²).

Assumindo estes valores de taxa de subida do NMM e respectiva aceleração, pode-se projectar, de uma forma simples, a evolução da subida do NMM relativa para Cascais. A Figura 6 mostra essa projecção, sobrepondo a curva do NMM registada desde 1970 com a curva da projecção futura, para o período de 2000 a 2050, e respectivas linhas limites, máxima e mínima, para uma confiança de 95%.

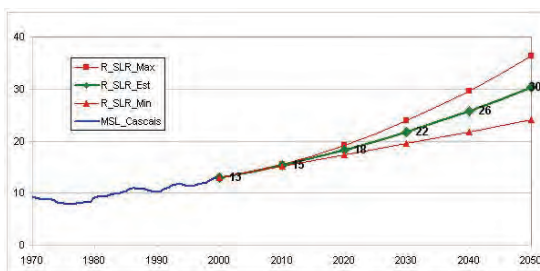


Fig. 6. Projecção da evolução da subida do NMM relativa, para Cascais, com base nos valores actuais de taxa de subida do NMM e respectiva aceleração.

Estudos recentes, através da análise de séries temporais de posicionamento GPS da estação permanente de Cascais, indicam um movimento vertical absoluto em Cascais situado abaixo de 0,5 mm/ano, implicando uma subida do NMM absoluta na ordem dos 3 mm/ano. O valor de velocidade vertical de 0,5 mm/ano é corroborado por estudos de neotectónica de Portugal continental, que indicam um *uplift* de longo período na ordem de 0,1 mm/ano (Cabral, 1995), e por um reajustamento isostático pós-glacial praticamente nulo segundo o modelo ICE-5G (Peltier, 2004).

Estes resultados, subida do NMM absoluta e respectiva projecção, são concordantes com o que é advogado pelo relatório do Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC, 2007) e outras publicações de referência (Church and White, 2006; Rahmstorf, 2007). Este facto, em nossa opinião, demonstra a qualidade dos dados do marégrafo de Cascais, um dos mais antigos a operar em permanência, bem como, a sua importância no estudo da evolução da subida no NMM devido às alterações climáticas.

Agradecimentos

Agradece-se ao IGP pela acessibilidade e disponibilidade dos dados dos marégrafos de Cascais e Lagos. Um agradecimento especial aos vários alunos do Mestrado de Engenharia Geográfica da FCUL que colaboraram no desenvolvimento da aplicação de monitorização de marégrafos e na determinação dos modelos de análise harmónica de marés.

REFERÊNCIAS

- Antunes, C. and Taborda, R. (2009). Sea level at Cascais Tide gauge: data, analysis and results. *Journal of Coastal Research*, SI 56 (Proceeding of the 10th International Coastal Symposium), 218-222.
- Cabral, J. (1995). *Neotectónica em Portugal Continental*. Memórias do Instituto Geológico e Mineiro 31, IGM.
- Church, J.A. and White, N.J. (2006). A 20th century acceleration in global sea-level rise, *Geophysical Research letters*, Vol. 33, Issue 1, L10602, 1-4.
- IPCC, 2007: Climate Change (2007). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment, Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- Peltier, W.R. (2004). Global Glacial Isostasy and the Surface of the Ice-Age Earth: The ICE-5G (VM2) Model and GRACE, Invited Paper, *Annual Review of Earth and Planetary Science*, 32, 111-149.
- Rahmstorf, S. (2007). A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise. *Science* 315, 368-370.
- Relvas, P., Barton, E.D., Dubert, J., Oliveira P. B., Peliz, A., da Silva J.C.B and Santos, A. M. P. (2007). Physical Oceanography of the Western Iberia Ecosystem: latest views and challenges. *Progress in Oceanography*, 74(2-3), 149-173.

Comparações entre os modelos SWAN e STWAVE na área costeira do Porto de Leixões

Marta Gonçalves, Eugen Rusu e C. Guedes Soares

Centro de Engenharia e Tecnologia Naval (CENTEC), Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal

marta.goncalves@mar.ist.utl.pt; eugen.rusu@mar.ist.utl.pt; guedess@mar.ist.utl.pt.

Resumo

O objectivo do presente trabalho é analisar os campos de agitação marítima produzidos por dois modelos na área costeira do porto de Leixões. Foi realizado um estudo comparativo entre o desempenho de dois modelos em média de fase, o SWAN (Booij et al., 1999) e o STWAVE (Smith et al., 2001) para várias situações de agitação marítima. Consideraram-se dois cenários, um ligeiramente acima da média e outro com condições energéticas extremamente mais elevadas. Foram também tidos em conta os efeitos da difracção e analisado como estes são reflectidos nas simulações dos dois modelos, dado que este é um processo físico muito importante dentro da área dos portos. Os resultados, mostram em geral, uma boa concordância entre os dois modelos, revelando que, embora bem protegido contra a eventual penetração das ondas, em determinadas situações o porto pode ser gravemente afectado por condições mais extremas. Dada a importância do porto de Leixões este estudo pode ser utilizado como suporte a operações para o desenvolvimento de outros sistemas para previsão de ondas do porto.

Palavras-chave: Transformação de ondas, STWAVE, SWAN, modelos espectrais, Porto de Leixões.

1. INTRODUÇÃO

O Porto de Leixões é considerado um dos portos mais importantes da costa norte de Portugal, recebendo cerca de 3000 navios todos os anos. Dada esta afluência, foram já vários os acidentes com petroleiros que se registaram nesta zona, como por exemplo o Jacob Maersk a Janeiro de 1975 e o Cercal a Outubro de 1994, ambos de consequências bastante devastadoras tanto a nível ambiental como a nível económico.

As estatísticas mostram que, em geral, a costa noroeste ibérica pode ser considerada, de entre as áreas costeiras, como sendo aquela que apresenta os riscos mais elevados no que diz respeito a derrames acidentais. Veja-se o exemplo do Erika (1999) e do Prestige (2002), a manobra do navio em condições de agitação marítima adversas levou a que ocorressem estes acidentes.

Actualmente os modelos baseados no conceito espectral ou modelos em média de fase são os mais eficazes para estimar as condições da agitação marítima no oceano e em ambientes costeiros.

Os modelos de terceira geração são modelos que permitem resolver a equação de balanço de energia espectral e dar uma estimativa realista da evolução do espectro de onda para diversas condições. Estes podem ser divididos em modelos de geração como o

WAM (WAMDI Group. 1988) e o WW3 (Tolman, 1999), e modelos de transformação como SWAN (Booij et al., 1999) e STWAVE (Smith et al., 2001).

No âmbito do projecto HIPOCAS (Hindcast of Dynamic Processes of the Ocean and Coastal Areas of Europe) foram realizados estudos com o modelo WAM (Guedes Soares et al., 2002; Guedes Soares, 2008), para produzir 44 anos de agitação marítima em águas europeias (Pilar et al., 2008).

Nos últimos anos têm sido realizados vários estudos sobre agitação marítima, com base nos modelos SWAN e STWAVE, para o Oceano Atlântico e junto à costa de Portugal continental. Diversos estudos foram realizados com base no modelo SWAN para a costa portuguesa, Guedes Soares et al. (2004), Rusu et al. (2005), Rusu et al. (2008). Simulações com o STWAVE foram também realizadas por Mendonça *et al.* (2005) num estudo para o porto de Leixões, com o objectivo de descrever a variação dos parâmetros da onda (altura, período, direcção e forma espectral) entre o largo e a costa.

Foram também realizadas comparações entre os modelos SWAN e STWAVE para as áreas de Pinheiro da Cruz, Figueira da Foz (Gonçalves et al, 2008) e Óbidos (Gonçalves et al, 2009), revelando uma boa concordância entre os 2 modelos.

2. CARACTERÍSTICAS DOS MODELOS

Tanto o SWAN como o STWAVE são modelos de terceira geração focalizados na transformação das ondas e baseados na equação de balanço de energia espectral, apesar de apresentarem algumas diferenças nas equações de governo e em algumas formulações para os termos de fontes.

No que respeita ao SWAN (Booij et al., 1999), o modelo tem incluído efeitos de propagação espacial, refração, empolamento por efeito da batimetria (shoaling), geração, dissipação e interações não lineares onda-onda. É um modelo que permite ao utilizador trabalhar tanto em coordenadas cartesianas como em coordenadas esféricas, pode ainda correr, quer em modo estacionário, quer em modo não estacionário.

O STWAVE é o modelo de propagação da agitação desenvolvido pelo US Army Corps of Engineers (Smith et al. 2001), e inclui a simulação dos fenómenos de difracção, refração e empolamento por efeito da batimetria e da interacção com correntes, e geração de ondulação por acção do vento. O modelo considera, ainda, a simulação dos processos de rebentação e da interacção onda-onda e rebentação da onda (whitecapping), responsáveis pela redistribuição e dissipação de energia num campo de ondas em desenvolvimento. Este modelo está portanto vocacionado para modelar a propagação e transformação das ondas em ambientes costeiros.

Nos modelos em média de fase a evolução do espectro de onda no tempo e no espaço é dada pela equação de balanço de energia (Holthuijsen, 2007):

$$\frac{DN}{Dt} = \frac{S}{\sigma} \tag{1}$$

onde N representa a densidade de acção dada por $\frac{E(\omega, \alpha)}{\sigma}$ e S a fonte total, definida como a soma de

todas as fontes, representando processos de geração do vento, dissipação, inteirações não lineares em águas profundas, (quadrupletos) e em águas de profundidade finita (triades, fricção com o fundo e rebentação).

Em aplicações costeiras as simulações com SWAN são feitas em coordenadas cartesianas e assim sendo temos que a equação de balanço é dada por:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \dot{x}N + \frac{\partial}{\partial y} \dot{y}N + \frac{\partial}{\partial \sigma} \dot{\sigma}N + \frac{\partial}{\partial \theta} \dot{\theta}N = \frac{S}{\sigma} \tag{2}$$

O modelo STWAVE resolve a equação de conservação da acção espectral da onda em estado estacionário ao longo do raio da onda:

$$(C_g)_i \frac{\partial}{\partial x_i} CC_g \cos(\mu - \alpha)N = \sum \frac{S}{\sigma} \tag{3}$$

Os fenómenos de refração e empolamento são implementados no STWAVE através da aplicação da

equação de conservação da acção da onda ao longo dos raios de onda traçados.

3. COMPARAÇÕES SWAN-STWAVE

A zona escolhida para a validação do modelo foi a área do Porto de Leixões.

O Porto de Leixões é a maior infra-estrutura portuária da região Norte de Portugal, representa 25% do comércio internacional português sendo por isso um dos portos mais importantes do país. Situa-se a 2.5milhas a Norte da foz do rio Douro, no concelho de Matosinhos, perto da cidade do Porto.



Fig. 1 - Área de estudo - Porto de Leixões

Baseado no estudo climático junto ao Porto de Leixões nos periodos de 1994 a 2003, foram realizadas alguns estudos para dois tipos de condições de agitação marítima cujo objectivo principal foi definir a distribuição espacial da altura significativa das ondas que podem ocorrer na área alvo em várias situações de média e altas condições de ondulação.

A resolução espacial das grelhas ($\Delta x * \Delta y$) e o passo de tempo de integração Δt estão representados na Tabela I.

Domínio Computacional SWAN/STWAVE	Coordenadas	$\Delta x * \Delta y$	$\Delta t(s)$	nr	nd	$n_x * n_y = n_p$
Porto de Leixoes	Cartesianas	25m*25m	3600	30	36	261x201=52461

Tabela I – Definições da grelha dos modelos

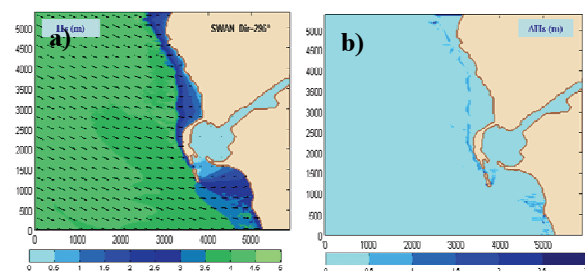


Fig. 2 - Cenários energéticos médios, campos de altura significativa e direcção de onda ($H_s = 4.2 m$, $T_p = 11s$, $DSPR = 22^\circ$). a) $Dir = 296^\circ$; b) $\Delta H_s = H_{sSWAN} - H_{sSTWAVE}$

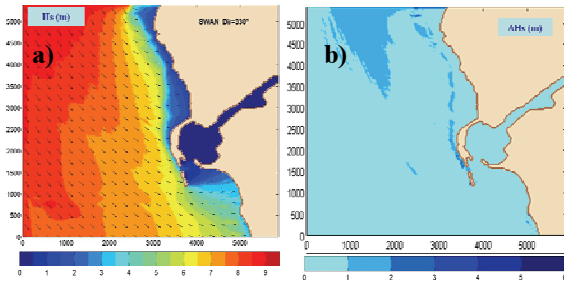


Fig. 3 - Cenários energéticos de tempestade, campos de altura significativa e direcção de onda ($H_s=9\text{ m}$, $T_p=16\text{ s}$, $DSPR=27^\circ$). a) $Dir=330^\circ$; b) $\Delta H_s = H_{s_{SWAN}} - H_{s_{STWAVE}}$

Na Fig. 2 está ilustrado o resultado de uma simulação com o modelo SWAN. Apresentando um padrão ligeiramente acima da média, com ondulação proveniente de NW, atingindo alturas significativas de máximas 4.88m para o SWAN e 4.90m para o STWAVE ao largo.

Da mesma forma, a Fig. 3 mostra o resultado de uma simulação com o modelo SWAN, em condições de tempestade.

A variação da altura significativa das ondas dos modelos foi calculada recorrendo a:

$$\Delta H_s(i, j) = H_{s_{SWAN}}(i, j) - H_{s_{STWAVE}}(i, j) \quad (4)$$

4. ESTUDOS COM ALGUNS EFEITOS DE DIFRACÇÃO

Nesta secção será analisada fenómenos não lineares característicos das ondas em águas pouco profundas e como estes são reflectidos nos resultados dos modelos.

A difracção ocorre habitualmente quando as ondas encontram um obstáculo à superfície como um cabo ou uma ilha. A penetração das ondas na área de abrigo é devida às modificações que acontecem no comprimento da onda. Muitas vezes os efeitos combinados da reflexão e difracção são importantes e não podem ser negligenciados.

Para introduzir no modelo SWAN o processo da difracção é considerada uma aproximação desacoplada de fase para refracção - difracção, (Holthuijsen et al., 2003). Esta é baseada na equação do declive suave omitindo informações de fase. As velocidades no espaço geográfico e no direccional, não consideram a difracção, sendo dadas por:

$$C_{x,o} = \frac{\partial \omega}{\partial k} \cos \theta, \quad C_{y,o} = \frac{\partial \omega}{\partial k} \sin \theta \quad (5)$$

$$C_{\theta,o} = -\frac{1}{k} \frac{\partial \omega}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial n}$$

onde k corresponde ao número de onda e n é à direcção perpendicular ao raio da onda. O parâmetro da difracção δ é dado por:

$$\delta = \frac{\nabla (c c_g \nabla \sqrt{E})}{c c_g \sqrt{E}}$$

onde $E(x,y)$ é a energia total do campo de onda ($\sim H_s^2$). Devido à difracção as velocidades de propagação passam a ser:

$$c_x = c_{x,o} \bar{\delta}, \quad c_y = c_{y,o} \bar{\delta} \quad (6)$$

$$c_\theta = c_{\theta,o} \bar{\delta} - \frac{\partial \bar{\delta}}{\partial x} c_{y,o} + \frac{\partial \bar{\delta}}{\partial y} c_{x,o}$$

No STWAVE o fenómeno da difracção é implementado através de uma expressão que homogeneiza a energia da onda.

$$E_j(\omega, \alpha) = 0.55 E_j(\omega, \alpha) + 0.225 [E_{j+1}(\omega, \alpha) + E_{j-1}(\omega, \alpha)] \quad (7)$$

onde E é a densidade energética da onda, e j o índice indica a linha. Esta equação possibilita a suavização de fortes gradientes da altura da onda em zonas protegidas, mas não produz a rotação da onda.

Na secção anterior foi descrita uma situação extrema energética, desta vez foi considerado uma situação real (2007/02/11-11h) com condições de fronteira de $H_s=5.1\text{ m}$ e $Dir=318^\circ$. A direcção utilizada representa na verdade, um dos sentidos mais prováveis que poderiam ser encontrados na fronteira externa da área do alvo.

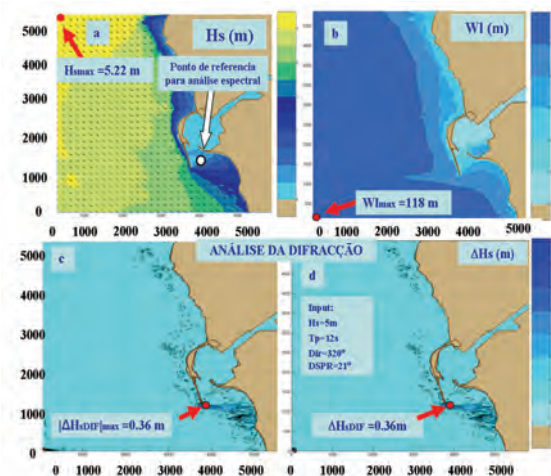


Fig. 4 - Análise dos processos em águas pouco profundas junto ao porto de Leixões, simulações com o modelo SWAN (condições gerais: $H_s=5.1\text{ m}$, $T_p=12\text{ s}$, $Dir=318^\circ$, $DSPR=21^\circ$)

A Fig. 4a ilustra campos escalares da altura significativa da onda e os vectores de onda para esta situação, estando presente os efeitos da difracção, enquanto a Fig. 4b apresenta o campo de comprimento de onda escalar.

A Fig. 4c ilustra o efeito da difracção em termos absolutos de altura de onda significativa. O Bias da altura significativa das ondas foi calculado considerando: $\Delta H_s(i, j) = H_{s_d}(i, j) - H_{s_{wd}}(i, j)$, onde H_{s_d} representa a altura significativa simulada com o

comando de difracção activo e $H_{s,wd}$ representa altura significativa simulada sem difracção.

Para melhor visualizar o efeito da difracção, dado pelo modelo, o Bias positivo é apresentado na *Fig. 4d*. Isto significa que as diferenças entre as figuras 4c e 4d reflectem o crescimento da onda em termos de altura de onda significativa devido à difracção.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tanto o SWAN como o STWAVE são modelos de terceira geração focalizados na transformação das ondas e baseados na equação de balanço de energia espectral, apesar de apresentarem algumas diferenças nas equações de governo e em algumas formulações para os termos de fontes.

Uma vantagem do STWAVE face ao SWAN é o facto de os efeitos induzidos pelas condições de fronteira serem reduzidos devido a propagação da ondulação ser feita ao longo do raio de onda, o que não se verifica no SWAN.

Os efeitos não lineares como a difracção têm um papel fundamental na variação dos parâmetros da onda, especialmente na entrada dos portos. Estes efeitos são significativamente aumentados quando as condições são mais energéticas.

Com base neste estudo, podemos concluir que tanto o SWAN, como o STWAVE apresentam bons resultados. Apesar de mais simples, o STWAVE é um modelo espectral eficiente que não requer muitos recursos computacionais e com resultados bastante bons quando comparados com outro modelo.

Agradecimentos

O presente trabalho foi feito no âmbito do projecto NEARPORT (Desenvolvimento de um sistema operacional de previsão em tempo real da agitação marítima para os portos portugueses) que é financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (PTDC/ECM/64373/2006).

BIBLIOGRAFIA

- Booij, N., Ris, R. C. and Holthuijsen, L. H., (1999). A third generation wave model for coastal regions. Part 1: Model description and validation, *J. Geophys. Res.* 104, C4, pp. 7649-7666.
- Gonçalves, M., Pilar, P., Rusu, E., Guedes Soares, C., 2008, " Simulações com o Modelo STWAVE Junto à Costa Portuguesa", *As Actividades Marítimas e a Engenharia*, C. Guedes Soares e V. Gonçalves de Brito (Eds), Ed. Salamandra, Lisboa, pág.12
- Gonçalves, M., Rusu, E., Guedes Soares, C., 2009, Comparações entre os modelos SWAN e STWAVE na área costeira de Óbidos, *Actas das*

6^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, Funchal, (cd-rom).

- Guedes Soares, C., Weisse, R., Carretero J.C. and Alvarez, E., (2002). A 40 years Hindcast of Wind, Sea Level and Waves in European Waters, *Proceedings of the 21st International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE'02)*, ASME Paper OMAE2002-SR28604.
- Guedes Soares, C., Rusu, L. and Pilar, P., (2004). Reconstituição da Agitação Marítima Junto à Costa de Portugal Continental, "*As Actividades Marítimas e a Engenharia*", C. Guedes Soares e V. Gonçalves de Brito (Eds), Edições Salamandra, pp.73-82.
- Guedes Soares, (2008). Hindcast of Dynamic Processes of the Ocean and Coastal Areas of Europe, *Coastal Engineering*, vol. 55, pp 825-826.
- Holthuijsen, H., 2007. *Waves in Oceanic and Coastal Waters*, Cambridge University Press, pp. 387.
- Mendonça, A., Teixeira, A.T., Oliveira, I.M., Silva, A.P., (2005), Caracterização das condições de tranquilidade na zona de entrada no porto de Leixões face a ondas de período curto (10 a 18s), *Actas das 4^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, Angra do Heroísmo, (cd-rom).
- Pilar, P., Guedes Soares, C., Carretero, J.C., (2008), 44-year wave hindcast for the North East Atlantic European coast, *Coastal Engineering*, vol. 55, pp 861-871.
- Rusu, L., Pilar, P., and Guedes Soares, C., (2005). Hindcasts of the Wave Conditions in Approaches to Ports of the North of Portugal, *Proceedings Fifth International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis (WAVES 2005)*, Madrid, Spain, (cd-rom).
- Rusu, L., Pilar, P., Guedes Soares, C., (2008). Hindcast of the wave conditions along the west Iberian coast, *Coastal Engineering*, vol. 55, pp 906-919.
- Smith, J., Sherlock, A., Resio, D., (2001), *STWAVE: Steady-State Spectral Wave Model. User's Manual for STWAVE*, Version 3.0; ERDC/CHL, US Army Corps of Engineers; Washington, DC
- Tolman, H. L., (1999). *User manual and system documentation of WAVEWATCH III*, Tech. Note 166, NOAA/NWS/NCEP/OMB, 99 pp.
- WAMDI group, (1988). The WAM model - a third generation ocean wave prediction model, *J. Phys. Oceanogr.*, 18, 1775-1810.

Characterization of the wave field along the Tróia-Sines embayed coast during a storm event

P. Mota (1), J. Jacob (1), C. Gama (2) and R. Salgado (3)

- (1) DCTMA-FCT, CIMA, Universidade do Algarve, Portugal, paultschoppmota@gmail.com
- (2) Departamento de Geociências, CGE, ECT, Universidade de Évora, Portugal.
- (3) Departamento de Física, CGE, ECT, Universidade de Évora, Portugal

Abstract: The study of storm events is essential to understand and predict their effects on sandy beaches with implications for coastal management. Erosion due to storms is responsible for large changes in the shape of the beach profiles. The main goal of this work is the characterization of the wave field along the Tróia-Sines Embayed Coast (TSEC) during a storm event that occurred from 20 to 25 October 1999. The wave pattern along the TSEC was evaluated using the SWAN and Méso-NH models. The results showed the shadowing effect of the Espichel Cape in the northern part of the TSEC, the influence of the Setúbal canyon in the middle and of the Sines Cape in the southern sector of TSEC. Under NW storm conditions and SW wind the relative influence of the sea on wave field increases northwards, with a decreasing of the wave height in the same direction.

Key words: TSEC, wave propagation, SWAN, Meso-NH, storm, sandy coastline.

1. INTRODUCTION

The Tróia-Sines embayed coast (TSEC) is a sandy coastline that extends for 65 km, between the Sado Estuary and the Sines Cape on the southwest coast of Portugal. (Fig. 1). The wave climate in the Sines wave rider buoy (37° 55' 16'' N, 8° 55' 44'' W, water depth = 98 m) shows for the offshore waves a mean significant wave height (H_s) of 1.7 m, a peak period (T_p) of 10.8 s and a wave direction dominated by the NW sector (Costa *et al.*, 2001).

The TSEC is located in the lee side of the Setúbal peninsula that includes the Espichel Cape. This natural protection prevents the direct arrival of large amounts of wave energy from the dominant NW direction to the shore. The protection effect decreases towards southwest and is responsible for wave energy gradients that control alongshore and offshore sediment transport and dispersal. However, during storms and/or swell from W and SW the TSEC remains totally exposed (Quevauviller, 1987; Abecasis, 1987; Gama, 2005; Jacob *et al.*, 2009).

The aim of this work is to characterize the wave field evolution along the TSEC during a storm event that occurred from 20 to 25 October 1999. In order to simulate waves induced by storms, considering the local wind, the spectral wave model SWAN was used coupled to the atmospheric model Méso-NH.

2. METHODS

In order to characterize the nearshore wave conditions along the TSEC during the storm of 22 to 24 October 1999, the model SWAN (Simulating WAVes Nearshore, Booij *et al.*, 1999; SWAN Team, 2008) was used in stationary and non-stationary

mode to simulate the nearshore wave field. SWAN is a third generation phase averaging spectral wave model, suitable for the simulation of wind generated waves in coastal regions. It is based on a eulerian formulation of the discrete spectral wave action balance equation and includes all the relevant physical processes of the propagation of wind waves in shallow waters, namely, shoaling and refraction due to bottom variations, dissipation by depth-induced wave breaking and by bottom friction, wind input and dissipation by whitecapping (Pires Silva *et al.*, 2002). Data from the Sines wave-rider buoy, located offshore the Sines Cape were used as seaward boundary conditions to run SWAN under storm conditions.

The computational grid used in SWAN has 46 km in the West-East direction, from 9.3° W to 8.76° W and 78 km in the South-North direction, from 37.8° N to 38.5° N, with a spatial grid step of 250 m in both directions. A directional resolution of 5° covering 360° was used and spectral range, from 0.04 Hz up to 1.0 Hz, consisted of 34 frequencies logarithmically distributed.

The GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans) 30" grid bathymetry was used as input bathymetric data for the SWAN model. This spatial resolution is not the most appropriate for most of the studies in coastal areas but due to the large extent of the TSEC and the spatial scale of wave height alongshore variations it is considered to be adequate for the present qualitative study. In the TSEC region the bathymetry presents contours parallel to the coastline except in the Sado ebb-delta and in the Setubal canyon region (Fig. 1).

The SWAN simulations were forced by wind field produced by the three-dimensional (3-D) non-hydrostatic mesoscale model Méso-NH (Mesoscale Non-Hydrostatic, Lafore *et al.*, 1998). In the present

study, Méso-NH was run for the total period of the storm with a 10 m wind field output every 6 hours for the SWAN simulation. In the horizontal, the domain covers a 150 km (West-East) \times 180 km (South-North) area with a 5-km resolution, centred in 38.15 °N and 9.05 °W. The initial and the lateral boundary conditions were given by large-scale operational analyses from the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF).

The tide level was obtained from local tidal solutions obtained with the Oregon State University Tidal Inversion model (Egbert *et al.*, 1994) run for western North Atlantic.

The spectral parameters used in this study were the significant wave height (Hs), the peak wave period (Tp) and the peak wave direction (θ).

The maximum significant wave height and the corresponding peak period and wave direction, recorded at the Sines buoy, were selected to be used as offshore boundary conditions.

The relative importance of the wind waves and swell along the TSEC was evaluated through the analysis of the 1D and 2D variance density spectra provided by SWAN.

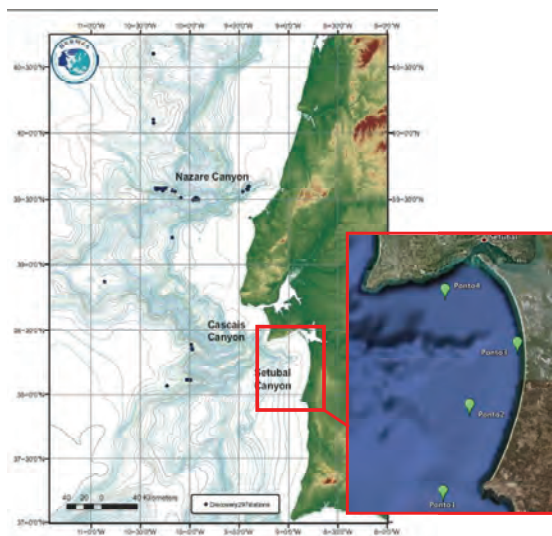


Fig. 1. Location of the study area (TSEC) in the southwest coast of Portugal and location of the monitoring points along the TSEC (pcwww.liv.ac.uk and Google Earth, 2009).

3. RESULTS

A study of the accuracy of the SWAN solutions in the nearshore region was made and presented in Jacob *et al.* (2009) before the present work has been done. In this study the predictions obtained were compared to ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) measurements taken at Raposa beach (17 m depth, monitoring point Ponto 3, Fig. 1) and to the results of the SWAN applications of Pires Silva *et al.* (2001), for two different storms in the same area. The results obtained exhibit a good estimation of the

significant wave height and wave direction and computations of the wave period with a difference of almost 2 s.

The criterion for storm occurrence in the west coast of Portugal states that Hs must be greater than 5 m (PITA and SANTOS, 1989). From the wave data recorded at the Sines buoy it was computed a mean significant wave height of 5.2 m, a maximum height of 7.3 m, a mean direction of 298° and a 60 hours duration for the 22 to 24 October 1999 storm.

Through SWAN runs in non-stationary mode it was possible to describe the storm evolution considering the wave parameters Hs, Tp and θ during the storm for the entire TSEC. The non-stationary mode of the SWAN model gives more reliable results concerning the duration of the storm.

The distribution of wave characteristics (Hs and θ) along the TSEC (Fig. 2) confirms the pattern described by Jacob *et al.* (2009) pointing to the Hs increase in the southward direction of Aberta Nova beach in the middle of the ALTS. The shadow effect of the Espichel Cape affects the wave height until Aberta Nova beach and Southward from this beach the coast is exposed to the NW main direction (Fig. 2). A gradual decrease of the significant wave height characterizes the coast in the northward direction of the Aberta Nova beach, reaching a minimum at the Tróia beach. This tendency is only perturbed by the refraction over the Setúbal Canyon that induces convergence and divergence of wave energy in a region north of Aberta Nova.

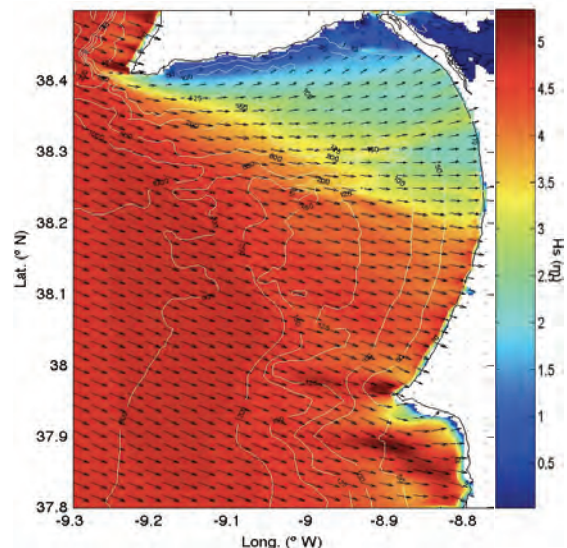


Fig. 2. Map of significant wave height contours and direction (vector) computed by SWAN at 12:00 pm on 22 October 1999 (Hs = 7.14 m, Tp = 18.2 s and θ = 299°).

The storm peak was reached at 12:00 on 22 October 1999 with the nearshore (12 m depth, Santo André beach, south of TSEC) wave field characteristics Hs=6.5 m, Tp=18.2 s and θ =290° (Fig. 3) for a wind speed of 11.4 m/s from SW.

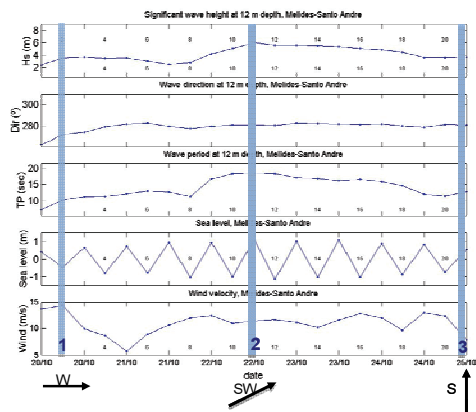


Fig. 3. Evolution of the wave parameters (H_s , dir , T_p), mean sea level and wind velocity during the 22 to 24 October 1999 storm in a point near Santo André beach, south of TSEC (12 m depth). At the bottom of the figure is depicted the mean wind direction at the moment considered

The wind effect on the nearshore wave field was felt along the ALTS under some weather conditions and can be seen in the 1D (Figs 4-6) and 2D (Fig. 7) variance density spectra relative maxima observed at high frequencies. These maximum increasing from south to north and from the pre-storm to the storm period correspond to the increasing energy associated to sea waves induced locally by wind from southwest (Fig. 7). At the same time the energy from swell at low frequencies, higher than the energy of the sea, decreases towards north due to the sheltering effect of Espichel Cape. The southwest winds from southwest produce more energetic wind seas than those induced by wind from west and northwest.

4. CONCLUSIONS

The main characteristics of the 22 to 24 October 1999 storm obtained from the Sines buoy wave data are a mean significant wave height of 5.2 m, a maximum height of 7.3 m, a mean direction of 298° and a 60 hours duration.

The wave conditions of the storm of 22 to 24 October 1999 along the TSEC were simulated using the SWAN wave model in non-stationary mode coupled with the atmospheric model Méso-NH. The non-stationary mode allowed a precise description of the storm evolution in a more efficient way. The results obtained with SWAN were used to characterize the nearshore wave field along the TSEC during the entire storm period. For the storm peak on 22 October 1999 (12:00 h) the following wave characteristics were obtained nearshore (12 m depth) in the south of TSEC: $H_s=6.5$ m; $T_p=18.2$ s and $\theta=290^\circ$.

The analysis of the 1D and 2D wave variance density spectra for three points offshore along the TSEC indicates that the wave field before and during the storm studied is controlled by the swell, as expected. The relative importance of the sea

waves is greater in the north sector of TSEC but its energy is lower than swell's energy. The relative influence of the sea on wave field seems to increase northwards, with a decreasing of the wave height in the same direction. This suggests an increased effect of the natural protection of the Espichel cape. Moreover, the wave energy exhibits a small increase when the dominant wind direction rotates from the NW-W to SW direction and when the wind intensity increases.

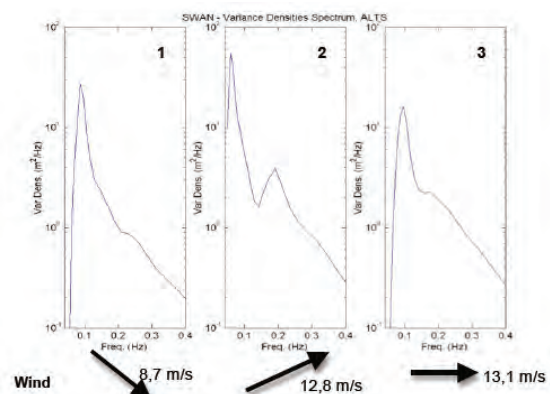


Fig. 4. 1D spectrum at monitoring point 2 (Ponto 2, Fig. 1): 1- 20 October (06:00h); 2- 22 October 1999 (12:00 h) 3- 25 October 1999 (00:00).

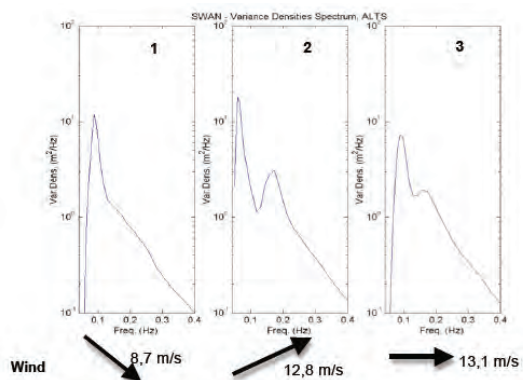


Fig. 5. 1D spectrum at monitoring point 3 (Ponto 3, Fig. 1): 1- 20 October (06:00h); 2- 22 October 1999 (12:00 h) 3- 25 October 1999 (00:00).

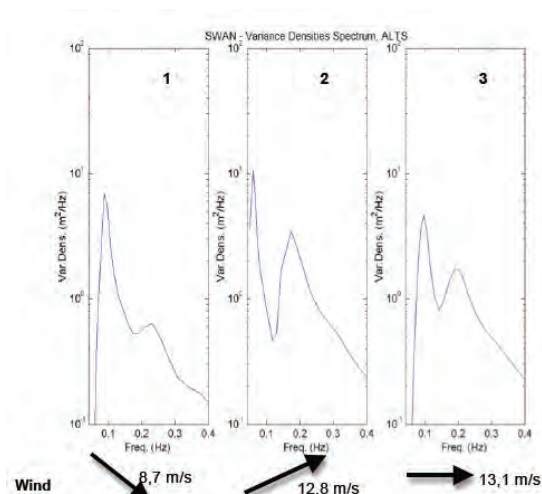


Fig. 6. 1D spectrum at point 4 (Ponto 4, Fig. 1): 1 - 20 October (06:00 h); 2 - 22 October 1999 (12:00 h); 3 - 25 October 1999 (00:00 h).

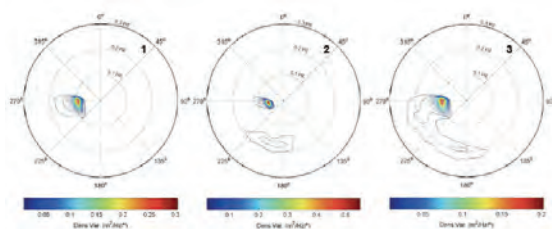


Fig. 7. 2D spectrum at point 4 (Ponto 4, Fig. 1): 1 - 20 October (06:00 h); 2 - 22 October 1999 (12:00 h) 3 - 25 October 1999 (00:00 h).

REFERENCES

- Abecasis, F., (1987). O Regime Aluvionar da Costa Portuguesa entre Peniche e a Foz do Mira. *Ingenium*, revista da Ordem dos Engenheiros, 4-18.
- Booij, N., Ris, R.C. and Holthuijsen, L.H., (1999). A Third-Generation Wave Model for Coastal Regions, Part I: Model Description and Validation. *Journal of Geophysical Research*, 104(C4), 7649-7666.
- Costa, M., Silva, R., Vitorino, J., (2001). Contribuição para o estudo do clima de agitação marítima na costa portuguesa. *Actas das 2^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, Associação Internacional de Navegação, Sines, CD-ROM, 20 p.
- Egbert, G.; Bennett, A. and Foreman, M., (1994). TOPEX/Poseidon tides estimated using a global inverse model. *Journal of Geophysical Research*, 99 (C12), 24821-24852.
- Gama, C., (2005). Dinâmica de Sistemas Sedimentares do Litoral Ocidental Português a Sul do Cabo Espichel. Évora, Portugal: Universidade de Évora, Ph.D.thesis, 359p.
- Jacob, J., Gama, C., Salgado, R., Liu, J., T. and Silva, A., (2009). Shadowing Effects on Beach Morphodynamics During Storm Events on Tróia-Sines Embayed Coast, Southwest Portugal. *Journal of Coastal Research*, SI 56, pp73-77.
- Lafore, J.-P., Stein, J., Asencio, N., Bougeault, P., Ducrocq, V., Duron, J, Fischer, C., Hérelil, P., Mascart, P., Masson, V., Pinty, J.-P., Redelsperger, J.-L., Richard, E. and Vilà-Guerau de Arellano, J., (1998). The Meso-NH Atmospheric Simulation System. Part I: adiabatic formulation and control simulations. Scientific objectives and experimental design, *Ann. Geophys.* 90-109.
- Mota, P., (2010). Caracterização da Agitação Marítima ao Largo do Arco Litoral Tróia-Sines Durante um Temporal e sua Influência na Evolução Morfodinâmica da Praia de Santo André.: Universidade do Algarve, M.SC. thesis, 75p.
- Pires Silva, A. A., Makarynsky, O., Ventura Soares, C. and Coelho, E. (2001). Verificação do modelo SWAN com dados ADCP na costa oeste portuguesa. *Actas das 2as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, Sines, Associação Internacional de Navegação, CD-ROM, 11 p.
- Pires Silva, A.A., Makarynsky, O., Monbaliu, J., Ventura Soares, C. and Coelho, E., (2002). Wam/Swan simulations in an open coast: comparisons with ADCP measurements. *Littoral 2002, The Changing Coast*, Porto, Portugal, EUROCOAST/EUCC, 169-173.
- PITA, C. and SANTOS, J.A., (1989). Análise dos temporais da costa oeste de Portugal Continental. Relatório PO_WAVES 1/89-A, IH/LNEC, 29p.
- Quevauviller, P. (1987). Etude Geomorphologique, Sedimentologique et Geochimique du Littoral de Galé et de L'Estuaire du Sado (Portugal). Bordeaux, France: Université de Bordeaux I, Ph.D. thesis, 256p.
- The Swan Team (2008). SWAN Cycle III, version 40.72: Technical Documentation. Delft, The Netherlands: Delft University of Technology

Fluxos sedimentares no estuário do Rio Douro: Existe exportação para a plataforma continental?

A.I. Santos (1), A. Oliveira (1), M.J. Balsinha (1), L. Quaresma dos Santos (1), J. Onofre (1),
C. Fernandes (1) & A. Jorge da Silva (1)

(1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 49, 1249-093 Lisboa, ana.santos@hidrografico.pt

Resumo: Projecto ECOIS (Estuarine Contributions to Inner Shelf Dynamics), que decorreu entre 2005 e 2007, teve como principal objectivo avaliar de que forma a variabilidade no escoamento fluvial do Douro e do Minho influencia a dinâmica costeira, e entender como e quando se processam trocas de material com a plataforma continental. No âmbito deste projecto realizaram-se 3 campanhas no interior do estuário do Douro (Verão de 2005 - baixo escoamento - e Inverno de 2006 e 2007 - escoamento elevado), cobrindo um período de marés vivas e um período de marés mortas. Com base em dados de ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) recolhidos numa secção transversal, em dados hidro-sedimentológicos de uma estação fixa localizada nessa mesma secção (no baixo estuário, junto ao cais de Massarelos), e na granulometria dos sedimentos de fundo, foi possível concluir que nos períodos em que existe caudal fluvial significativo, especialmente associados a marés mortas, existe exportação de material fino para a plataforma interna.

Palavras chaves: Estuário, Douro, ADCP, sedimentos em suspensão

1. INTRODUÇÃO

O projecto ECOIS (Estuarine **C**ontributions to **I**nnner Shelf Dynamics) teve como principal objectivo avaliar de que forma a variabilidade no escoamento fluvial dos rios Douro e Minho influenciam a dinâmica costeira e entender como, e quando, se processam trocas entre os estuários e a plataforma continental. No decorrer deste projecto, realizaram-se três campanhas multidisciplinares no interior do estuário do Douro que visaram caracterizar a sua estrutura hidrodinâmica e sedimentar em situações sazonais e hidrológicas distintas. Com base em dados correntométricos colhidos numa secção transversal no baixo estuário do Douro (junto ao cais de Massarelos), em conjunto com informação hidro-sedimentológica colhida numa estação fixa na mesma secção (Fig. 1), pretende-se calcular os fluxos sedimentares que a atravessam e daí tirar ilações acerca do transporte de material para dentro e fora do estuário em duas condições sazonais distintas: Verão de 2005 e Inverno de 2006.

2. METODOLOGIA

A realização de secções correntométricas transversais ao troço principal do baixo estuário permitiu o conhecimento detalhado da estrutura hidrológica e cálculo de fluxos na coluna de água, ao longo de um ciclo de maré. Esta cobertura foi feita utilizando um ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) com módulo de *bottom tracking* (identificação do fundo da secção) configurado para

observar na vertical, da superfície para o fundo, instalado numa plataforma móvel (Zebro). A secção aproximadamente transversal junto ao Cais de Massarelos (Fig. 1) foi coberta, em período de marés vivas (MV) e marés mortas (MM) no Verão de 2005 e no Inverno de 2006. Para a aquisição e pós-processamento dos dados utilizou-se o *software* do fabricante *Teledyne RD Instrument's (TRDI)-WinRiver II*. Para além da aquisição e processamento dos dados, este software permite ainda o cálculo dos caudais que atravessam a secção em tempo real. Foram realizadas, durante a campanha de 2005, 8 fiadas em MV (18 de Setembro de 2005) e 7 em período de MM (24 de Setembro de 2005) intervaladas de cerca de 1 hora e meia; e durante o Inverno de 2006, 14 fiadas em MV (28 de Fevereiro de 2006) e 14 em MM, tendo-se reduzido o intervalo entre fiadas para cerca de 1 hora.

Para a determinação de concentrações de matéria particulada em suspensão (MPS) foram colhidas amostras de água, de hora a hora, durante pelo menos um ciclo de maré numa posição aproximadamente central à secção transversal de Massarelos. Ver detalhes desta amostragem em Santos *et al.* (2006) e Santos *et al.* (2008). A colheita de dados de MPS em estação fixa foi feita simultaneamente com a recolha de dados hidrodinâmicos em secção durante a campanha de 2005 mas o mesmo não foi possível no Inverno de 2006, devido à indisponibilidade de embarcações.

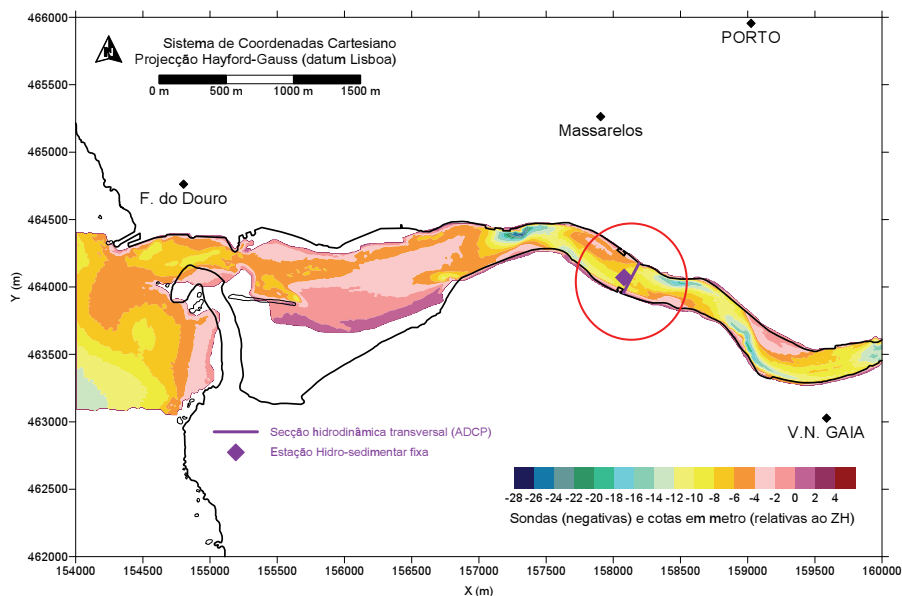


Figura1: Posicionamento das observações durante as campanhas ECOIS 2005 e ECOIS 2006 no estuário do Rio Douro

A maré foi registada num marégrafo posicionado mais a jusante junto a Cantareira e os dados de escoamento fluvial foram obtidos por cedência do INAG com autorização da REN (dados de produção) para a estação hidrométrica da barragem de Crestuma-Lever.

O cálculo dos fluxos de água e sedimentos que atravessam a secção foi feito através da integração temporal dos caudais observados. Na interpretação destes valores será necessário levar em conta os seguintes factos:

- Para efeitos de normalização temporal, todos os caudais e amostras de MPS foram referenciados à primeira preia-mar do dia de observações. No caso da campanha de 2006, em que as colheitas de MPS foram feitas em ciclos de maré diferentes referenciaram-se os caudais à primeira PM do dia e as amostras de MPS à segunda. As concentrações utilizadas para o cálculo de fluxos sedimentares, neste caso, foram aquelas que melhor se ajustavam à situação de maré em que o caudal foi observado.
- Em 2005 as observações de caudal não cobriram a totalidade do ciclo de maré. Tendo-se verificado que os valores do caudal dependiam directamente da maré, não havendo escoamento fluvial durante as observações, foi ajustada uma curva sinusoidal à distribuição temporal dos caudais permitindo assim inferir valores de caudal para o ciclo de maré completo. Para a determinação desta equação utilizou-se o software *Grapher 5.0* e adoptou-se uma equação do tipo:

$$Q = A \sin(\omega t + f)$$

A = amplitude da onda
 ω = frequência angular
 f = fase

- Com base nas observações da estrutura hidro-sedimentar da coluna de água nas secções correntométricas (ADCP) e em estação fixa (ver Santos *et al.*, 2006 & 2008), assumiu-se uma distribuição de MPS lateralmente homogénea e para

os objectivos deste trabalho foi também assumida homogeneidade vertical.

- Para os efeitos da integração dos volumes e fluxos sedimentares considerou-se o ciclo de maré como o tempo que separa duas preia-mar consecutivas. Este intervalo não é constante para todos os períodos de observação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Estrutura hidro-sedimentar transversal da coluna de água

Os dados correntométricos registados na secção transversal de Massarelos revelam que durante o Verão a hidrodinâmica da coluna de água é dominada pela maré. O escoamento fluvial, regularizado em Crestuma-Lever foi inexistente durante os dois períodos de observação (MV e MM). O efeito de corte na corrente fez-se sentir durante a vazante em ambos os períodos sendo mais evidente durante as marés mortas. Durante as MV, existe uma homogeneidade lateral da direcção do escoamento para montante e jusante consoante a fase da maré. Durante as MM as baixas velocidades não permitem uma definição na direcção de escoamento havendo alguma heterogeneidade transversal na direcção do fluxo. Quanto à quantidade de partículas em movimento na coluna de água, e fazendo uma análise qualitativa das distribuições do *backscatter*, as distribuições sugerem uma maior quantidade de MPS durante as MV embora em ambos os casos, e comparando com as distribuições de 2006, os valores sejam baixos. Em todos os casos parece haver homogeneidade transversal das distribuições de sedimentos em suspensão. Estas distribuições parecem estar de acordo com a interpretação das observações hidrológicas realizadas em estação fixa que revelaram valores máximos de MPS coincidindo

com os máximos de corrente de enchente durante o período de MV (Santos *et al.*, 2006).

Na campanha de 2006, o escoamento fluvial foi significativo, principalmente durante o período de MM com valores variando entre os 600 e os 1200 m³/s. Durante todas as observações o fluxo foi para jusante, excepto no máximo da enchente. O fluxo para jusante foi retomado assim que a força da entrada da maré abrandou, fazendo-se sentir algum efeito de corte na parte final da enchente e preia-mar. Os valores máximos da velocidade ocorreram durante a vazante, à superfície, ultrapassando 1 m/s. Foi também durante a vazante que se observaram valores mais elevados de *backscatter*, com máximos junto ao fundo. Durante as MV o escoamento fluvial foi mais reduzido e

irregular, sendo nulo no início das observações, e exibindo um pico de cerca de 800 m³/s durante a enchente. A estrutura hidrodinâmica da coluna de água é assim também dominada pela maré sendo que a única diferença significativa que apresenta relativamente a 2005 são as velocidades mais elevadas associadas à vazante que ultrapassam 1 m/s.

De acordo com Santos *et al.* (2008) a MPS (colhida quer em 2005 quer em 2006) tem uma assinatura granulométrica de silte muito fino que, de acordo com Balsinha *et al.* (2009) não corresponde à granulometria dos sedimentos de fundo que são bastante mais grosseiros.

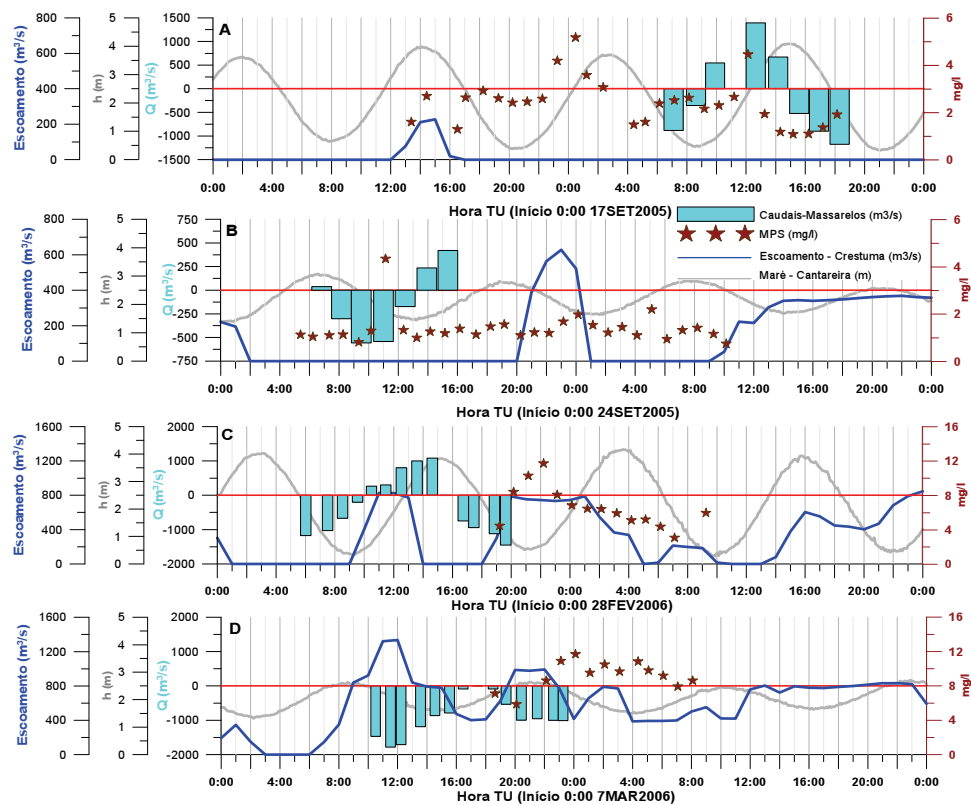


Figura 2: Caudais medidos na secção transversal de Massarelos, concentrações médias na estação fixa, caudal fluvial em Crestuma e maré para os períodos de observações em 2005 – MV (A), 2005-MM (B), 2006-MV (C) e 2006-MM (D)

Esta descrição da estrutura hidrodinâmica da coluna de água é consistente com os caudais calculados na secção (Fig. 2). Na campanha de 2005 os caudais são positivos (com direcção para montante) durante as enchentes e negativos (direcção para jusante) durante as vazantes. Existe um aumento significativo do volume de água que atravessa a secção de marés mortas para marés vivas, o que está de acordo com o aumento do prisma de maré que dá entrada no estuário (os valores máximos em valor absoluto aumentam em cerca do dobro de aproximadamente 650 m³/s para cerca de 1500 m³/s em marés vivas). Na campanha de Inverno de 2006, durante as MM os caudais são sempre de sinal

negativo à excepção da fiada realizada no máximo de corrente de enchente (cerca das 17:30 de 7 de Março). Esta distribuição evidencia a existência de transporte para jusante durante quase todo o período de observações. À semelhança do que havia sido observado no Verão de 2005, os caudais que atravessam a secção durante as MV de 2006 variam de sentido com a maré. No entanto verifica-se um aumento dos valores em absoluto durante a segunda vazante observada que ocorreu simultaneamente como uma aumento do escoamento fluvial em Crestuma –Lever (a partir das 17:00 do dia 28 de Fevereiro).

3.2. Volumes e fluxos sedimentares

Os valores de volumes e fluxos sedimentares calculados evidenciam um aumento extraordinário do transporte de sedimentos para jusante ocorrido durante as observações de 2006 - MM (Tabela I e Fig. 3), cerca de 2 ordens de grandeza superiores aos registados em 2005 em MM e em 2006 durante as MV. O aumento significativo do caudal fluvial, assim como a sua persistência durante o período de

observações foi determinante para o aumento significativo do transporte. Durante as MV da campanha de 2005, os valores calculados revelam uma importação de sedimentos para o interior do estuário. Estes valores estão de acordo com as observações realizadas em estação fixa que evidenciavam valores máximos de MPS associados aos máximos de enchente e episódios de remobilização de material de fundo (Santos *et al.*, 2006).

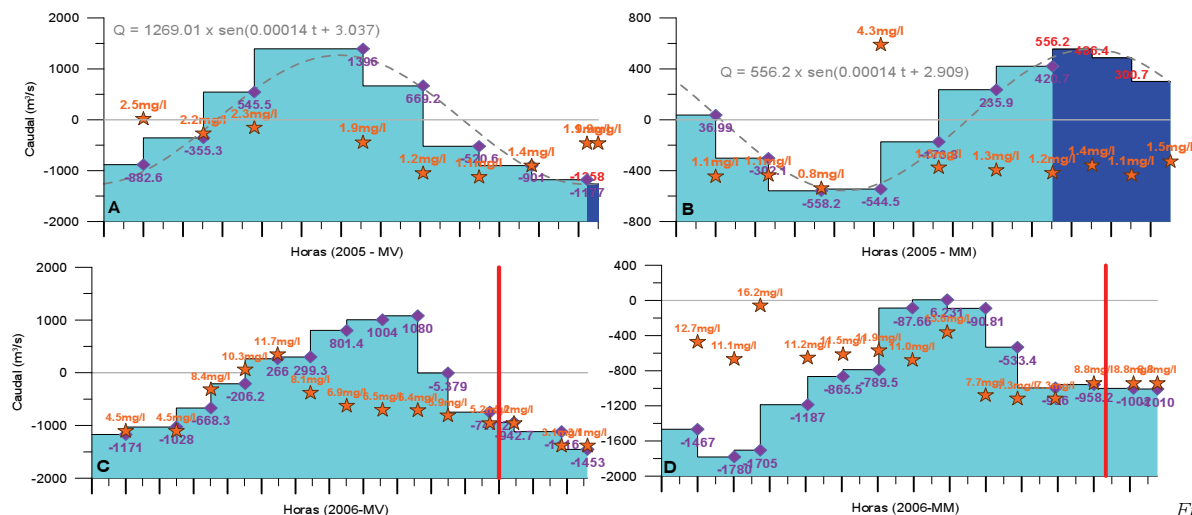


Figura 3: Esquema de integração temporal dos caudais observados para os 4 períodos e concentrações de MPS consideradas no cálculo dos fluxos sedimentares. A azul-escuro estão representados os intervalos para os quais se utilizaram valores de caudais inferidos da função sinusoidal apresentada a cinzento. Nas observações de 2006 o fim do ciclo de maré está representado pela linha a vermelho - 2005 - MV (A), 2005-MM (B), 2006-MV (C) e 2006-MM (D)

	Ciclo Maré (horas)	Volume (10 ³ m ³)	Fluxo Sedimentar (10 ³ kg)
2005-MV	12.5	708.19	2.107
2005-MM	12.5	335.27	-7.254
2006-MV	12	-4112.63	-2.147
2006-MM	12.33	-34972.96	-398.867

Tabela I: Volumes e fluxos sedimentares calculados para os 4 períodos de observação

4. CONCLUSÕES

A exportação de material sedimentar do baixo estuário do Rio Douro dá-se em situações em que existe escoamento fluvial, e especialmente nos períodos em que tal coincide com períodos de marés mortas. Os valores registados para as observações de 2006, em MM são cerca de 2 ordens de grandeza superiores às restantes observações. Nos períodos em que a amplitude de maré é elevada e não existe escoamento fluvial existe importação de material para montante associado à entrada da corrente de enchente que remobiliza os sedimentos junto ao fundo e os transporta para montante. Este transporte para montante em período de MV parece ser totalmente compensado pela exportação de valores da mesma ordem de grandeza durante

períodos de MM. O material transportado em suspensão tem uma assinatura granulométrica de silte muito fino que, de acordo com os resultados de Balsinha *et al* (2009), não corresponde ao sedimento de fundo que se encontra no baixo estuário, evidenciando que este se continuará a movimentar em suspensão até à plataforma interna.

REFERÊNCIAS

Balsinha, M.J., Santos, A.I., Caetano Alves, A.M. & Oliveira, A. (2009). Bottom sediments textural characterization and relation with hydrodynamics: Minho and Douro estuaries (Portugal). 10th International Coastal Symposium -ICS (May 2009), Lisboa, Portugal.

Santos, A.I., Balsinha, M.J., Oliveira, A. & Jorge da Silva, A. (2006). Tidal induced variability in the hydrography and dynamics of the Minho and Douro estuaries during low runoff. *Book of Abstracts 5º Simpósio sobre a Margem Ibérica Atlântica* (2-4 Nov. 2006, Aveiro Univ.), 195-196 (oral communication).

Santos, A.I., Balsinha, M.J. & Oliveira, A. (2008). Suspended particulate matter: tidal and seasonal variation in two mesotidal estuaries – Douro and Minho (NW Portugal). *PECS 2008: Physical of estuaries and Coastal seas, CD-ROM* (Liverpool, 25-29th August 2008).

Recuperação de condições para o funcionamento do moinho de maré de Corroios

A. Jorge da Silva, A. Santos Martinho, Leonor Veiga, e F. Sansana da Silva

Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 49, 1249-093 Lisboa, jorge.silva@hidrografico.pt

Resumo: Foram estudadas as condições hidráulicas para reposição do funcionamento do moinho de maré de Corroios. No estudo assumiu-se que os oito canais que alimentam de água os sistemas de moagem deveriam ser mantidos desobstruídos, muito embora o aproveitamento de energia só se fizesse nos únicos dois em que existem engenhos montados. As características da maré e a geometria da implantação do moinho conduzem a que, estando garantidas as dragagens necessárias, o moinho só possa operar com marés cuja preia-mar se situe entre 3,00 m (ZH) e 3,85 m (ZH), a que corresponderão tempos máximos de operação em cada ciclo de maré de, respectivamente, 125 e 220 minutos. Para minimizar os custos de dragagem, recomenda-se a abertura faseada dos pejadouros e a manutenção, na caldeira, de uma área útil de 10 000 m², dragada a, pelo menos, +1 m (ZH), bem como a manutenção, a jusante do moinho, de um canal com uma largura de 40 m dragado, pelo menos, à mesma cota.

Palavras chave: maré, moinho de maré, Baía do Seixal, assoreamento, dragagens

1. INTRODUÇÃO

Localizado no extremo NW da Baía do Seixal, o moinho de maré de Corroios é uma estrutura cuja primeira edificação tem mais de seis séculos. Inicialmente dotado de três mós, viu esse número aumentar para sete durante o séc. XVIII, tendo a oitava sido acrescentada já depois de 1900. A sua implantação reflecte, certamente, as características locais da maré, bem como o nível médio do mar, no início do séc. XV.

Apesar da industrialização da produção de farinha, ocorrida a partir de meados do século passado, ter conduzido ao fecho progressivo dos moinhos, o moinho de Corroios laborou em pleno até à década de 1980. Entretanto, a explosão demográfica ocorrida desde a conclusão da ponte sobre o Tejo, em 1966, na área actualmente ocupada pelos concelhos de Almada e Seixal originou impermeabilização dos solos, com a consequente canalização de sedimentos para a Baía do Seixal, resultante de episódios torrenciais. A diminuição de rentabilidade dos moinhos não justificava o investimento na dragagem do acesso ao moinho de Corroios, cujos engenhos ficaram progressiva, e cada vez mais frequentemente, assoreados. Actualmente, o acesso ao moinho pela via estuarina faz-se, apenas em preia-mar, através de um canal muito estreito e pouco profundo (Fig. 1).

Apenas dois dos oito nichos do moinho possuem hoje engenhos potencialmente funcionantes,

embora assoreados, como acontece, aliás, com as soleiras de todos os nichos. O assoreamento da caldeira é também evidente, embora não afecte a soleira da *porta de maré* (dispositivo móvel, de funcionamento automático, que permite a entrada de água durante a enchente, completando o dique durante a vazante). Perante esta situação, o Ecomuseu Municipal do Seixal, entidade responsável pela gestão do moinho, solicitou ao Instituto Hidrográfico a realização de um estudo visando a reposição do funcionamento daquela infra-estrutura para fins museológicos.

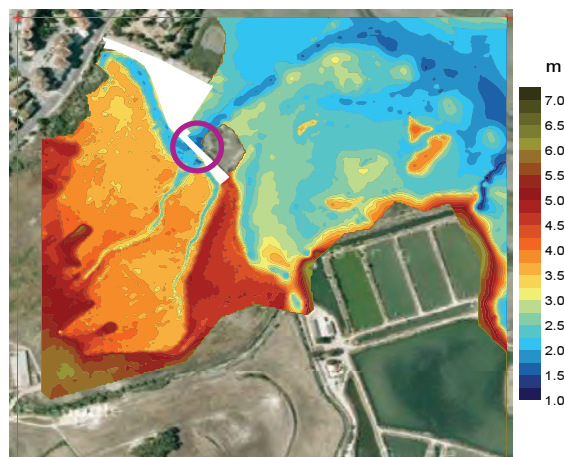


Fig 1. Topografia da caldeira e do acesso ao moinho de maré de Corroios, tal como observada pela Brigada Hidrográfica em Março de 2009, sobreposta a uma fotografia extraída do GoogleEarth. A circunferência assinala a zona correspondente ao moinho dentro da área edificada, representada a branco.

2. LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Estando garantidos os aspectos mecânicos relativos aos engenhos, a hidráulica é simples: trata-se da descarga de um tanque através de uma embocadura inferior cuja secção transversal é muito menor que a área da superfície livre do tanque (p.e., White, 1999, p.178-179). Do ponto de vista do aproveitamento de energia, contudo, os autores não reuniam conhecimentos que permitissem dizer, por exemplo, qual a quantidade de movimento necessária ao arranque das mós e, uma vez estas em funcionamento, qual a que seria suficiente para a sua manutenção. Consequentemente, os autores ignoravam qual o nível mínimo de água na caldeira necessário ao arranque do moinho e, bem assim, o nível abaixo do qual o moinho tenderia a parar. Foi, por isso, necessário assumir alguns pressupostos, tornados postulados no estudo, que se enunciarão à medida que tal se justificar.

3. CONDICIONANTES HIDRÁULICAS

O funcionamento de um moinho de maré depende

(i) da quantidade de água que é possível represar

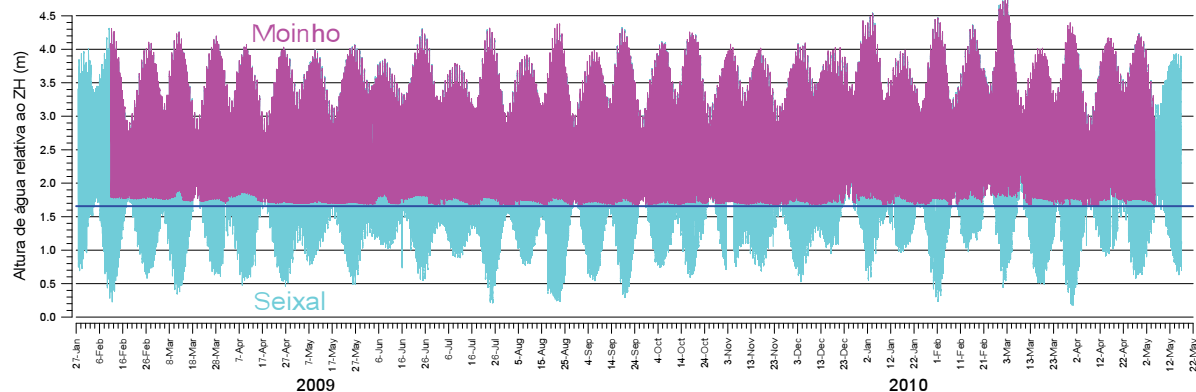


Fig 2. Sucessões cronológicas de alturas de maré no Seixal e no moinho de maré de Corroios

Para conhecer as características da maré, foi instalado um marégrafo de pressão num dos nichos centrais do moinho, cujo registo foi comparado com o de outro marégrafo instalado à entrada da Baía do Seixal (Fig. 2), no âmbito de outro projecto (Jorge da Silva *et al.*, 2010). Da comparação dos dois sinais de altura de água, pode concluir-se que a onda de maré não é amplificada nem atenuada ao propagar-se para o interior da Baía do Seixal, em direcção ao moinho de maré de Corroios. Contudo, devido à cota mais elevada dos fundos na aproximação ao moinho (Fig. 1), não há registo dos troços inferiores da curva de maré. A existência de uma pequena depressão junto aos nichos manteve o sensor imerso mesmo em baixa-mar, dando origem a um mínimo de cerca de +1,66 m (ZH).

entre uma preia-mar e a baixa-mar subsequente, (ii) dos desníveis estabelecidos entre essas duas situações (amplitude de maré), (iii) da área da secção transversal dos canais de escoamento (*setias*) e ainda (iv) do desnível entre a base dos *rodízios* e a mais alta baixa-mar no local. O volume represado condiciona o intervalo de tempo máximo durante o qual é possível manter o moinho em operação em cada maré. O primeiro desnível determina a velocidade inicial de escoamento e, conjuntamente com a área da secção das *setias*, o caudal incidente sobre os *rodízios*. O segundo desnível impõe o momento de paragem do moinho na fase de enchente, no pressuposto de que não há limitação de água imposta pela caldeira. Resulta deste conjunto de condicionantes que o aproveitamento energético da maré (Fig. 2) se optimiza através de uma construção cuja geometria tenha em conta as diferenças de nível atrás enunciadas, e de um dimensionamento da área da caldeira adequado ao número de engenhos e à área da secção transversal das *setias*. Ora, no caso do presente estudo, essa geometria já se apresenta definida (Fig. 3), havendo portanto uma única variável – a área útil da caldeira, - a qual poderá ser ajustada através de dragagem.

No estudo, postulou-se que a descarga de água sobre os *rodízios* só seria eficaz enquanto a maré não os cobrisse. A ser verdadeiro este postulado, será sempre necessário proceder a uma dragagem da cala a jusante do moinho, uma vez que a base dos *rodízios* se situa aproximadamente à cota +1,50 m (ZH) (Fig. 3). Por seu turno, o topo da porta de maré, situado à cota +3,85 m (ZH), impõe um limite superior à retenção de água na caldeira. Finalmente, a descarga de água deixará de produzir efeito quando o nível dentro da caldeira ficar abaixo do topo da saída das *setias*: +2,25 m (ZH) (Fig. 3). Na realidade, é expectável que os *rodízios* ainda rodem nessas circunstâncias. No entanto, o modelo simples assumido no trabalho (White, 1999) falhará porque a secção de saída passa a variar no tempo, o que obrigou a esse postulado.

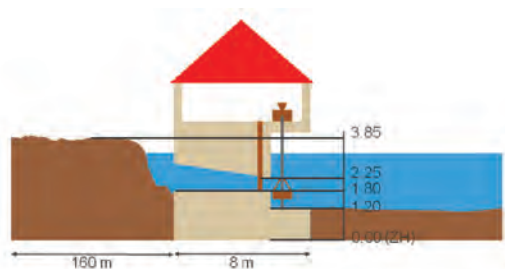


Fig 3. Esquema da geometria do moinho de maré de Corroios e zona envolvente. Na dimensão perpendicular ao plano do papel, as setias têm uma largura de 0,2 m. Note-se o uso de três escalas diferentes, duas horizontais e uma vertical.

Para conhecer o limite temporal de operação do moinho, utilizou-se a série de alturas de água no Seixal, da qual se removeram todos os ciclos com baixa-mar mais elevada do que 1,5 m. Em seguida, relacionou-se o intervalo de tempo decorrido, em vazante, entre duas passagens sucessivas por essa cota com a altura da preia-mar imediatamente antecedente (Fig. 4). Após rejeição de uns poucos pontos aberrantes, pode inferir-se que a máxima duração possível para o funcionamento do moinho em cada ciclo de maré será de cerca 220 minutos, correspondente a uma preia-mar de 3,85 m. Por outro lado, as marés cuja preia-mar seja inferior a 3,0 m não serão operantes porque as correspondentes baixa-mares terão uma altura superior a 1,5 m. Neste limite inferior, o tempo máximo de operação do moinho estará limitado a pouco mais de 125 minutos.

4. REPOSIÇÃO DO FUNCIONAMENTO E OPTIMIZAÇÃO

Cálculos numéricos preliminares realizados pelos autores, mostraram que a capacidade de retenção da caldeira, na actual situação de assoreamento, permitiria operar dois engenhos com os respectivos *pejadouros* (comportas de abertura manual, operados junto às mós) completamente abertos, desde que os restantes *pejadouros* estivessem fechados e se procedesse à dragagem da cala e ao desassoreamento dos rodízios. O Ecomuseu Municipal do Seixal pretende, no entanto, manter todas as setias desobstruídas, pelo que será necessário garantir um fluxo regular através delas, embora não necessariamente quotidiano.

A solução proposta previu, assim, a abertura simultânea de quatro setias – duas com engenhos e duas sem engenhos, - variando diariamente as que não estão aparelhadas. Dessa forma, as setias não aparelhadas serão sujeitas a fluxo para limpeza duas vezes por semana, esperando-se que isso seja suficiente para garantir a sua não obstrução.

O modelo simples utilizado para os cálculos não tem em conta o atrito, o que, na prática, requer que a caldeira esteja dragada claramente abaixo da soleira das setias. Ora, isto é também um requisito para o adequado funcionamento da porta de maré, cuja soleira está ao mesmo nível da soleira de assentamento dos veios dos rodízios (v. Fig. 3).

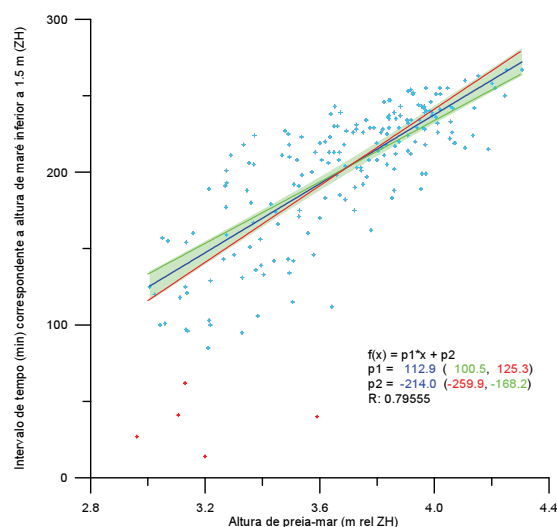


Fig 4. Marégrafo do Seixal: relação entre o intervalo de tempo decorrido, em vazante, entre alturas de maré inferiores a 1,5 m e a altura de água na preia-mar imediatamente anterior, obtida com base na série de valores reunida entre 27 de Janeiro e 15 de Junho de 2009. Para a regressão estatística foram rejeitados os pontos representados a vermelho. A área sombreada a verde corresponde ao intervalo de confiança da regressão representada a azul, para um intervalo de confiança de 95%. As linhas a verde e vermelho correspondem às relações lineares que delimitam aproximadamente esse intervalo de confiança.

4.1. Abertura total dos *pejadouros*

Numa primeira fase, assumiu-se a abertura total dos *pejadouros*. Utilizaram-se vários valores para a área útil da caldeira, assumida como de profundidade constante, para que a variação de nível durante o esvaziamento não implicasse variação de área. A área potencialmente útil é a que se situa abaixo da cota +3,85 m (ZH) (Fig. 1): cerca de 40 000 m². Com tal área, porém, a água atingiria a base dos rodízios durante a enchente antes do total esvaziamento da caldeira, enquanto uma área de 10 000 m² não permitiria o aproveitamento total da energia da maré. A optimização dar-se-ia com uma área de cerca de 12 000 m² (Fig. 5).

4.2. Abertura faseada dos *pejadouros*

Um expediente lógico para promover o funcionamento do moinho com uma área útil

equivalente menor, é o recurso à abertura faseada dos pejadouros. Este método tira partido do facto de a velocidade de escoamento depender apenas da altura da água na caldeira, diminuindo à medida que o nível de água diminui. Na realidade, quando o nível de água na caldeira é de 3,80 m, basta abrir os pejadouros cerca de 9% para conseguir a quantidade de movimento correspondente ao instante em que o nível de água se situa ao nível do topo da saída das setias.

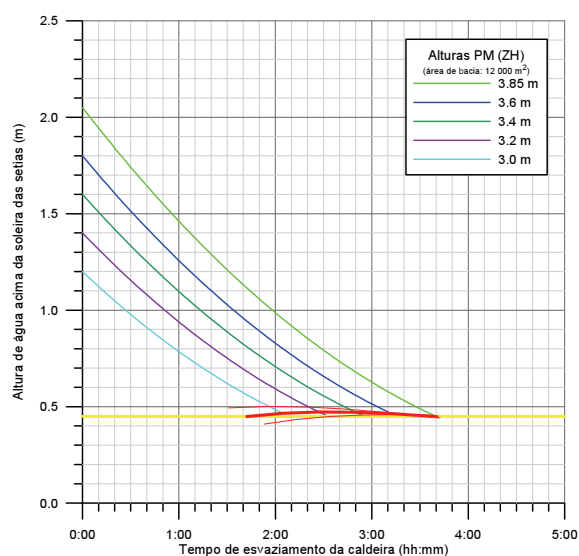


Fig. 5. Variação da altura de água durante o esvaziamento da caldeira, assumindo uma área útil de 12 000 m², para várias alturas de preia-mar. A linha amarela horizontal corresponde ao topo da saída das setias (0.45 m acima da base), nível que se assume como limite para o funcionamento pleno dos rodízios. As linhas a vermelho resultam da aplicação da regressão da Fig. 4, com o respectivo intervalo de confiança.

Sendo impraticável proceder a uma abertura contínua dos pejadouros, de modo a manter constante a quantidade de movimento, seguiu-se uma metodologia visando uma abertura por passos. Cada um desses passos terminaria quando o caudal fosse igual ao que se verificaria com os pejadouros totalmente abertos e a água ao nível do topo da saída das setias. Impuseram-se, então, etapas de 1 hora, com abertura parcial dos quatro pejadouros, no fim de cada uma das quais se admitiu que esse caudal seria atingido. Considerou-se uma área útil equivalente da caldeira de 10 000 m² e, para cada altura de preia-mar, procedeu-se por tentativa e erro, introduzindo valores da abertura até conseguir maximizar o tempo de esvaziamento da caldeira. O exemplo da Fig. 6 mostra que a aplicação deste método a uma área útil equivalente de 10 000 m² nunca permite esvaziar totalmente a caldeira. Isto deixa margem para uma de duas opções: trabalhar com uma área menor, ou abrir totalmente os pejadouros das setias não aparelhadas.

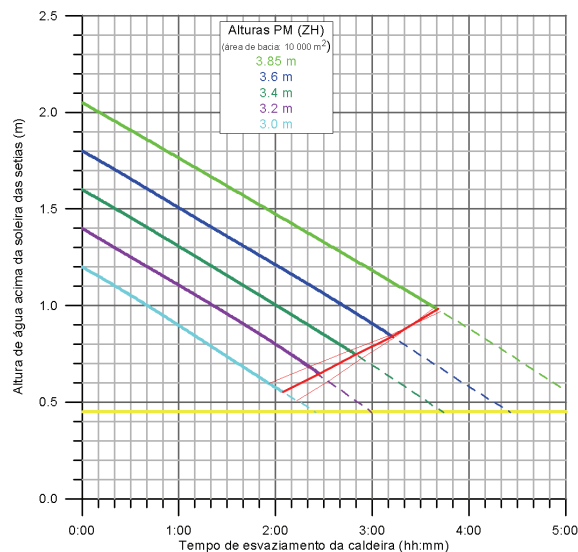


Fig. 6. Idêntica à Fig. 5, para uma área útil de 10 000 m² e aberturas faseadas dos pejadouros a cada hora de funcionamento. A traço interrompido está representado o esvaziamento não operante, correspondente a situações em que a altura de água no exterior se situa acima da base dos rodízios (v. Figura 4)

4.3. Cotas de trabalho e volumes a dragar

O adequado funcionamento dos sistemas de captação e libertação de energia requer o desassoreamento das soleiras das setias, da porta de maré e dos nichos, onde assentam os veios dos rodízios. Estes constrangimentos impõem uma cota de serviço máxima de +1,20 m (ZH) na cala (Fig. 3), a qual terá que ser garantida também na caldeira, de outro modo criar-se-ia um degrau que inevitavelmente provocaria assoreamento a jusante. Para obter tal cota, e assumindo uma taxa de deposição anual de 5 cm na cala, valor de todo não excessivo, seria sensato dragar, pelo menos, à cota +1,0 m (ZH). Um exame da Fig. 1 sugere que isso poderia conseguir-se mantendo um canal dragado com cerca de 40 m de largura, alargando junto ao moinho, de modo a cobrir toda a extensão desde a porta de maré até ao nicho mais a Norte.

REFERÊNCIAS

- Jorge da Silva, A., Martins, I., Martinho, A.S. e Zacarias, N. (2010). Contribuição para o estudo da hidrodinâmica da Baía do Seixal, 1as Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Lisboa (este volume).
- White, F.M. (1999). Fluid Mechanics, 4th ed., McGraw-Hill, 826 pp.

Pósteres

Como gerir o esforço de pesca do goraz (*Pagellus bogaraveo*) em função das condições climatéricas?

J. Nogueira (1), E. Domingues (2), N. Sousa (3) e R. Vargas (4)

- (1) Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias. joaorobertn@gmail.com
- (2) Universidade de Lisboa – Faculdade de Ciências (Mestrado Ciências Geofísicas - Oceanografia)
- (3) Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias (Licenciatura em Ciências do Mar)
- (4) Universidade de Lisboa – Faculdade de Ciências (Mestrado Ciências Geofísicas - Oceanografia)

Resumo: Neste trabalho é desenvolvido um método para previsão do recrutamento de Goraz (*Pagellus bogaraveo*) na região dos Açores. Este método baseia-se na simulação do crescimento larvar desta espécie. Através dos parâmetros de crescimento e mortalidade das larvas de Goraz em função do peso individual e da temperatura, desenvolveu-se um modelo de crescimento de biomassa larvar que foi acoplado ao módulo lagrangeano do modelo numérico hidrodinâmico tridimensional MOHID. Foram realizados vários testes para o grupo central em locais e períodos temporais diferentes. Para temperatura constante a equação de balanço foi integrada permitindo obter uma solução de referência para a evolução temporal da biomassa larvar. Os resultados mostram que este pode ser um bom método de previsão, constituindo deste modo um factor de regulação do esforço de pesca desta espécie.

Palavras chave: Biomassa, larvar, *Pagellus bogaraveo*, modelação, Açores.

1. INTRODUÇÃO

A modelação acoplada Física/Biológica tornou-se uma ferramenta necessária, não só pela sua importância no que diz respeito à previsão e correcção de impactes ambientais, mas também pelo seu uso como instrumento de avaliação na Economia Ambiental.

Para Portugal, a gestão da costa, em particular no que se refere às pescas é, sem dúvida, uma preocupação que carece de instrumentos susceptíveis de integrar a diversidade de condições climatéricas (Santos *et al*, 2005).

Com este trabalho pretendemos fazer um estudo numérico do recrutamento do Goraz nos Açores em função das condições climatéricas. O objectivo deste estudo é dar indicações para uma gestão sustentável desta espécie.

Os peixes atravessam diversas fases de desenvolvimento, apresentando diferentes comportamentos: partículas em suspensão (ovo e saco vitelino); zooplâncton (larva e primeiros juvenis); nécton (juvenil tardio e adulto). O conhecimento do ciclo de vida dos peixes e das variações inter anuais de stocks são ferramentas fundamentais para a gestão pesqueira. Naturalmente que os stocks de pescas estão relacionados com o recrutamento, no entanto esta relação não é linear e os factores que os regulam não estão directamente correlacionados (Lett and Koher, 1976; Mohn, 1991; Myers, 1991).

A biomassa, não só varia de ano para ano, mas também ao longo de grandes períodos. Os processos físicos desempenham um papel importante e determinante na sobrevivência larvar. O transporte das larvas para zonas desfavoráveis pode restringir as suas necessidades alimentares induzindo

variações acentuadas no crescimento (Santos *et al*, 2005). Por outro lado a temperatura do mar é igualmente determinante no desenvolvimento larvar (Santos *et al*, 2005).

O Goraz, *Pagellus bogaraveo* (Animalia, Chordata, Actinopterygii, Perciformes, Sparidae), é uma espécie com um valor comercial importante a nível Europeu.

Tem uma área de distribuição no Atlântico que vai desde a Noruega até ao Cabo Branco, Madeira e Canárias. Embora seja comum no Mediterrâneo no Estreito de Gibraltar até ao Adriático, é praticamente inexistente no Mar Morto. (Hureau e Monod, 1973) Encontram-se em águas costeiras em vários tipos de fundo (rochas, areia, lama) a 400 m (Mediterrâneo) e 700 m (Atlântico); enquanto jovens perto da costa, em adultos sobre o talude continental.

Embora a época de reprodução em ambiente natural varie com a latitude e longitude, no caso dos Açores ocorre preferencialmente entre os meses de Fevereiro a Maio (Krug, 1986).

Nos Açores, por exemplo, sabe-se que os adultos de Goraz se reproduzem nos montes submarinos e nas ilhas. As suas larvas vão ser pelágicas, já os juvenis encontram-se preferencialmente nas zonas costeiras e tornam-se bentónicos.

Alimenta-se principalmente de crustáceos, moluscos, vermes e pequenos peixes.

2. METODOLOGIA

2.1 Descrição do Modelo

O modelo é composto por duas componentes, uma biológica e outra física, que correm simultaneamente sobre o mesmo domínio e com os mesmos passos, temporal e espacial.

O modelo físico é o MOHID, que foi inicialmente desenvolvido por Santos (1995) no Instituto Superior Técnico (IST).

O modelo resolve as equações primitivas em três dimensões, considerando um fluido incompressível, usando uma equação de estado para a densidade em função da salinidade e da temperatura. Assume-se equilíbrio hidrostático bem como a aproximação de Boussinesq. É usado um algoritmo ADI semi-implícito. Para a difusão de calor, sal e momento, o modelo permite escolher operadores lagrangeanos ou biarmónicos com coeficientes constantes. A tensão de corte no fundo é parametrizada usando uma lei quadrática. Este modelo é construído por módulos, permitindo a inserção de um módulo biológico. Esta componente do modelo representa uma primeira abordagem de acoplamento de equações para o balanço de biomassa larvar, com dependência do peso individual, da temperatura e da disponibilidade de alimento.

2.2 Descrição da Experiência

Pretendeu-se simular os 46 dias da evolução da fase larvar numa primeira fase entre os meses de Janeiro e Fevereiro (1 de Janeiro a 15 de Fevereiro) e numa segunda fase entre Março e Abril (16 de Março a 1 de Maio).

Neste estudo restringimos a dependência do crescimento e da mortalidade ao parâmetro temperatura bem como ao peso individual da larva. Considerámos que a disponibilidade alimentar não constitui uma limitação ao crescimento da biomassa. Este parâmetro também se relaciona com a batimetria do local devido aos valores preferenciais da largada das larvas. Assume-se o valor 1.0 toneladas para a biomassa larvar total inicial, distribuída uniformemente entre os 15 e 30 metros de profundidade, numa área de 2km². Neste modelo largou-se as larvas em 3 locais, a Sul da ilha Terceira, a Sul da Graciosa e entre a ilha do Pico e a ilha do Faial.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interface gráfica e dados fornecidos pelo MOHID dão-nos um vasto leque de possibilidades visuais; em particular, permite-nos obter imagens da batimetria, da temperatura, da posição dos traçadores (das larvas) ao longo das simulações, bem como, obter resultados que nos permitem também comparar a situação analítica com as simulações. Com essas imagens será então mais fácil a discussão dos resultados.

Nos casos das simulações obtidas para as ilhas da Terceira e Graciosa existirá uma recuperação de biomassa acima da curva referente ao caso analítico. Situação esta na qual não se observa no caso Pico-Faial.

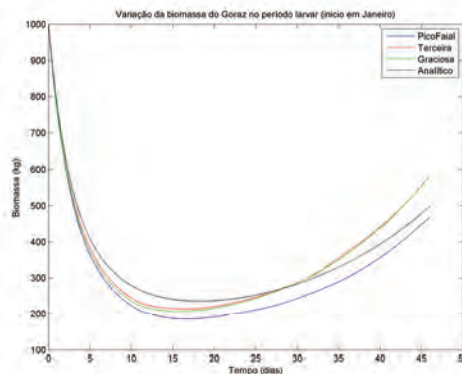


Fig. 1. Comparação das biomassas em Janeiro para as diferentes ilhas.

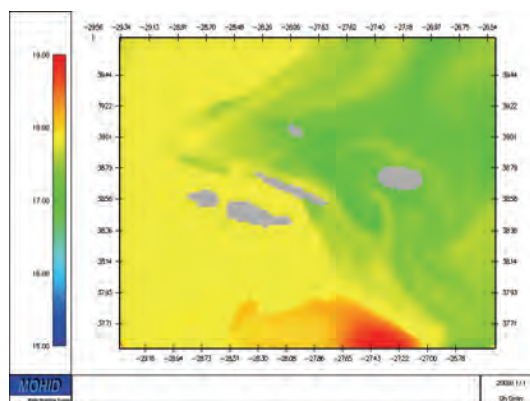
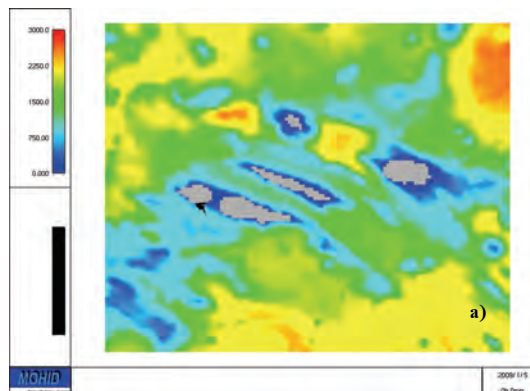


Fig. 2. Campo de temperaturas obtido no 1º dia, 0h00min da simulação para Janeiro.

Como se observa na figura o campo de temperaturas em Janeiro é mais elevado do que a temperatura de referência (16°C). Este facto explica o decréscimo mais acentuado da biomassa das curvas numéricas relativamente à analítica nos primeiros dias. O arrefecimento posterior explica igualmente a recuperação de biomassa larvar que se observa nas curvas numéricas. No caso da simulação no Pico-Faial, este arrefecimento não é tão acentuado, explicando deste modo a diferença para as outras duas.



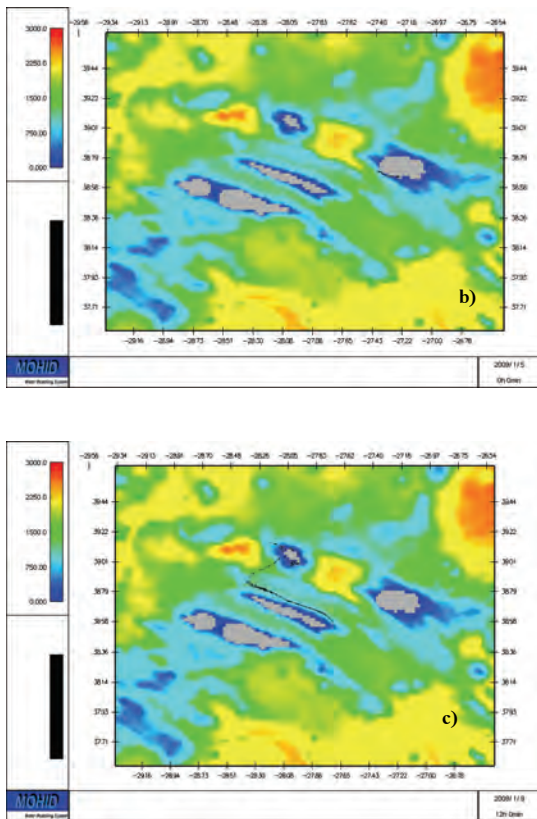


Fig. 3. Localização das larvas e batimetria no domínio utilizado no mês de Janeiro; a) dispersão ao 4º dia no caso Pico-Faial; b) dispersão ao 4º dia no caso Terceira; c) dispersão ao 9º dia no caso Graciosa.

Os traçadores (larvas) para a simulação do mês de Janeiro, para os casos Pico-Faial e Terceira, ficam mais confinados às ilhas (uma menor dispersão) o que não ocorre na Graciosa. Ainda relativo ao caso da Graciosa mas num instante mais avançado da simulação (dia 9), confirma ainda mais a dispersão observando-se uma aproximação à Ilha de S. Jorge. Este resultado deixa boas indicações para o estudo da especiação desta espécie nas várias ilhas (estudo que se encontra fora do âmbito deste trabalho).

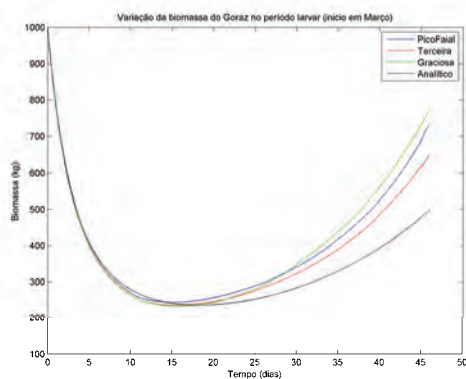


Fig. 4. Comparação das biomassas em Março para as diferentes ilhas.

Em Março, as curvas têm um comportamento similar ao caso analítico até ao 5º dia em relação à perda de biomassa. É possível verificar que as curvas numéricas descolam da analítica perto do 14º dia.

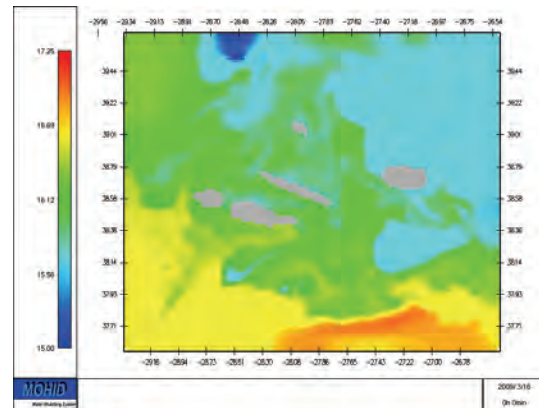
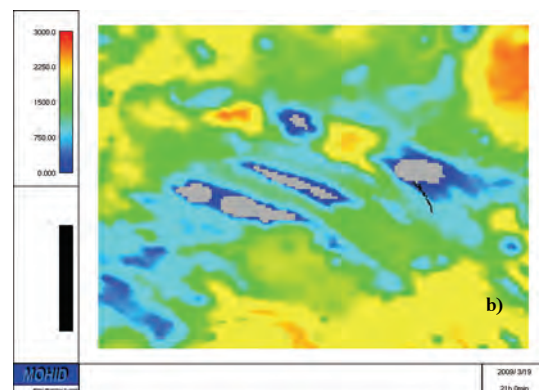
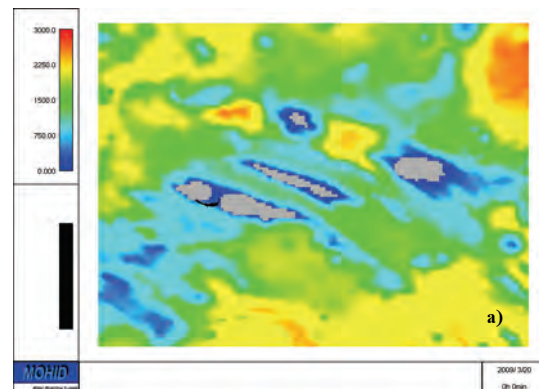


Fig. 5. Campo de temperaturas obtido no 1º dia, 0h00min da simulação para Março.

As temperaturas em todas as ilhas consideradas são da gama da temperatura de referência (16°C), embora no caso da Terceira esta situação se verifique numa extensão maior.



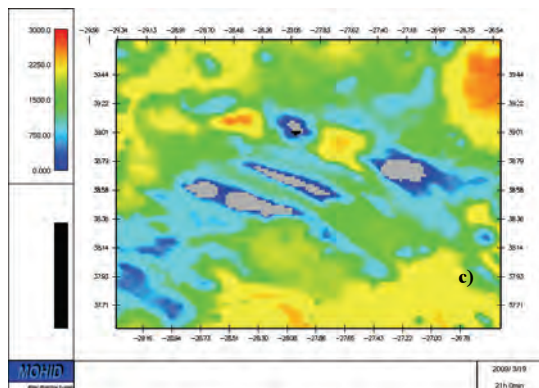


Fig. 6. Localização das larvas e batimetria no domínio utilizado no mês de Março; a) dispersão ao 4º dia no caso Pico-Faial; b) dispersão ao 4º dia no caso Terceira; c) dispersão ao 4º dia no caso Graciosa.

Com o decorrer da simulação, as larvas vão nos três casos encontrar temperaturas inferiores à temperatura de referência, explicando deste modo a razão pela qual descolam da linha analítica.

No caso do Pico-Faial e Graciosa é ligeiramente mais alta, facto este que se deve em parte a temperaturas ligeiramente inferiores, em relação ao Pico-Faial. No caso da Terceira existe uma maior dispersão, comparando com os anteriores casos.

4. CONCLUSÕES

Num relatório realizado pelo ICES para o ano de 2008, podemos ler que existem algumas preocupações em relação ao Goraz, pois devido ao facto de ser hermafrodita, trocando de sexo à medida que vai envelhecendo, tornando-se fêmea por volta dos 4 a 6 anos, vai colocar esta espécie em risco quando falamos de uma sobre-exploração.

Citando o Açoriano Oriental (2009-02-16) "...Entrou em vigor a portaria que atribui uma quota de 1.116 toneladas de goraz aos Açores para este e o próximo ano, tendo em conta a actividade tradicional e histórica das embarcações. De acordo com o diploma, as limitações estabelecidas implicam não só uma "gestão equilibrada" das disponibilidades mas, e tal como sucedeu em 2006, 2007 e 2008, um "controlo mais rigoroso" de forma a assegurar que as quotas não sejam ultrapassadas. Este é, aliás, o motivo pelo qual são também estabelecidos mecanismos que visam garantir a verificação permanente dos volumes de capturas de goraz e a sua comunicação, em tempo útil, às entidades competentes..."

Com este trabalho podemos verificar que as cotas de pesca não devem ser restringidas ou aumentadas sem um estudo prévio das condições climáticas. De facto, ao observarmos as evoluções de biomassa nas simulações de Janeiro e Março, podemos ver que diferentes campos de temperatura conduzem a resultados substancialmente diferentes no recrutamento.

Por outro lado, o modelo aqui proposto, aliado ao modelo hidrodinâmico operacional dos Açores pode ser um bom corrector de cotas de pesca desadequadas, estabelecidas exclusivamente com base em dados recolhidos do ano anterior.

Agradecimentos

Gostáramos de agradecer em primeiro lugar ao nosso orientador, Prof. João Robert Nogueira, pela enorme disponibilidade e o apoio fundamental na execução deste projecto. Agradecemos igualmente à HIDROMOD pela cedência das instalações e à MARETEC do IST (Instituto Superior Técnico), imprescindíveis na elaboração deste trabalho. Queremos também agradecer à Prof.ª Manuela Juliano e Prof.ª Helena Krug da UAC (Universidade dos Açores) pela enorme ajuda que ambas nos deram.

REFERÊNCIAS

- Hureau, J.C. and Monod, T.H. (1973). Check-list of the fishes of the north-eastern Atlantic and Mediterranean (Clofnan), Vols I and II. UNESCO, Paris.
- Krugg, H.M. (1986). Reproduction of the blackspot seabream, *Pagellus bogaraveo* (Bruennich, 1768) in Azorean waters. ICES CM 1986/G61.
- Lett, P.F. and A.C. Kohler, 1976. Recruitment: a problem of multispecies interaction and environmental perturbations, with special references to Gulf of St. Lawrence Atlantic Herring (*Clupea harengus harengus*). Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 33: 1353-1371.
- Mohn, R. 1991. Stability and sustainability of harvesting strategies in a modelled fishery. In: Management Under Uncertainties Related to Biology and assessments, with case studies on some North Atlantic Fisheries. Northwest Atlantic Fisheries Organ 16: 133-135. Dartmouth (NS), Canada.
- Myers, R.A. 1991. Recruitment variability and range of three fish species. In: Management Under Uncertainties Related to Biology and assessments, with case studies on some North Atlantic Fisheries. Northwest Atlantic Fisheries Organ 16: 21-24. Dartmouth (NS), Canada.
- Santos, J.P., Nogueira, J., Martins, H. (2005). Survival of sardine larvae off the Atlantic Portuguese coast: a preliminary numerical study, e ICES Journal of Marine Science, 62: 634 e 644.

The SeaCon Autonomous Underwater Vehicle System

J. Borges de Sousa(1), C. Carvalho Afonso (2), R. Caldas (1), P. Dias (1), R. Gonçalves (1), R. Gomes (1), B. Loureiro (1), L. Madureira (3), E. Marques (1), R. Martins (1), F. Pereira (1), J. Pereira (1), J. Pinto (1) e A. Sousa (3)

(1) Departamento de Engenharia Electrotécnica e Computadores; Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto, Portugal. E-mail: jtasso@fe.up.pt.

(2) Marinha Portuguesa, Centro de Instrução de Tática Naval

(3) OceanScan Marine Systems & Technology Lda.

Resumo: Esta comunicação descreve o sistema de veículos submarinos autónomos *SeaCon* desenvolvido no âmbito do projecto *SeaCon* de I&T colaborativa entre a Marinha Portuguesa e a Faculdade de Engenharia do Porto com financiamento do Direcção Geral de Armamento e Infra-Estruturas de Defesa. O sistema *SeaCon* destina-se a treino e desenvolvimento e refinamento de conceitos de operação. O sistema consiste em 3 veículos submarinos autónomos, sistema de navegação acústica LBL, consolas de operação e num gateway de comunicações. Os veículos submarinos autónomos *SeaCon* são evoluções do veículo LAUV desenvolvido pela Faculdade de Engenharia do Porto e Prémio BES Inovação 2006 na fileira oceânica. Os veículos *SeaCon*, na sua configuração base estão equipados com sensores CTD. Estão preparados para a instalação de uma vasta gama de sensores que incluem sonar de varrimento lateral e ainda medidores de clorofila. Podem ainda integrar modems para comunicações acústicas. Por serem um sistema aberto estes veículos possibilitam o seu contínuo desenvolvimento e aperfeiçoamento tendo em vista futuras aplicações operacionais em ambiente de guerra de minas e em missões Rapid Environment Assessment (REA).

Palavras chave: Veículo submarino Autónomo, comando e controlo, rápida avaliação ambiental

1. INTRODUCTION

This paper describes the SeaCon Autonomous Underwater Vehicle (AUV) system that is being developed by Porto University in cooperation with the Portuguese Navy under the SeaCon project, funded by the Portuguese Ministry of Defense. The main objective of this project consists of the development of an open and low cost AUV system for training and improvement of concepts of operation for shallow waters. The system will also be used by the Portuguese Navy to test and evaluate underwater technologies in a cost-effective manner and to develop specialized underwater warfare know-how. The modularity of the system makes it easily reconfigurable for Rapid Environment Assessment (REA) missions.

The SeaCon AUV system is based on evolutions of the award winning Light Autonomous Vehicle (LAUV) and of the *Neptus* (Dias *et al.* 2006) (Pinto *et al.* 2006) command and control framework for networked vehicle systems, both developed by Porto University.

The LAUV is a torpedo shaped vehicle made of composite materials (110x16 cm) with one propeller and 4 control fins. It has an advanced miniaturized computer system running modular controllers on a real-time Linux kernel. It is easily configurable for multiple operation profiles and sensor configurations

to facilitate test and evaluation of new technologies. In the standard configuration it comes with a low-cost inertial motion unit, a depth sensor, a LBL system for navigation, GPS, GSM and Wi-Fi.



Fig. 1. LAUV Green

With *Neptus*, vehicles, operators, and operator consoles come and go. Operators are able to plan and supervise missions concurrently. Additional consoles can be built and installed on the fly to display mission related data over inter-operated networks. This is aimed at networked operations with other vehicle systems, such as air or surface autonomous vehicles.

The SeaCon AUV is an open system which lends itself to the integration of new systems and technologies developed in Portugal and also COTS state-of-the-art equipment. This presents a major advantage over commercial systems. In general,

commercial vehicles have not been developed as open systems. Closed systems tend to raise vehicle and maintenance costs, and may be conducive to forms of market practice that are not necessarily in the benefit of the customer. This is especially critical in a field where technological obsolescence arises rapidly: vehicles and their components have to be upgraded periodically. Some technological trends, namely those related to miniaturization and embedded systems, may contribute to change this state of affairs by contributing to the reduction of cost. Low cost open systems are fundamental for the development of national technologies and know-how and will prove fundamental to the dissemination of networked vehicle systems, the next trend in unmanned vehicle systems.

This paper is organized as follows. In section 2 we briefly describe the main components of the SeaCon AUV system. In section 3 we discuss the version of the Neptus command and framework used in the SeaCon system. In section 4, we discuss operational profiles for the SeaCon system. In section 5, we present the conclusions and discuss future work.

2. SEACON SYSTEM

The SeaCon system is composed of a LAUV, Long Baseline (LBL) beacons, a Portable Acoustic Locator (PAL), a communications gateway, and a command and control console based on the Neptus software.

In its basic configuration the LAUV *SeaCon* is equipped with a CTD sensor and is capable of housing one acoustic modem and one side-scan sonar. Due to its modular architecture, the sensor payload may be further customized to suit the client's needs. Sensors such as imaging and bathymetric sonars and optical backscatter sensors can be installed easily.



Fig. 2. LAUV *SeaCon*

The LBL beacons developed for the SeaCon system are narrowband acoustic transponders that by replying to the vehicle's interrogations (pings) allow the vehicle's software to compute the one-way travel time to each beacon.

The PAL is based on the same technology as the LBL beacons and is used to pinpoint in real-time the

position of the AUV, by listening to the vehicle's acoustic pings and respective responses from the LBL beacons. It allows the operator to abort the execution of the current plan and track the vehicle's progress when it is submerged.



Fig. 3. PAL (left) and LBL Beacon (right)

The command and control console presents a comprehensive real-time summary of the vehicle's position, state and health and allows the operator to design, follow and review the execution of plans.

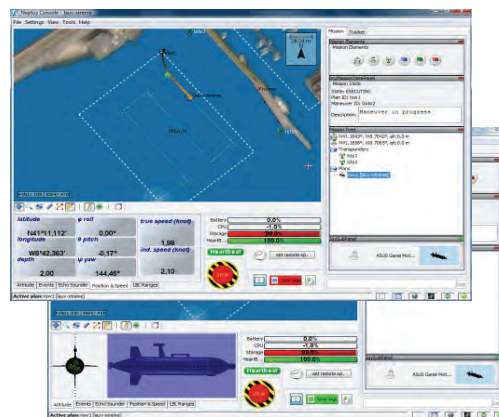


Fig. 4. Operator's console

The communications gateway is a portable and centralized communication hub for maritime assets supporting several types of wireless networks. This device can be used from shore, ships or installed on buoys. The system is capable of transparently route data between heterogeneous network links, balancing bandwidth and range. Routing and store-and-forward is implemented with the aid of the Delay Tolerant Networking (DTN) (Fall 2003) Reference Implementation.

3. COMMAND AND CONTROL

Neptus is a Command, Control, Communications, Computer and Intelligence (C4I) framework. The interactions with human operators are classified according to the phases of a mission life cycle: world representation; planning; simulation; execution and post-mission analysis.

The planning of a mission is supported by the Mission Planner. It provides a map editor that allows the construction of a virtual representation of the mission site. Maps are composed of several geo-referenced elements: marks to denote points of interest, geometric figures, surface images (with

optional elevation map), generic 3D models, and paths (composed by line segments). Mission plans are also specified in this environment through the use of high level abstractions, such as maneuvers. Mission parameters encompass the definition of the local coordinate systems, navigational aids, points of interest and obstacles.

For the execution phase, Neptus provides support for the creation of operator consoles that can be configured in terms of displays and controls. In the configuration process visual components can be chosen, arranged and grouped spatially according to a specific system/vehicle or to an operational scenario. Neptus, as a software framework, can be used to develop new visual components to be added to operational consoles as plug-ins. All console configurations can be read and stored to disk as individual XML files.

After mission execution, all collected data can be analyzed using Neptus' Mission Review and Analysis tool. The collected data can be displayed in different ways such as tables, plots, and color maps. This feature is also available for mission replays. This tool also provides plug-ins for exporting data into different formats like PDF and CSV. Moreover, an embedded web server can also be activated in order to provide web access to real-time mission data and post-mission analysis.

Neptus supports different communications protocols by having a communications layer that gives support to message based protocols, being agnostic to the chosen transport protocol (UDP, TCP, NDDS, HTTP...). Neptus supports distributed networked vehicles operating in wide areas. This is done with the help of the Inter Module Communications (IMC) message protocol (Martins *et al.* 2009) that defines a common control message set understood by all types of LSTS systems (vehicles, consoles, or sensors) in networked environments. IMC provides for standard coupling of heterogeneous components in terms of data interchange.

4. OPERATIONS

Operational deployments are the opportunity to test and evaluate tools and technologies. Figure 3 depicts a diagram of the networked vehicle system we deployed in June 09.

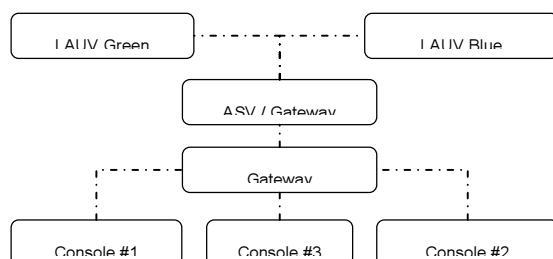


Fig.5. June 2009 network topology (dashed lines are Wi-Fi links)

In this experiment we deployed two LAUV vehicles carrying CTD sensors and the Swordfish ASV. The submarines performed coordinated temperature samplings maneuvers while the ASV performed the task of extending the network range using a communications gateway. The vehicles and the base station (consisting of three laptop computers, a power generator and a communications gateway) were deployed close to the Tapada do Outeiro outfall in the Douro River in Portugal. This outfall creates a plume which is basically characterized by the temperature field. Prior to the deployment, the map of the environment and planned surveys were created using the Neptus software which provides the domain awareness required for coordination.

All three operators were able to follow the vehicles deployment in real-time and also communicate with the LAUVs while operating at the surface. After the execution of each plan, the operator uploaded the logs to a central server which allowed the remaining operators to revise data from other vehicles. Data revision was carried out with the help of the Neptus Mission Review and Analysis which eases the comprehension of large data-sets

We are planning demonstrations of cooperating air and ocean going vehicle systems which will take place in Portugal in collaboration with the Portuguese Navy and Air Force.

There are several obstacles to the practical deployment of unmanned vehicle systems. This state of affairs should not prevent us from deploying them. On the contrary, we are learning important lessons from our deployments. These may prove invaluable for the development of legal frameworks, standards and concepts of operation.

Currently, there are no legal frameworks to encompass the operation of unmanned vehicles. In most countries the operation of air vehicles in controlled air space is severely restricted. Efforts are underway to address this problem in some European countries and in the United States. The operation of unmanned ocean going vehicles also presents legal challenges. The Society for Underwater Technology published a recommended code of practice and has published reports on this topic since the last decade. This legal void precludes practical deployments with ocean-going vehicles. Each deployment is the exception, and not the rule.

The lack of standards for inter-operability prevents users to inter-operate, in a transparent manner, vehicles from different vendors in a network environment. The lack of standards is not unique to inter-operability. Currently there is no standardization in the area of underwater communications. There are several initiatives

addressing these issues. NATO has been working on standards for inter-operability, namely the STANAG 4586 which has seen some acceptance in the UAV community. The Joint Architecture for Unmanned Systems (JAUS) is receiving wide acceptance in the military, especially across the Atlantic in the United States. A word of caution is needed here: the existence of standards does not imply standardization.

5. CONCLUSIONS

Networked vehicle systems have the potential to revolutionize environmental field studies and mine warfare. The SeaCon project is one major step in this direction.

By providing an open platform targeted at network operations, the SeaCon systems provide an invaluable tool for the development of new concepts of operation and for the integration of lessons learned from operational deployments in evolutions of these systems. This will contribute to strengthen the national capabilities in unmanned vehicles and to demonstrate these capabilities in unprecedented operations of heterogeneous networked vehicles from different branches of the Portuguese Armed Forces and also from other countries.

Agradecimentos

The SeaCon project is funded by the Portuguese Ministry of Defense.

REFERENCES

- Dias, P., Gomes R., Pinto, C., Fraga, S., Gonçalves, G., Sousa, J., e Pereira, F. (2006). Mission Planning and Specification in the Neptus Framework. *ICRA2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation*. Orlando, Florida, USA.
- Pinto, J., Dias, P., Gonçalves, G., Gonçalves, R., Marques, E., Sousa, J., e Pereira F. (2006). Neptus - A Framework to Support a Mission Life Cycle. *MCMC2006, 7th IFAC Conference on Manoeuvring and Control of Marine Craft*, Lisboa, Portugal.
- Martins, R., Dias, P., Marques, E., Pinto, J., Sousa, J., Pereira, F. (2009). IMC: A Communication Protocol for Networked Vehicles and Sensors. *IEEE Oceans 2009, Bremen, Germany*.
- Fall, K., (2003). A Delay-Tolerant Network Architecture for Challenged Internets. *ACM SIGCOMM 2003, Karlsruhe, Germany*.

Abordagem matemática de roll waves em escoamentos hiperconcentrados

F. Ferreira (1), G. Maciel (1), L. Gil (2) e G. Fiorot (1)

(1) Universidade Estadual Paulista (Unesp de Ilha Solteira), Ilha Solteira-SP, Brasil, fabiana@gmail.com

(2) FCT – Faculdade de Ciências e Tecnologia/ Universidade Nova de Lisboa (2)

Resumo: Este trabalho tem por objetivo determinar um modelo matemático para geração de instabilidades (roll waves) que estão presentes em escoamentos com superfície livre de fluidos Newtonianos e não Newtonianos (fluidos hiperconcentrados). O modelo matemático é determinado, com base nas equações de Navier-Stokes integradas na vertical, em cujo tensor de tensões é introduzida a reologia de Herschel-Bulkley. A velocidade média do escoamento é determinada levando-se em consideração que o escoamento apresenta um perfil de velocidade parabólico na região cisalhada (próximo do fundo do canal) acoplado a um perfil linear na região não cisalhada (condição de plug), característico dos escoamentos de lamas e detritos. A partir do sistema de equações (conservação da massa e equação da quantidade de movimento) em variáveis adimensionais, uma teoria analítica de Roll Waves permanente é imposta e um modelo matemático para geração de tais instabilidades é determinado.

Palavras chave: roll waves, Herschel Bulkley, fluido hiperconcentrado

1. INTRODUÇÃO

Os escoamentos de fluidos não-newtonianos (hiperconcentrados) têm sido, recentemente, objeto de estudo científico devido à sua importante aplicação no âmbito de Engenharia e, em particular, na Engenharia de Recursos Hídricos. Estes escoamentos, quando submetidos a condições particulares de declividade, podem gerar instabilidades, na superfície livre, como em vertedouros de barragens, escorregamentos de encostas, corridas de lama e de fluxos detriticos, ruptura de barragens de rejeitos, etc.

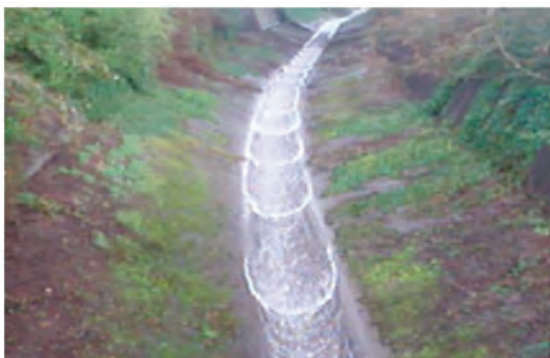


Fig. 1. Roll waves em um canal de concreto (Lions Bay, British Columbia – Canada).

Essas instabilidades presentes no escoamento apresentam-se em forma de ondas periódicas com velocidade de propagação característica e, via de regra, de nível energético considerável. Podem ocorrer tanto em regime laminar quanto em regime turbulento e são denominadas *roll waves*. Devido ao seu poder destrutivo, essas ondas podem causar sérios prejuízos econômicos e sociais, caso atinjam ambientes de instalações humanas.

Quanto a geração de roll waves em escoamentos de fluido Newtoniano e não Newtoniano, estudos anteriores foram realizados na busca de explicar a ocorrência do fenômeno. Podendo aparecer tanto em escoamentos turbulentos quanto em escoamentos laminares.

Em regimes turbulentos, as *roll waves* ocorrem para números de Reynolds elevados e as ondas apresentam alta velocidade de propagação. Jeffreys (1925), foi o primeiro a estabelecer um critério de formação de instabilidades em que o número de Froude deve ser maior que 2. Dressler (1949), define *roll waves* como uma série de ondas de comprimentos bem definidos separadas por descontinuidades da superfície livre. Brock (1969) observou o fenômeno em laboratório para um alto número de Reynolds. Zanuttigh e Lamberti (2002) desenvolveram um código numérico a partir das equações de águas rasas, para reproduzir numericamente o experimento de Brock (1969).

Nos escoamentos laminares, onde é preponderante a ação das forças viscosas do fluido, em relação à inércia, “amortecendo” a tendência à turbulência, as *Roll Waves* são formadas com baixos números de Reynolds. Esta situação ocorre geralmente em escoamentos de fluidos hiperconcentrados que apresentam amplitude mais elevada e baixa velocidade de propagação, conforme mostrado por (Benjamin, 1957), (Chen, 1992), (Ng; Mei, 1994), (Liu; Mei, 1994), (Maciel, 2001) entre outros.

A formação dessas ondas pode acarretar variações significativas na profundidade do escoamento, vencendo por vezes a borda livre de canais provocando transbordamentos. Dessa forma, visando a aplicação desse estudo em problemas de engenharia, um modelo matemático que caracterize as *roll waves* contribuiria para um maior controle do fenômeno em questão.

2. MODELAGEM MATEMÁTICA

A modelagem de um escoamento afim de prever características que representam o fluido em estudo, depende da escolha de um modelo reológico apropriado. A Figura 2 mostra as curvas típicas da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para diferentes tipos de modelos reológicos.

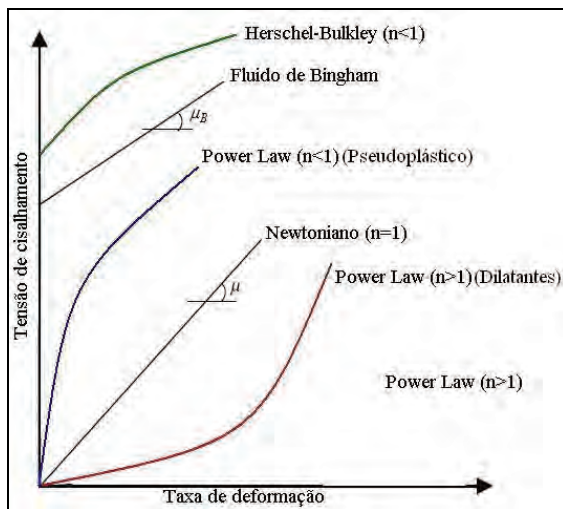


Fig. 2. Reograma representando diferentes tipos de modelos reológicos.

A escolha do modelo reológico utilizado nesse trabalho, está relacionado com estudos de reometria que foram feitos anteriormente. Coussot (1994), Piau (1996), Huang e Garcia (1998), Kiryu (2003), Maciel *et al* (2006), demonstraram que misturas do tipo água+argila e água + areia fina+argila apresentam características reológicas de Herschel Bulkley, equacionado da seguinte forma:

$$\tau = \tau_c + K_n \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^n, \quad \tau > \tau_c \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial z} = 0, \quad \tau < \tau_c$$

Onde:

τ : tensão de cisalhamento

τ_c : tensão crítica ou rigidez inicial

K_n : índice de consistência do fluido

n : índice de escoamento do fluido

z : coordenada na direção da espessura do filme.

Assim exposto, neste trabalho será utilizado o modelo reológico de Herschel-Bulkley, por ser um modelo representativo e “mais generalizado” de fluido hiperconcentrado, permitindo tomar como particularidades outras propostas reológicas, tais como, a lei das potências (Power Law), os modelos Binghamiano e Newtoniano.

2.1. Tratamento matemático das equações

Para a determinação do modelo matemático que rege o escoamento serão consideradas as seguintes hipóteses: escoamento laminar e incompressível. As condições de contorno são dadas por:

- Condições de impermeabilidade no fundo do canal:

$$w = u = 0 \quad \text{para } z = 0 \quad (2)$$

- Condição cinemática (superfície livre):

$$w = \frac{\partial h}{\partial t} + u \frac{\partial h}{\partial x} \quad \text{para } z = h \quad (3)$$

- Tensões:

$$\tau = 0 \quad \text{para } z = h \quad (4)$$

- Pressão hidrostática

A modelagem matemática do problema estudado, segue a seguinte linha:

- após a promediação na vertical das equações de conservação da massa e quantidade de movimento, onde na parte viscosa do tensor de tensões é inserido o modelo reológico de Herschel Bulkley, determina-se um sistema de equações para escoamento de águas rasas,

- para verificar a ocorrência de instabilidades na superfície livre do escoamento, uma análise de estabilidade linear foi feita, apontando o seguinte resultado:

$$Fr > \frac{\sqrt{\beta_n}}{\beta_n} \quad (5)$$

Onde:

$$\beta_n = \frac{2n+1}{n^2} \left\{ (2n+1) - \frac{[2(n+1)^2 + (4n+3)nC^*]n}{[(n+1)^2 + 2n(n+1)C^* + n^2C^{*2}]} \right\}$$

$$C^* = \frac{\tau_c}{\rho g h_0 \sin \theta}$$

6º Simposio sobre el Margen Ibérico Atlántico MIA09

1-5 de diciembre de 2009 Oviedo

Sendo:

h_0 : lâmina normal do escoamento

g : aceleração da gravidade

θ : declividade do canal

Fr : número de Froude

2.2. Modelo matemático para geração de roll waves

A equação que descreve o fenômeno roll waves é obtida a partir do sistema de equações para o escoamento de águas rasas, descrito na seção 2.1, onde uma teoria analítica de roll waves permanente é imposta e um modelo matemático para geração de tais instabilidades é determinado.

$$\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{h - C^* - (1 - C^*) \left[\frac{(1 + U(h - 1))(1 - C^*)}{(h - C^*)} \right] \left[\frac{(n + 1) + nC^*}{(n + 1)h + nC^*} \right]^n}{\left[(\alpha - 1)U^2 - \frac{\alpha(1 - U)^2}{h^2} + \frac{h}{Fr^2} \right]} \quad (6)$$

$$Fr = \frac{u_0}{\sqrt{gh_0 \cos \theta}} \quad (7)$$

$$\alpha = \frac{(2n + 1)}{(3n + 2)} \frac{[2(n + 1)^2 + nC^*(4n + 3)]}{[(n + 1)^2 + 2nC^*(n + 1) + (nC^*)^2]} \quad (8)$$

$$U = \left(\frac{h_c - C^*}{1 - C^*} \right)^{\frac{1+n}{n}} \left[\frac{(n + 1)h_c + nC^*}{(n + 1) + nC^*} \right] \frac{\alpha}{h_c} + \left\{ \alpha(\alpha - 1) \left(\frac{h_c - C^*}{1 - C^*} \right)^{\frac{2(1+n)}{n}} \left[\frac{(n + 1)h_c + nC^*}{(n + 1) + nC^*} \right] + \frac{h_c}{Fr^2} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

Onde:

- C^* : coesão do fluido, associada à tensão crítica;
- U : velocidade de propagação da roll wave;
- α : coeficiente de distribuição da velocidade na vertical;
- ρ : massa específica do fluido (considerado homogêneo);
- h_c : lâmina crítica;
- u_0 : velocidade média do escoamento em regime uniforme

3. RESULTADOS NUMÉRICOS

No plano numérico, utilizando a linguagem de programação Phyton, pode-se verificar a funcionalidade do modelo matemático desenvolvido neste trabalho.

a) Influência do número de Froude (Fr)

A Figuras 3 e 4, mostram o perfil das Roll Waves através de resultados numéricos da equação (6) variando o número de Froude (Fr), a velocidade de propagação U , é obtida numericamente através da equação (9).

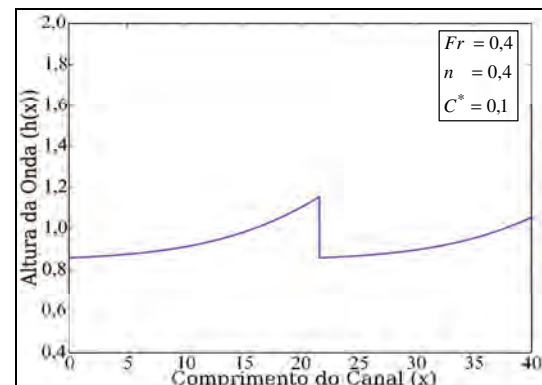


Fig.3. Perfil das roll waves para $Fr = 0,4$.

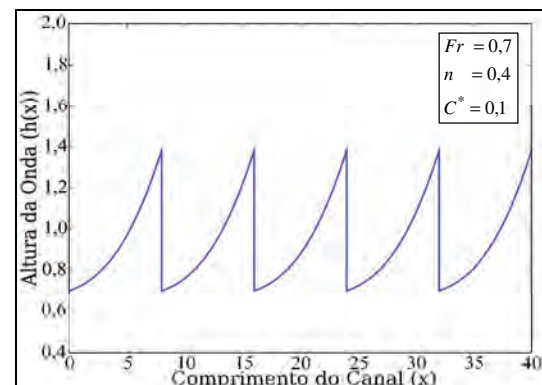


Fig. 4 Fig.3. Perfil das roll waves para $Fr = 0,7$.

Ao analisar os resultados observa-se que:

- quanto maior o número de Froude, maior será a amplitude da onda gerada e menor o comprimento de onda, isso ocorre;
- para $Fr = 5$, e mesmo para $Fr \rightarrow \infty$, os resultados numéricos são semelhantes, apresentando ondas de grande amplitude;
- na tentativa de utilizar $Fr < 0,3$, não houve geração de instabilidades, conforme verificado na análise de estabilidade linear.

b) Influência do parâmetro C^*

As figuras 4 e 5 mostram o perfil das roll waves, para $C^* = 0$ e $C^* = 0,3$.

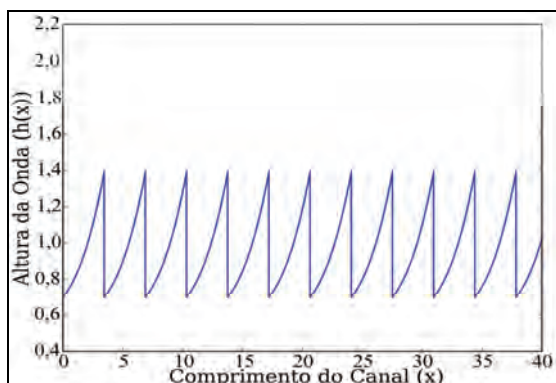


Fig.4. Perfil das roll waves para $C^* = 0$.

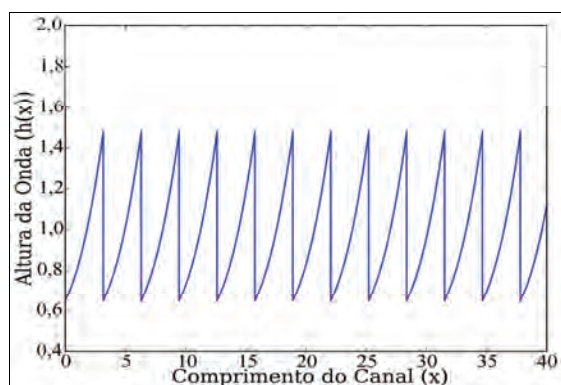


Fig.5. Perfil das roll waves para $C^* = 0,3$.

Diante dos testes que foram feitos pode-se observar que um aumento no parâmetro C^* , ou seja, o aumento da tensão crítica causa uma antecipação na formação das roll waves e um aumento na amplitude das ondas geradas, que embora pequeno é fisicamente significativo. Na tentativa de utilizar $C^* > 0,6$, não houve geração de instabilidades.

4. CONCLUSÃO

O modelo matemático para a reologia do tipo Herschel-Bulkley mostra-se eficiente para a previsão do fenômeno de formação de roll waves. Além disso, há a possibilidade da utilização deste modelo na análise de escoamentos de reologias mais simplificadas, do tipo binghamiana ou newtoniana. Ressalta-se que as frentes de onda geradas acontecerão cada vez mais cedo quanto maior for o efeito não-newtoniano do fluido e que tais ondas, em escoamentos são lentas, porém de amplitudes significativas

Agradecimentos

À Fapesp, ao CNPq e ao projeto CAPES/FCT pelos financiamentos concedidos ao projeto, com bolsas de Iniciação Científica e Doutorado.

REFERÊNCIAS

- Benjamin, T.B. (1957). Wave formation in laminar flow down an inclined plane. *Journal of Fluid Mechanics, Cambridge*, 2, 554–574.
- Brock, R.R. (1969). Development of roll-wave trains in open channels. *Journal Hydraulics Division, New York*, 95, 1401–1427.
- Chen, C.L. (1992). Momentum and energy coefficients based on power-law velocity profile. *Journal of Hydraulic Engineering, New York*, 118, 1571-1584.
- Coussot, P. (1994). Steady, laminar, flow of concentrated mud suspensions in open channel. *Journal of Hydraulic Research*, 32, N° 4, 535-559.
- Dressler, R.F. (1949). Mathematical Solution of the Problem of Roll Waves in inclined open Channels, *Communs Pure Appl. Math.*, 2, 149-194.
- Huang, X. e Garcia, M.H. (1998). A Herschel-Bulkley Model for Mud Flow Down a Slope, *Journal Fluid Mech*, 374, 305-333.
- Jeffreys, H. (1925). The flow of Water in an Inclined Channel of Rectangular section, *Phil Mag*, 49, 793-807.
- Kiryu, H.S. (2003). *Investigação reológica e análise mecânica de compósitos não-newtonianos*, Tese (Mestrado), Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 204pp.
- Liu, K. e Mei, C.C. (1994). Roll Waves on a Layer of a Muddy Fluid Flowing Down a Gentle Slope – A Bingham Model, *Phys Fluids*, 6, 2577-2590.
- Maciel, G.F. (2001). *Roll waves evoluindo em canais de forte declividade: Uma abordagem matemática com aproximação numérica*, Tese (Livre Docência em Roll Waves), Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 184 pp.
- Maciel, G.F.; Ferreira, F.O. e Vieira, A.S. (2006). On Roll Waves in Herschel-Bulkley Fluids, III – *Brazilian Conference on Rheology, Brasil, RJ*, pp.71.
- NG, C.O.; Mei, C.C. (1994). Roll waves on a layer of fluid mud modelled as a power law fluid. *Journal of Fluid Mechanics, Cambridge*, 263, 151-183.
- Zanuttigh, B. e Lamberti, A. (2002). Roll waves simulation using shallow water equations and weighted average flux method, *Journal of Hydraulic Research, Delft*, 40, 610-622.

Implementação do atrito de fundo e rebentação no modelo BOUSS3W

L. V. Pinheiro (1), V. Rodriguez (1) e C. J. E. Fortes (1)

(1) LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa. lpinheiro@lnec.pt, vrodriguez@lnec.pt, jfortes@lnec.pt

Resumo: Esta comunicação descreve a implementação da dissipação de energia por atrito de fundo e por rebentação da onda no modelo de elementos finitos BOUSS3W. Este modelo permite simular a propagação de ondas não lineares e dispersivas e tem em conta os principais fenómenos presentes em zonas costeiras. O modelo foi validado com casos de teste simples e num caso real de propagação de ondas na Praia de Faro, para os quais existem resultados experimentais e/ou numéricos. Este trabalho constitui uma das tarefas do projecto BRISA (Interacção entre a rebentação das ondas e o transporte de areias) que prevê o aperfeiçoamento e validação de modelos de propagação de ondas que incluam fenómenos de dissipação de energia na zona de rebentação.

Palavras chave: Propagação de ondas, Dissipação de energia, Elementos finitos, Boussinesq, Atrito de fundo, Rebentação

1. INTRODUÇÃO

O modelo BOUSS3W é um modelo de elementos finitos que resolve uma extensão das equações de Boussinesq deduzidas por Nwogu (1993). Este modelo tem como ponto de partida o modelo de ondas regulares BOUSS, desenvolvido por Walkley (1999), ao qual foram adicionados termos para a geração de ondas regulares e irregulares no interior do domínio de cálculo, a absorção e a reflexão total ou parcial das ondas nas fronteiras do domínio (Pinheiro *et al.*, 2009) e ainda um termo de difusão artificial de origem viscosa para o controlo das instabilidades numéricas. O modelo BOUSS3W permite simular a propagação não linear e dispersiva de ondas regulares e irregulares em zonas costeiras e portuárias, tendo em conta alguns dos fenómenos mais importantes presentes nestas regiões: difracção, refracção, reflexão (total ou parcial), emolamento, dispersão em frequência, dispersão em direcção e geração de harmónicas. O modelo usa o método de Galerkin com uma malha não estruturada de elementos finitos.

Nas próximas secções, apresenta-se os desenvolvimentos mais recentes do modelo, nomeadamente a introdução da dissipação de energia por atrito de fundo e por rebentação na formulação numérica e procede-se à sua validação.

2. O MODELO BOUSS3W

2.1 Descrição do Modelo

As equações estendidas de Boussinesq deduzidas por Nwogu (1993) são dados por:

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} + g \nabla \eta + \frac{Z_\alpha^2}{2} \nabla \left(\nabla \cdot \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} \right) + Z_\alpha \nabla \left(\nabla \cdot \left(h \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} \right) \right) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \nabla \cdot ((h + \eta) \mathbf{u}) + \nabla \cdot \left(\left(\frac{Z_\alpha^2}{2} - \frac{h^2}{6} \right) h \nabla (\nabla \cdot \mathbf{u}) + \left(Z_\alpha + \frac{h}{2} \right) h \nabla (\nabla \cdot (h \mathbf{u})) \right) = 0 \quad (2)$$

em que o vector de velocidade $\mathbf{u} = \mathbf{u}(x, y, t) = (u, v)$ representa o campo de velocidades bidimensional, calculado numa determinada profundidade, Z_α ;

$\eta = \eta(x, y, t)$ representa a elevação da superfície livre; h é a profundidade do fundo e g é a aceleração da gravidade.

As condições iniciais definidas no modelo são as de repouso, isto é, a elevação da superfície livre é igual a zero assim como a velocidade em todos os pontos do domínio. Para evitar instabilidades numéricas, a introdução da onda no domínio é feita de forma gradual nos primeiros passos de tempo.

As condições de fronteira implementadas são as condições de absorção total de reflexão parcial e de reflexão total.

A geração de ondas (regulares e irregulares) no interior do domínio é feita através de uma função fonte, Wei *et al.* (1999).

3. IMPLEMENTAÇÃO DA DISSIPAÇÃO DE ENERGIA POR ATRITO DE FUNDO

A camada limite do fundo do escoamento associado à passagem de ondas está normalmente confinada a uma pequena região acima do fundo do mar. Há, portanto, muito pouca dissipação de energia da onda devido ao atrito de fundo em distâncias de propagação das ondas típicas da ordem de $O(1\text{km})$ usados em modelos do tipo Boussinesq. A dissipação de energia por atrito no fundo, no entanto, desempenha um papel importante na transformação de onda perto da linha de costa, em zonas de baixa profundidade e na definição de padrões de circulação junto à costa, Jonhson e Kofoed-Hansen (2000).

O efeito de dissipação de energia devido a uma camada limite turbulenta no fundo do mar é simulado através da adição de um termo de tensão tangencial de fundo, F_b , à equação de conservação da quantidade de movimento, seguindo o procedimento adoptado por Nwogu e Demirebilek (2001).

$$F_b = \frac{1}{h + \eta} f_w U_\alpha |U_\alpha| \quad (4)$$

em que f_w é o factor de atrito. A equação (4) foi expressa em termos de $U\alpha$ em vez da velocidade no fundo de modo a minimizar o esforço computacional despendido em determinar esta última.

O factor de atrito permite estimar a tensão de atrito no fundo induzida pela passagem da onda. Existem diversas abordagens para estimar este factor. A maneira mais expedita é escrevê-lo em termos do coeficiente de Chezy:

$$f_w = \frac{g}{C_f^2} \tag{5}$$

4. IMPLEMENTAÇÃO DA DISSIPACÃO DE ENERGIA POR REBENTAÇÃO DA ONDA

A dissipação de energia devido à rebentação é tratada através da inclusão de um termo de viscosidade turbulenta na equação de conservação da quantidade de movimento (Kennedy *et al.* 2000).

$$R_b = \frac{1}{h + \eta} \nabla v_e \nabla (h + \eta) \mathbf{u} \tag{6}$$

em que ν é o coeficiente de viscosidade turbulenta, localizado na face frontal da onda. Este coeficiente é dado por:

$$\nu = B \delta^2 (h + \eta) \eta_t \tag{7}$$

em que δ é o coeficiente do comprimento de mistura que tem um valor empírico de 1.2. O parâmetro B controla a ocorrência de dissipação de energia e é dado por:

$$B = \begin{cases} 1, & \eta_t \geq 2\eta_t^* \\ \frac{\eta_t}{\eta_t^*} - 1, & \eta_t^* < \eta_t \leq 2\eta_t^* \\ 0, & \eta_t \leq \eta_t^* \end{cases} \tag{8}$$

O início e fim da rebentação da onda é determinado utilizando o parâmetro η_t^* definido por:

$$\eta_t^* = \begin{cases} \eta_t^{(F)}, & t \geq T^* \\ \eta_t^{(t)} + \frac{t-t_0}{T^*} (\eta_t^{(F)} - \eta_t^{(t)}), & 0 \leq t-t_0 < T^* \end{cases} \tag{9}$$

em que t_0 é o instante de tempo em que a rebentação da onda ocorre, $t-t_0$ é a idade do evento de rebentação e T^* é o tempo de transição, ou seja, o instante em que se considera que a rebentação cessa. O início e o fim da rebentação são definidos por:

$$\eta_t^{(t)} = cb_{ini} \sqrt{gh} \quad e \quad \eta_t^{(F)} = cb_{fim} \sqrt{gh} \tag{10}$$

Os valores de cb_{ini} e cb_{fim} variam entre 0.35 a 0.65 e 0.06 a 0.20.

5. VALIDAÇÃO DO MODELO

5.1 Atrito de fundo – canal de profundidade constante

De modo a validar a nova metodologia para implementação da dissipação da energia devido ao atrito de fundo, o modelo 1D foi aplicado a um caso

simples de propagação de ondas regulares sobre um fundo plano, fazendo variar o coeficiente de fricção.

O canal tem 35 m de comprimento, 2 m de largura e uma profundidade de 0.4 m, Figura 2. A onda incidente gerada é uma onda regular de 0.01 m de amplitude e 2.0 s de período. O comprimento de onda é de 3.7 m. O domínio foi discretizado por 10428 elementos finitos e 5511 pontos, sendo a largura de banda da malha de 34.

A função fonte situa-se em $x=8$ m. A zona de geração tem 3.7 m de largura, o que equivale a um comprimento de onda. Foram colocadas duas zonas absorventes com 2 m de largura nas duas extremidades do domínio. O tempo total de simulação foi de 60 s.

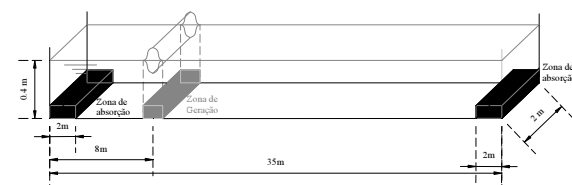


Figura 2. Canal unidimensional.

Testou-se uma série de valores para o coeficiente de fricção que variam entre 0.04 e 10.

Os resultados apresentados na Figura 3 representam a redução da altura de onda em percentagem, para os diferentes valores de f_w . Nos valores de f_w testados verificou-se uma redução dos índices de agitação máximos e a gradual perda de energia da onda à medida que esta se propaga, que para um factor de atrito de 10 chega a atingir cerca de 45% e para valores mais pequenos existem perdas de energia da ordem de 0.01% a 0.4%. A perda de energia aumenta com a extensão da propagação da onda. As reduções máximas de energia verificam-se em todos os casos aproximadamente em $x=25$ m, local onde se começa a sentir a zona de absorção e a partir do qual a energia é absorvida totalmente.

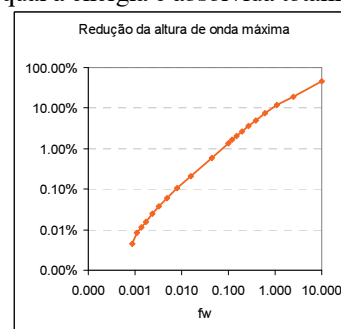


Figura 3. Redução máxima ($x \approx 25$ m) da altura de onda em função do coeficiente de atrito.

Estes resultados confirmam que a implementação do atrito de fundo foi bem sucedida e que o modelo responde de forma adequada à variação do factor de atrito, assim como à perda de energia com a propagação da onda. A introdução deste termo de tensão tangencial de fundo não introduz instabilidades numéricas no modelo.

5.2 Rebentação – perfil de praia

Na validação da rebentação, o modelo 1D foi aplicado a um caso simples de propagação de ondas regulares sobre um perfil de praia de inclinação constante, para o qual existem resultados experimentais levados a cabo por Hansen e Svendsen (1979). O caso de teste n.º 031041 foi reproduzido neste trabalho.

As ondas são geradas numa profundidade de 0.36 m e empolam numa rampa com declive de 1:34.26 até rebentarem. A onda gerada tem 0.0215 m de altura e 3.33s. O tempo de simulação foi de 40 s. O domínio tem 43 m de comprimento e a fonte situa-se em $x=12$ m. Duas zonas absorventes foram colocadas nas extremidades do canal. O domínio foi discretizado por 4816 elementos finitos lineares com 0.09 m de espaçamento entre nós.

Na figura 4 apresentam-se os resultados numéricos e experimentais obtidos para a altura de onda significativa sobre a rampa.

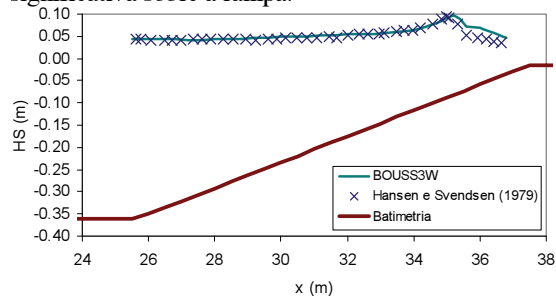


Figura 4 Altura de onda significativa sobre a rampa para o caso n.º 031041.

Verifica-se que a onda sofre o empolamento devido à diminuição da profundidade e acaba por rebentar sensivelmente no mesmo local obtido nos ensaios experimentais. Após dar-se início à rebentação a altura da onda diminui devido à dissipação de energia resultante do fenómeno turbulento da rebentação. Os resultados numéricos acompanham bem os experimentais validando o método implementado.

5.3 Caso Real: Praia de Faro

Zona de estudo

A praia de Faro situa-se na Península do Ancão que delimita a Ria Formosa a poente na região do Algarve. Com uma extensão em areal de vários quilómetros, é uma praia de origem sedimentar, com declives de cerca de 1/70 a 1/500 na zona de espraiamento.

A batimetria da zona caracteriza-se por batimétricas geralmente paralelas à linha de costa, Figura 5.

Metodologia

Neste caso de teste pretende-se avaliar o desempenho do modelo BOUSS3W na simulação da propagação da agitação marítima na zona da praia de Faro para o qual existem resultados obtidos com o modelo numérico de tipo-Boussinesq COULWAVE, Lynett (2002). Este modelo é baseado numa extensão das equações de Boussinesq (Wei *et al.*,

1995), inclui a dissipação de energia por atrito de fundo e já foi previamente testado para diferentes situações. Constitui por isso uma forma de validar o modelo BOUSS3W.

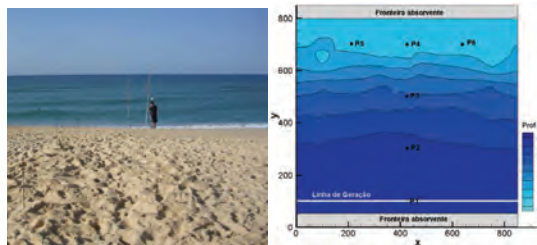


Figura 5 – Praia de Faro. Batimetria do domínio de cálculo e localização da linha de geração das ondas, das fronteiras absorventes e dos pontos de cálculo.

Condições de cálculo

Os cálculos de agitação com o modelo numérico foram realizados para uma onda incidente de direcção de onda de S37°O e período de 8 s. O nível de maré correspondeu ao nível de preia-mar à cota +2.0 m (Z.H.). A altura de onda é igual a 0.3 m. O domínio de cálculo, ver Figura 5, foi discretizado por uma malha de elementos finitos com 110 828 nós e 220 470 elementos. Na Figura 5 ilustra-se a fronteira do domínio e a localização das zonas absorventes e da zona de geração das ondas. A zona de geração localiza-se na ordenada $y = 100$ m e tem uma largura de 66 m. As zonas absorventes têm uma largura de 2 vezes o comprimento de onda, isto é, 132 m.

Na praia e na fronteira por detrás da geração impuseram-se condições de absorção total. O passo de tempo utilizado foi de 0.1 s. O tempo total de cálculo foi de 200 s. O coeficiente de atrito utilizado foi de $f_w = 0.0023$. Foram definidos seis pontos para análise e comparação de resultados, Figura 5.

Comparação com resultados de COUWLAVE

A Figura 6 apresenta a elevação da superfície livre nos pontos P2 e P4 obtidas pelos modelos BOUSS3W e COULWAVE.

Em termos gerais, os modelos numéricos conseguem reproduzir bastante bem o andamento e transformação das ondas esperados. Com efeito, ambos os modelos numéricos conseguem simular o empolamento da onda na zona de aproximação à praia e reproduzem o aparecimento de harmónicas de ordem superior devido à configuração do fundo irregular e progressiva diminuição da profundidade, o que indica que o BOUSS3W tem, em geral, um comportamento adequado. No entanto, existem algumas diferenças, nomeadamente nos pontos junto à praia onde a segunda harmónica aparece com mais intensidade no BOUSS3W do que no COULWAVE.

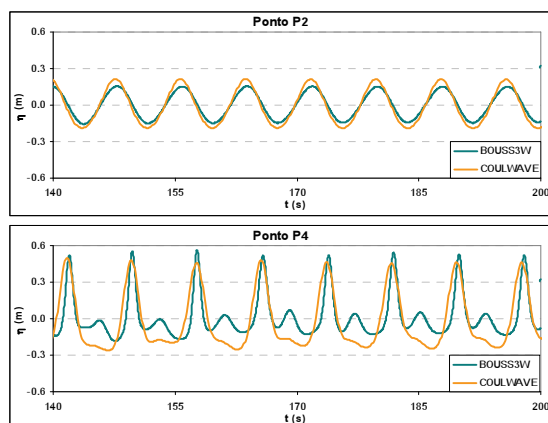


Figura 6 – Elevação da superfície livre nos pontos P2 e P4. BOUSS3W (azul), COULWAVE (laranja).

6. CONCLUSÕES

Nesta comunicação, apresentou-se o modelo BOUSS3W resultante da inclusão da dissipação de energia por atrito de fundo e por rebentação da onda. A metodologia seguida para inclusão dos termos dissipativos baseou-se nos procedimentos adoptados por Nwogu e Demirbilek (2001), em que é adicionado um termo de tensão tangencial de fundo à equação de conservação da quantidade de movimento e por Kennedy *et al.* 2000, em que é adicionado um termo de viscosidade turbulenta na equação de conservação da quantidade de movimento. O modelo assim desenvolvido foi aplicado a casos de teste simples e a um caso real (Praia de Faro) para validação da metodologia. Os resultados do BOUSS3W foram comparados com os resultados de ensaios experimentais ou numéricos obtidos com o modelo COULWAVE.

A implementação do atrito de fundo foi bem sucedida e o modelo responde de forma adequada à variação do factor de atrito, assim como à perda de energia com a propagação da onda.

A implementação da rebentação também foi bem sucedida e o modelo conseguiu reproduzir de forma adequada o empolamento e consecutiva rebentação da onda com a dissipação de energia esperada.

Como trabalho futuro, deverá ser feita uma validação mais rigorosa utilizando dados medidos nesta mesma praia de Faro no âmbito da campanha do projecto BRISA.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FCT pelo financiamento concedido através dos projectos PTDC/ECM/67411/2006 e PTDC/ECM/73145/2006.

REFERÊNCIAS

Hansen B. J. and Svendsen, I. A. (1979) Regular waves in shoaling water, experimental data. Series paper 21, Inst. Hydr. Engr., Tech. Univ. Denmark.

Johnson H.K. E Kofoed-Hansen H. (2000). "Influence of Bottom Friction on Sea Surface Roughness and Its Impact on Shallow Water Wind Wave Modeling", in Journal of physical oceanography. American Meteorological Society. Vol 30. pp 1743-1756.

Kennedy, A.B., Chen.Q, Kirby J.T. e Dalrymple R.A., (2000). "Boussinesq modelling of wave transformation, breaking and runup. I: 1D" J. Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 126(1), 99, pp. 39-47.

Lambkin D. (2010). A Review of the Bed Roughness Variable in MIKE 21 FLOW MODEL FM, Hydrodynamic (HD) and Sediment Transport (ST) modules. Component part of: Dix, J.K., Lambkin, D.O. and Cazenave, P.W. (In preparation) 'Development of a Regional Sediment Mobility Model for Submerged Archaeological Sites'. University of Southampton, English Heritage ALSF Project N° 5224. Retirado de:

Lynett, P. (2002). A Multi-Layer Approach to Modeling Generation, Propagation, and Interaction of Water Waves. PhD Thesis. Cornell University, August.

Nwogu, O. (1993). "Alternative form of Boussinesq equations for near-shore wave propagation", in J. Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering. 119, 6, pp. 618 - 638.

Nwogu, O. E Demirbilek, Z. (2001) . BOUSS-2D: A Boussinesq Wave Model for Coastal Regions and Harbors. Report 1 Theoretical Background and User.s Manual. ERDC/CHL TR-01-25, U.S. Army Corps of Engineers

Pinheiro L., Fortes C.J., Santos J.A. E Walkley, M. (2009). "Implementation of partial reflection boundary conditions in wave propagation model BOUSS3W", in International Coastal Symposium ICS 2009. Lisbon.

Soulsby (1997). Dynamics of Marine Sands. Thomas Telford, London, pp249.

Walkley, M. A. (1999). A Numerical Method for Extended Boussinesq Shallow-Water Wave Equations. Doctor of Philosophy Thesis. The University of Leeds, School of Computer Studies, Sept., 174pp.

Wei G., Kirby J. T. E Sinha A. (1999). "Generation of waves in Boussinesq models using a source function method", in Coastal Engineering, 36, pp. 271 – 299.

Wei, G.; Kirby, J.T.; Grilli, S.T.; Subramanya, R. (1995). "A fully non linear Boussinesq model for surface waves. Part 1. Highly non-linear unsteady waves", in J. Fluid Mechanics, 294:71-92.

Caracterização sedimentar da Baía do Seixal

C. Pólvora (1), A.I. Santos (1), A. Oliveira (1)

(1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 49, 1249-093 Lisboa, Portugal;
cassandra.polvora@hidrografico.pt

Resumo:

A Baía do Seixal, situada na margem esquerda do estuário do Tejo e com uma área de cerca de 482 hectares, é constituída essencialmente por zonas de sapal e rasos de maré recortados por canais pouco profundos. No âmbito do Projecto proposto pela Câmara Municipal do Seixal ao Eixo 2 do QREN – “Acções de Valorização da Baía do Seixal” foram desenvolvidas, pelo IH, diversas actividades visando a caracterização sedimentar da Baía do Seixal. Os principais objectivos deste trabalho são compreender a dinâmica sedimentar actual da Baía do Seixal e avaliar a tendência evolutiva do sistema, integrando dados sedimentológicos com as principais características hidrológicas e hidrodinâmicas da mesma. Assim, serão apresentados dados preliminares de granulometria e mineralogia de sedimentos em suspensão (em 3 pontos, ao longo de um ciclo de maré, em marés mortas e em marés vivas), de fundo (20 cm) e de amostras verticais (~1m de comprimento) colhidos essencialmente nos canais interiores da Baía.

Palavras chaves: Seixal, sedimentos, sapal

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho integrado nos objectivos do projecto proposto pela Câmara Municipal do Seixal ao Eixo 2 do QREN – “Acções de Valorização da Baía do Seixal”, visa a caracterização sedimentar da Baía, compreender a sua dinâmica sedimentar e descrever a sua evolução espaço-temporal, em termos sedimentológicos e geoquímicos.

A Baía do Seixal localiza-se na margem esquerda do estuário do Tejo e ocupa uma área com cerca de 482 ha, sendo constituída por sapais bem desenvolvidos, na margem norte e oeste, e rasos de maré, onde se desenvolvem pequenas praias de areia e bancos de ostras recortados por canais pouco profundos (Freire, 2003).

Segundo Freire (2003), a Baía do Seixal não partilha trocas sedimentares com o estuário do Tejo. A introdução dos sedimentos no interior da baía deverá estar ligada a eventos máximos, principalmente através da rede local e descargas excepcionais do Tejo, sendo que, durante a vazante, o sedimento é resuspendido dos rasos de maré e transportado para os canais, mantendo-se em suspensão durante a baixa-mar e sendo posteriormente transportados até aos sapais durante as correntes de enchente, depositando-se em parte durante a preia-mar.

Neste trabalho serão apresentados alguns resultados preliminares, especialmente no que diz respeito à análise textural e composicional da cobertura sedimentar de fundo e a sua relação com os sedimentos em suspensão.

2. TRABALHOS DE CAMPO

No âmbito deste projecto, foram realizadas quatro campanhas na Baía do Seixal: três campanhas hidro-sedimentológicas (com colheita de dados

correntométricos, hidrológicos, e colheitas de sedimentos em suspensão e de fundo) e uma campanha de recolha de amostras verticais de sedimento. As campanhas hidro-sedimentológicas, com recolha de amostras para determinação de sedimentos em suspensão foram realizadas em Fevereiro de 2009 e Fevereiro de 2010, com vista a caracterizar a situação de Inverno, e em Julho de 2009 com vista a caracterizar a situação de Verão. Neste trabalho, só se vão mostrar os resultados obtidos na campanha de Verão. Juntamente com a campanha de Fevereiro de 2009 foram feitas colheitas de quatro amostras de sedimento de fundo utilizando um colhedor tipo Smith McIntyre. A 8 de Maio de 2009 foi realizada uma campanha de colheita de 15 amostras verticais de sedimento utilizando um corer de gravidade manual de ~1 m (ver posicionamento na Figura 1).

A posição das estações de colheita foi seleccionada tendo em conta a batimetria e localização do canal principal no interior da Baía do Seixal.

3. METODOS

Após abertura e fotografia das sondagens, a amostragem em laboratório dos sedimentos foi feita nos diferentes níveis sedimentares observados tendo em conta as variações de cor, granulometria e a presença de bioclastos. Estas amostras foram alvo de análises granulométrica, determinação de teor em carbono, análise morfoscópica da fracção grosseira e mineralogia da fracção fina por difracção de raio-X. As amostras superficiais obtidas pelas dragas foram alvo do mesmo tipo de análises, à excepção da morfoscopia da fracção grosseira.

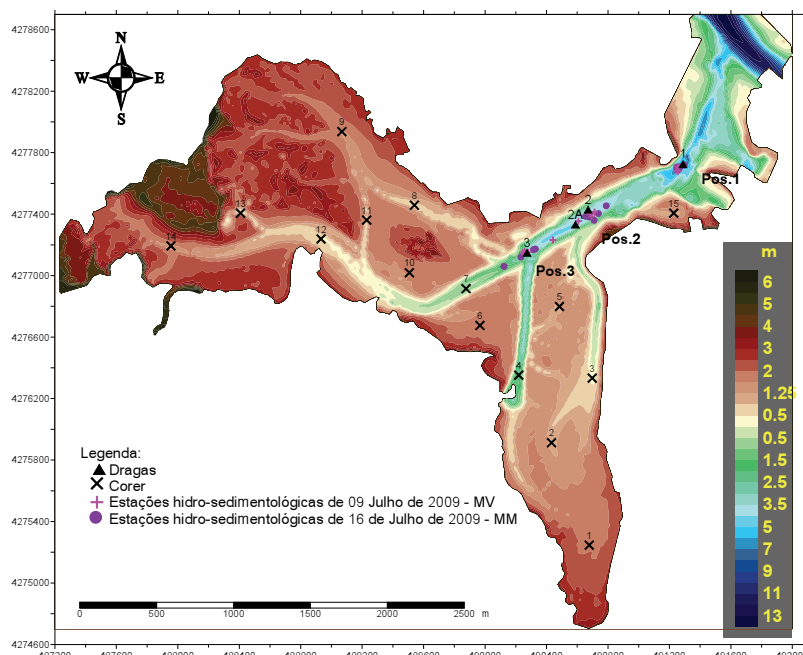


Figura 1 - Posicionamento das estações de recolha de amostras de fundo (Fevereiro de 2009), recolha de amostras verticais (Maio 2009) e das estações hidro-sedimentológicas ocupadas durante a campanha de Julho de 2009.

A colheita de amostras para determinação de sedimentos em suspensão ou matéria particulada em suspensão (MPS) foi feita, durante a campanha de Julho de 2009, cobrindo três estações repetidas em ciclos de aproximadamente 3 horas, durante um ciclo de maré completo (15 horas), em situação de marés vivas (9 de Julho de 2009) e marés mortas (16 de Julho de 2009).

As amostras de água para determinação de MPS, após terem sido colhidas, foram imediatamente transportadas para laboratório a fim de serem filtradas em filtros de 0,45 μ m (acetato de celulose). Após secagem dos filtros a 40°C, foi determinada a concentração da MPS. A identificação do cortejo mineralógico foi obtida por difractometria de raio-X directamente sobre o filtro e as análises granulométricas foram realizadas, após retirar o material do filtro, por difracção laser (μ P Malvern 2000).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Cobertura sedimentar

A cobertura sedimentar da Baía do Seixal é essencialmente lodosa, apresentando um teor silto-argiloso médio superior a 70%, com máximos de cerca de 90%, à excepção das amostras recolhidas no canal principal e das amostras localizadas nos rasos de maré perto dos bancos de ostras, que exibem uma granulometria mais grosseira (teores em grosseiros sempre superiores a 65%). Os sedimentos mais grosseiros são constituídos maioritariamente por areias quartzicas, com grãos sub-angulosos. A

componente cascalhenta e arenítica das amostras mais próximas dos bancos de ostras é predominantemente biogénica (conchas de moluscos), enquanto que nas amostras S1 (na entrada da Baía) e C12 (junto ao estaleiro do Talaminho) estas fracções são de origem terrígena. A fracção silto-argilosa apresenta um diâmetro médio rondando os 10 μ m, já a fracção grosseira apresenta diâmetros médios entre 0,6 e 1,1 mm, à excepção da amostra C1 (junto à Ponte da Fraternidade), que apresenta um diâmetro médio, na classe das areias finas de 0,15 mm. A fracção argilosa na componente fina varia entre 25 e 36%, indicando que os sedimentos têm propriedades coesivas.

De modo geral, as amostras podem ser classificadas como fracamente calibradas a mal calibradas, variando a assimetria de negativa a muito negativa (nas amostras com maior percentagem de fracção fina), a muito positiva (nas amostras com maior percentagem da fracção grosseira).

Mineralogicamente a fracção grosseira das amostras é constituída na sua maioria por grãos de quartzo, micas (moscovite e alguma biotite), litoclastos de rochas vulcânicas e metamórficas, agregados mineralógicos, alguns minerais pesados, fragmentos de conchas de moluscos e foraminíferos bentónicos do género *Ammonia* (Linné, 1758). Em alguns pontos foi identificado zircão na fracção 3-4 ϕ .

A presença de foraminíferos bentónicos do género *Ammonia* é evidente nas amostras C6, C10, C15, C4 e C3. De acordo com Martins *et al.* (2004) as *Ammonias spp.* são típicas de ambientes litorais pouco profundos e estuários, com temperaturas

variando entre os 17-22°C. São endofaunais encontrando-se em abundância nos sedimentos silto-argiloso entre os 0-7 metros de profundidade. A *Ammonia* é dominante em áreas de descarga de lixos, de efluentes aquecidos contaminados por produtos químicos, por soda cáustica, cloretos e metais pesados. São um género muito oportunista e capaz de suportar uma grande variação de salinidade e tipos de poluição. Na Baía do Seixal este género de foraminífero foi detectado precisamente onde se localizam as principais condutas de esgoto doméstico (estação C3 e C15) e na estação situada próximo do Estaleiro Naval da Amora (estação C4). A mineralogia da fracção silto-argilosa é constituída, em termos médios, por mica/ilite (máximo de 38,94%, média 25,01% e mínimo de 12,18%), quartzo (máximo de 19,06%, média 14,74% e mínimo de 8,24%), caulinite (máximo de 22,00%, média 10,00% e mínimo de 3,66%) e feldspato potássico (máximo de 16,70%, média 8,49% e mínimo de 4,07%). Como minerais acessórios surgem a clorite, a opala, anatase, anidrite, plagioclase, calcite, dolomite, sidrite e pirite. A presença de carbonatos (calcite e dolomite) está relacionada com as estações localizadas em rasos de maré e nas extremidades dos canais principais. A comparação da distribuição do teor em fracção silto-argilosa da cobertura sedimentar deste trabalho (Figura 2A) com o de Freire (2003) (Figura 2B), parece indicar uma tendência para o assoreamento na Baía do Seixal, principalmente nas zonas de raso de maré e sapal junto a Corroios e a montante do Talaminho.

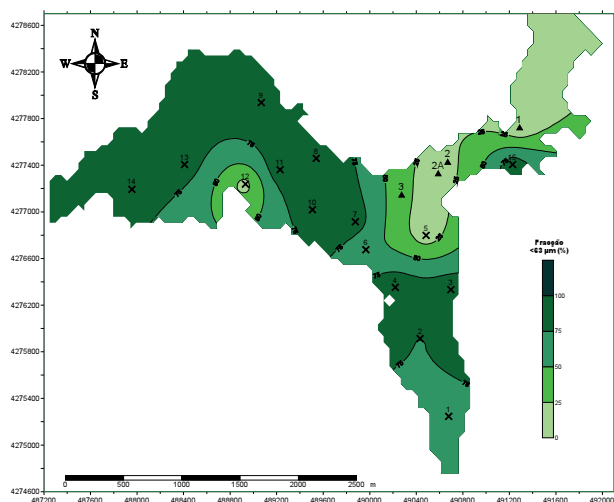


Figura 2A - Percentagem da fracção silto-argilosa nos sedimentos de fundo na Baía do Seixal.

4.2. Sedimentos na Coluna de Água

No geral, a gama de valores de concentração de MPS encontrados em situação de marés vivas é mais elevada que em situação de marés mortas. Os valores máximos de cerca de 50-65 mg/l fazem-se sentir durante o período de marés vivas durante a baixa-mar/vazante. Durante a preia-mar/enchente em marés vivas, as concentrações variam entre os 10 e os 30 mg/l não havendo diferenças significativas entre os três pontos observados. Os valores máximos calculados para o período de marés mortas são da mesma ordem de grandeza que os mínimos registado durante as marés vivas. (Figura 3)

Estes resultados parecem indicar que é durante a baixa-mar/vazante de marés vivas que ocorrem condições para a ressuspensão dos sedimentos do fundo da baía. De acordo com as análise microgranulométricas a moda dos sedimentos em suspensão é de cerca de 10µm, não havendo variação ao longo da maré, quer em marés vivas quer em marés mortas; coincidindo com a moda da fracção silto-argilosa das amostras de fundo.

É interessante verificar que embora tenham a mesma moda, os sedimentos em suspensão, no período de marés vivas segundo a classificação granulométrica de Shepard (1954) (Figura 4), são classificados como siltes, já durante o período de marés mortas os sedimentos em suspensão são classificados como silte argiloso, o que evidencia uma maior quantidade de siltes em suspensão durante as marés vivas. Estas observações estão de acordo com a existência de mais energia no meio, resultante da maior amplitude da onda de maré.

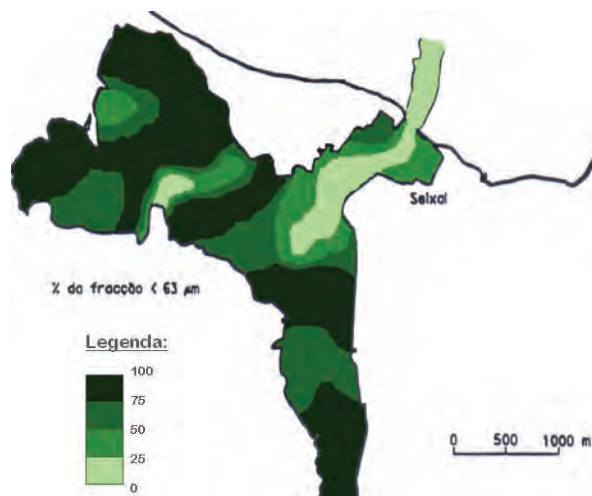


Figura 2B - Percentagem da fracção silto-argilosa nos sedimentos de fundo na Baía do Seixal, adaptado de Freire (2003).

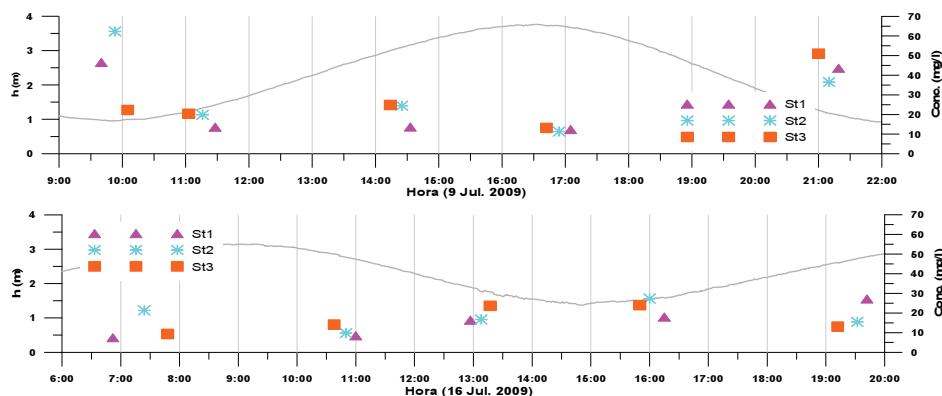


Figura 3 - Evolução temporal da concentração de matéria particulada em suspensão nas 3 estações ocupadas em situação de marés vivas (9 de Julho 2009) em cima e marés mortas (16 de Julho 2009) em baixo, e altura de água medida na estação marégrafica na estrada da Baía do Seixal.

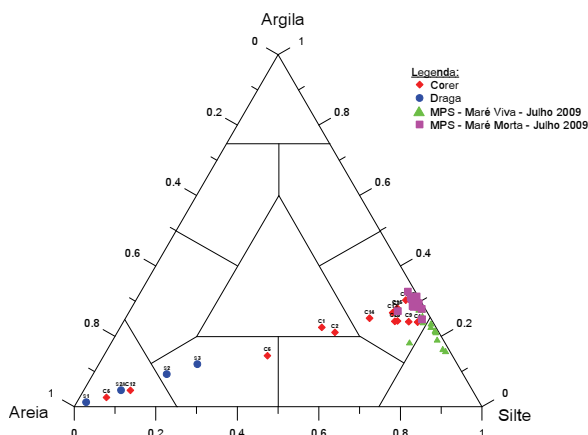


Figura 4 - Diagrama de Shepard (1954) com a projecção das amostras.

O cortejo mineralógico identificado nos sedimentos em suspensão reflecte a composição dos sedimentos de fundo no local de amostragem. O mineral mais abundante em todas as estações é a mica/ilite (máximo de 77%, média 57% e mínimo de 29%) logo seguindo a caulinite (máximo de 37%, média 17% e mínimo de 7%) e da clorite (máximo de 25%, média 11% e mínimo de 3%). O quartzo surge, na maior parte das amostras como mineral acessório mas com uma percentagem bastante significativa pontualmente na estação 3, ciclo 4 (St3 C4), em situação de marés vivas (representando cerca de 49% da amostra total). Foram também identificados, mas com percentagem pouco significativas, os feldspatos potássicos, plagioclase, calcite, dolomite e pirite.

5. CONCLUSÕES

Os resultados preliminares do estudo granulométrico e mineralógico das amostras de sedimento de fundo e de sedimento em suspensão na Baía do Seixal parecem indicar os sedimentos de

fundo como única fonte para a matéria particulada em suspensão, não havendo evidência de entrada de material com uma assinatura distinta que se possa identificar como proveniente do Estuário do Tejo. Estes resultados parecem estar de acordo com Freire (2003) que relaciona a entrada de sedimentos no interior da baía com a rede local e descargas excepcionais do Tejo. A Baía parece encontrar-se em equilíbrio dinâmico, com acarreo da fracção siltosa em direcção aos canais e transporte de material fino para os sapais, que se situam a montante da baía, provocando o seu assoreamento.

Agradecimentos:

Os autores agradecem ao Nuno Lapa, ao Milton Cabral e à Dª Julieta Vieira pela ajuda na realização das análises laboratoriais. Ao Joaquim Pombo pela colheita e ajuda no processamento dos corers. E ao pessoal envolvido na colheita das amostras da OC e QP.

BIBLIOGRAFIA

Freire, P. (2003) – Evolução Morfo-Sedimentar de Margens Estuarinas. Estuário do Tejo, Portugal. Tese de Doutoramento apresentada à Universidade de Lisboa, LNEC, TPI 28, 380 pp.

Martins, M.V.A., Gomes, V.C.R.D. (2004) – Foraminíferos da margem Continental NW Ibérica. Sistemática, Ecologia e Distribuição. Agenda Comum – Comunicação Lda. Aveiro, 377 pp.

Shepard, F.P. (1954) – Nomenclature based on sand – silt – clay ratios. Journal of Sedimentary Petrology, 24:151-158.

A monitorização das marés no Instituto Hidrográfico

L.Martins (1), M. Serpa (1) e J. Reis (1)

(1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas 49, 1249-093 Lisboa, leonor.martins@hidrografico.pt

Resumo: O estudo das marés na costa Portuguesa é uma das missões mais importantes do Instituto Hidrográfico pois, associado ao trabalho realizado no âmbito da Hidrografia constitui uma informação vital para a segurança da Navegação. Por outro lado, tem-se vindo a assistir a um interesse crescente por esta matéria da parte da comunidade científica e dos agentes responsáveis por obras portuárias. Na base do estudo das marés está a aquisição de dados bem como o controlo de qualidade dos mesmos. Face aos constantes avanços tecnológicos, os procedimentos a adoptar estão em contínua reformulação e são exigidas técnicas de validação cada vez mais sofisticadas. Irão aqui ser descritas todas as fases de processamento, desde os vários tipos de equipamentos existentes para a medição da maré, os métodos de transmissão dos dados, os diversos tipos de ficheiros produzidos e, finalmente, os métodos de validação.

Palavras chave: Marés, marégrafos, controlo de qualidade, interpolação, filtragem

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento da maré ou do nível do mar é determinante em áreas como a Hidrografia, para a redução de sondas, a Navegação, na previsão de alturas de água tendo em conta a segurança da navegação, a Geodesia, na determinação do nível médio do mar ou mesmo para a pesca e outras actividades recreativas. Mais recentemente os estudos actuais sobre marés incidem particularmente em problemas relacionados com a erosão costeira, processos biológicos e geológicos, a execução de obras junto à costa, nomeadamente de protecção contra inundações (análise de extremos), alterações climáticas, entre outros. De facto, o nível do mar tem variações que podem ser desde a ordem de alguns minutos, a variações diárias, sazonais e inter-anuais. As variações do nível do mar ao longo de períodos extensos apresentam implicações consideráveis para a ocupação urbana do litoral e para as alterações climáticas (Simon, 2007).

O Instituto Hidrográfico (IH) é a entidade responsável pela execução das Tabelas de Marés para os portos do território nacional. Contudo, publica ainda as Tabelas de Marés para os portos dos Países Africanos de Língua Oficial Portuguesa e Macau (Instituto Hidrográfico, 2010). Para produzir Tabelas de Marés, os cálculos das previsões necessitam de séries de medições maregráficas de qualidade. No que diz respeito ao território nacional, o IH gere a maior rede de observações maregráficas, operando e mantendo marégrafos em cooperação com entidades públicas ou privadas. A Rede Maregráfica Nacional (RMN) permite, desta forma, a aquisição, processamento e publicação de informação relativa às marés e a realização de estudos no âmbito dos fenómenos que influenciam as marés oceânicas, costeiras e estuarinas. Estes

estudos dão apoio não só às próprias actividades do IH mas também a entidades com responsabilidades na gestão das zonas costeiras (Instituto Hidrográfico, 2010).

2. MEDIÇÃO DE NÍVEIS DE ÁGUA

Toda a análise científica do nível do mar tem por base longas séries de medições cuidadosas. A RMN é composta por estações maregráficas permanentes distribuídas por Portugal Continental (16 estações) e Arquipélagos dos Açores (6 estações) e da Madeira (2 estações). Sempre que possível cada estação maregráfica é composta por um marégrafo principal e um marégrafo secundário, de forma a garantir a aquisição contínua de dados em caso de falha de um dos equipamentos. Estes marégrafos podem ter diferentes princípios de funcionamento, como por exemplo e por ordem cronológica: marégrafo de flutuador e contrapeso, sensor de pressão submerso, sensor acústico e sensor de radar.

A uma estação maregráfica permanente estão também usualmente associadas as seguintes componentes: abrigo (casa) do marégrafo, escala de marés (para verificação dos níveis medidos) e marcas de nivelamento. As marcas de nivelamento, que se encontram ligadas à rede geodésica nacional, permitem referir os níveis de água medidos a um *datum* de marés fixo e cuja distância ao nível médio do mar adoptado (referência das cotas em terra ou *datum* cartográfico) é rigorosamente conhecida. O Zero Hidrográfico (ZH) é a superfície em relação à qual são referidas as sondas das cartas náuticas assim como as observações de maré e previsões que constam nas Tabelas de Marés do IH (Instituto Hidrográfico, 2009). De forma a ter sempre alturas de água observadas ou previstas positivas, o ZH

situa-se abaixo do nível da maré astronómica mais baixa.

2.1. Marégrafos convencionais – de flutuador

O marégrafo de flutuador e contrapeso foi o primeiro a ser desenvolvido e é composto por um sistema mecânico de roldanas, cabos, flutuadores e contrapesos.

O flutuador, que se mantém à superfície da água, está ligado a um peso, de tal modo que a posição deste é condicionada pela do flutuador. O cabo que liga o flutuador ao contrapeso passa numa roldana fazendo com que esta rode (o ângulo da rotação é directamente proporcional à variação do nível da água). Uma outra roldana, fixada no mesmo eixo e que rodará de um ângulo igual ao da primeira faz a ligação por um fio a um estilete que, por sua vez, está adaptado de modo a descrever num maregrama (papel de registo) o movimento do flutuador, que corresponde ao da superfície da água (IOC, 1985). O flutuador está concebido de modo a funcionar no interior de um poço tranquilizador cujo objectivo é filtrar a agitação marítima ou o vento, impedindo que o flutuador se mova constantemente.

Uma evolução deste tipo de equipamento é o registo digital em vez de analógico. Ao contrário de um maregrama que necessita ainda de ser digitalizado, os dados são logo registados num *data logger* e enviados por modem para o IH.

2.2. Marégrafos com tecnologias mais recentes

Os marégrafos actuais já têm um registo exclusivamente digital. Por outro lado, enquanto que no caso dos maregramas eram digitalizados dados horários, os actuais marégrafos já permitem a programação de intervalos de amostragem inferiores que vão desde a ordem do minuto até ao segundo (para sistemas de alerta precoce de tsunamis, por exemplo).

Os marégrafos de sensor de pressão são equipamentos que medem a pressão abaixo da superfície de água, sendo necessário ter conhecimento da densidade da água e da aceleração gravítica local de modo a converter a pressão registada em altura de água (IOC, 1985).

O marégrafo acústico consiste num transdutor instalado acima da superfície da água, medindo a distância entre ele e a superfície livre, através da emissão de um impulso acústico e consequente transmissão. O controlador do equipamento converte o tempo de viagem do impulso em distância baseado na velocidade do som através do ar. Por este facto, este tipo de marégrafo é sensível a variações da densidade da coluna de ar pelo que usualmente requer a utilização de um tubo que tenta manter ao máximo a coluna de ar o mais homogénea possível.

O marégrafo de sensor de radar baseia-se no princípio da reflexão de ondas electromagnéticas na superfície da água, tendo um método de

funcionamento semelhante ao do equipamento acústico com a vantagem de não depender da densidade do ar (IOC, 2006).

Os dados dos marégrafos digitais referidos acima são recebidos no IH dos seguintes modos: descarregamento directo na estação maregráfica, ligação por modem à estação ou descarregamento através da Internet.

3. CONTROLO DE QUALIDADE

Regra geral, quando existem constantes harmónicas de um porto, é costume analisar os desvios entre observações e previsões. Este método permite detectar vários tipos de erro, em particular erros isolados e desvios em tempo. É também costume aplicar polinómios de Lagrange do 3º grau às observações a fim de detectar erros, sendo que neste caso não é necessário dispor de previsões. A figura 1 apresenta um exemplo de um erro isolado detectado por ambos os métodos referidos enquanto que a figura 2 apresenta um erro em tempo detectado pelas diferenças entre observações e previsões.

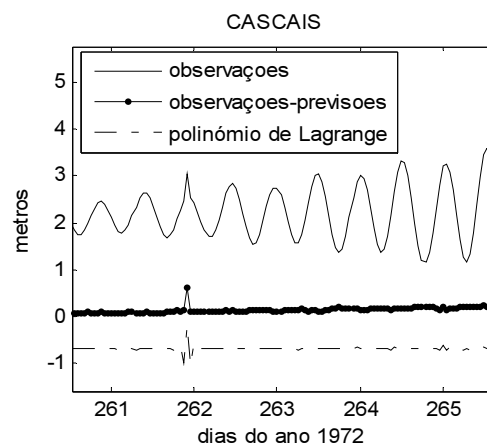


Fig. 1. Esta figura apresenta um erro isolado nos dados de Cascais. Quer a aplicação do polinómio do 3º grau quer os desvios entre observações e previsões apontam claramente esse erro.

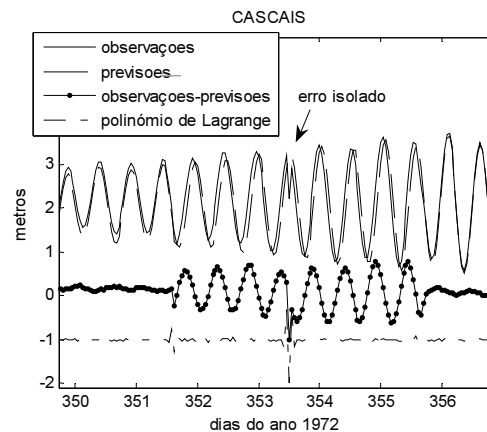


Fig. 2. Esta figura apresenta um erro em tempo nos dados de Cascais com a duração de aproximadamente quatro dias detectado pela curva das diferenças entre observações e previsões (não detectado pelo polinómio de Lagrange); o aspecto sinusoidal dos desvios aponta geralmente para erros em tempo.

Caso se disponha de informação das pressões atmosféricas em local próximo, também é útil a comparação gráfica dos desvios entre observações e previsões de maré com o gráfico invertido das pressões atmosféricas, a fim de avaliar a coerência entre as duas séries.

Existe ainda outro teste que consiste no cálculo dos níveis médios diários para comparação com os níveis médios de um porto próximo; se existirem grandes diferenças significa, por exemplo, que o marégrafo pode não estar a funcionar correctamente ou podem existir problemas no nivelamento do equipamento. A figura 3 apresenta as semelhanças que são esperadas entre níveis médios diários de vários portos da costa Continental.

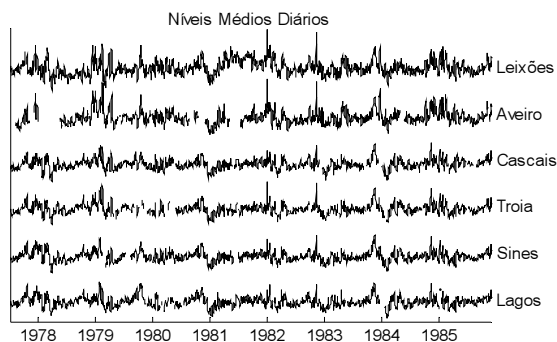


Fig. 3. Esta figura mostra a evolução dos níveis médios diários em seis portos da costa Continental Portuguesa.

4. INTERPOLAÇÃO E FILTRAGEM

No caso dos equipamentos modernos, os dados são obtidos com intervalos de amostragem em geral entre um e seis minutos. O IH dispõe já de uma sequência de programas de tratamento deste tipo de informação de forma semi-automática; no entanto, devido ao facto deste processo ser muito recente a programação elaborada para o efeito ainda se encontra em fase de aperfeiçoamento.

Quando há pequenas falhas os valores em falta são interpolados com recurso a polinómios. O grau do polinómio a usar, assim como o número de valores a usar à esquerda e à direita são determinados em função do tamanho da falha. Não são interpoladas falhas superiores a três horas.

A figura 4 mostra a interpolação de três valores não consecutivos em dados de minuto a minuto recolhidos pelo marégrafo de radar em Sines. Nestes casos de falhas muito próximas, em que não há pontos suficientes à esquerda e à direita de cada falha, elas têm que ser agrupadas e usados quer os valores à esquerda e à direita do grupo, quer os valores existentes entre as falhas.

Em dados recebidos através da Internet, de minuto a minuto, ocorrem por vezes falhas de comunicação que obrigam o computador a cancelar o processo e a reiniciar, perdendo com isso dois ou três minutos de informação.

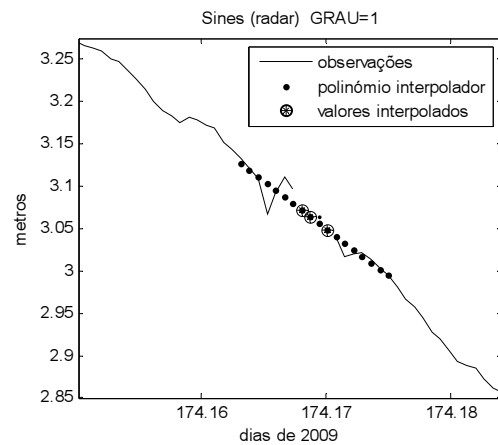


Fig. 4. Esta figura apresenta a interpolação de três valores não consecutivos (aqui representados por círculos), em dados de minuto a minuto, por um polinómio de grau um.

A figura 5 apresenta uma falha de dados de aproximadamente dois dias e meio decorrente de várias falhas de comunicação. Nestes casos, para se poder filtrar os dados, há necessidade de interpolar de minuto a minuto. Com efeito, a interpolação de falhas acompanhadas à esquerda e à direita por sequências de valores correctos é feita através de uma técnica em que todas as interpolações são apresentadas ao utilizador para efeito de aceitação ou não dos valores obtidos. No caso presente, como tal é impossível, é efectuada previamente uma interpolação linear entre duas observações sucessivas.

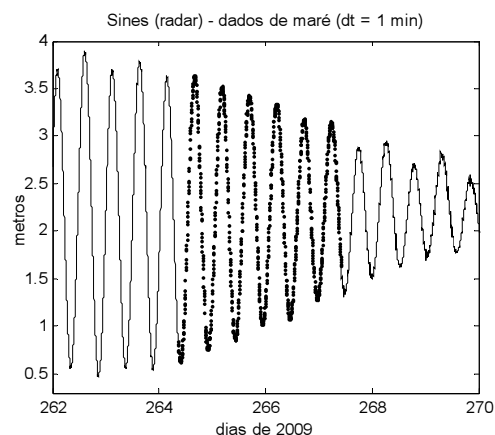


Fig. 5 Esta figura mostra uma falha de dados de aproximadamente dois dias e meio decorrente de falhas intermitentes de comunicação na Internet.

Após as interpolações os dados são filtrados com um filtro de Butterworth de ordem 5, com um período de corte de três horas (ver exemplo na figura 6).

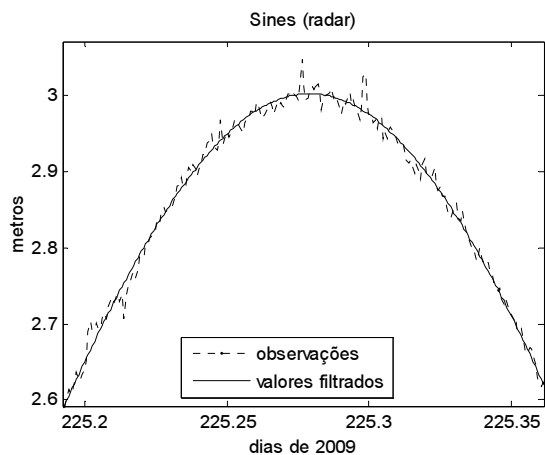


Fig. 6. Esta figura mostra a filtragem de dados de minuto a minuto com um filtro de Butterworth de ordem 5 e período de corte de três horas.

Posteriormente, os dados filtrados são dizimados de forma a obter alturas horárias (AH) em formato de arquivo. Contudo, tal como acontece na generalidade dos filtros, o filtro de Butterworth apresenta valores errados nas pontas (quebras na sequência dos dados); para não se perderem os valores de AH, aplica-se a todos os extremos (pontas das séries) um polinómio de grau 3 que nos propõe valores alternativos de AH que serão aceites ou rejeitados pelo utilizador. A figura 7 exemplifica um desses casos.

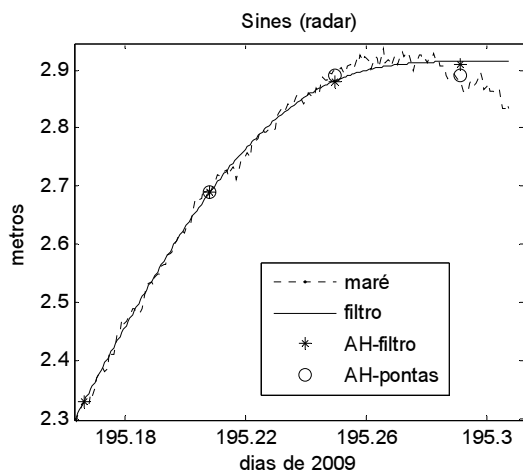


Fig. 7. Esta figura mostra o mau comportamento do filtro no final de uma sequência de dados colhidos em Sines. Neste caso os últimos dois novos valores de alturas horárias propostos por um polinómio de grau 3 (aqui representados por círculos), são manifestamente melhores que os obtidos com o filtro.

No exemplo que se apresenta na figura 8, há uma sequência de falhas de três ou quatro AH em dez enchentes consecutivas entre os dias 115 e 119 de 2009 em Sines, a qual não foi possível colmatar com os métodos atrás descritos. No entanto, para estudos que venham a ser feitos de nível médio do mar, será vantajoso encontrar soluções para casos como estes que, não raramente, ocorrem com os equipamentos mais modernos.

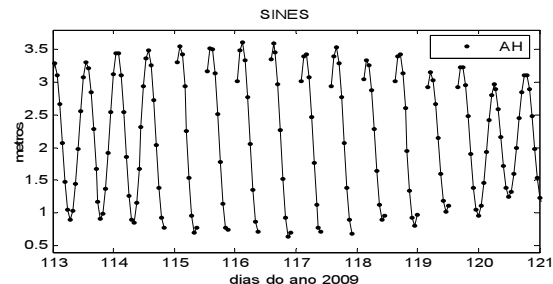


Fig. 8. Esta figura mostra uma sequência de falhas de três ou quatro AH em dez enchentes consecutivas.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho tentou-se salientar a importância da monitorização do nível do mar, não só para a correcta análise e previsão da maré, para fins da segurança da navegação, mas também, para contribuir para projectos de engenharia costeira, na integração em sistemas de alerta precoce de tsunamis e outros eventos extremos ou mesmo para a investigação científica no âmbito das alterações climáticas.

Para serem alcançadas finalidades tão abrangentes, as tecnológicas de recolha de níveis de água sofreram uma grande evolução nos últimos anos, principalmente no que diz respeito à redução dos intervalos de amostragem e ao acesso aos dados em tempo real. Desta forma, os métodos de controlo de qualidade dos dados tiveram que ser reformulados, adaptando-se a novos formatos e tipos de dados, pelo que ainda se encontram em desenvolvimento com o intuito de reduzir o tempo de processamento dos mesmos e gerar métodos automáticos de validação.

REFERÊNCIAS

- Instituto Hidrográfico (2010). *Plano Anual de Actividades 2010*. Instituto Hidrográfico. 44pp.
- Instituto Hidrográfico (2009). *Tabela de Marés. Volume I – Portugal 2010*. Instituto Hidrográfico. 198pp.
- IOC (1985). *Manual on Sea-level Measurement and Interpretation, Volume I: Basic Procedures* (IOC Manuals and Guides No. 14, vol. I). Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. 75 pp.
- IOC (2006). *Manual on Sea-level Measurement and Interpretation, Volume IV: An update to 2006* (IOC Manuals and Guides No.14, vol. IV ; JCOMM Technical Report No.31; WMO/TD. No. 1339). Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. 78 pp.
- Simon, B. (2007). *La Marée Océanique Côtière*. Institut Océanographique. 433pp.

Uma nova plataforma para a gestão de documentos digitais: Implementação do repositório científico do Instituto Hidrográfico

Milton Silva

Instituto Hidrográfico. Rua das Trinas 49, 1249-093 Lisboa
milton.silva@hidrografico.pt

Resumo: O constante aumento da produção científica e a resultante disseminação em inúmeros suportes e formatos tem colocado às instituições, nos últimos anos, dificuldades na preservação e gestão da documentação. Os repositórios digitais têm, contudo, surgido como uma alternativa credível e eficaz na salvaguarda e divulgação de uma parte significativa dessa informação.

A criação de um repositório científico para o Instituto Hidrográfico (IH), constitui uma ferramenta de grande relevância, que permite aos interessados aceder aos documentos digitais produzidos pelas diversas Divisões Técnicas da instituição como dissertações, teses, relatórios técnicos, artigos científicos e outros, resultantes da sua actividade.

Reconhecendo a crescente importância do movimento *Open Access* a nível mundial, o IH com a apresentação deste repositório, coloca-se a par de outros que em Portugal já iniciaram a disponibilização da sua literatura científica. Num processo em que as Universidades naturalmente assumiram o pioneirismo, o IH enquanto instituição dedicada à investigação científica e não obstante o carácter reservado de muita da sua documentação, inerente à condição de organismo pertencente à Marinha portuguesa, apresenta um esforço para lançar também o seu repositório digital de acesso livre.

Palavras-chave: Repositório, acesso livre, documentos digitais, gestão da informação

1. INTRODUÇÃO

O movimento *Open Access* (OA), também designado em português como Acesso Livre ou Acesso Aberto, é hoje uma realidade incontornável a nível global, com o reconhecimento que a disponibilização *online* e livre da produção científica constitui uma mais-valia para as instituições e autores.

O OA pode ser alcançado por duas vias complementares. A primeira, designada via dourada, consiste na publicação de resultados científicos em revistas que não usam assinaturas ou taxas para restringir o acesso aos artigos que publicam. A segunda, usualmente denominada via verde, baseia-se no arquivo de fontes científicas em repositórios de acesso livre (Saraiva e Rodrigues, 2010). São considerados neste âmbito, teses, dissertações, relatórios técnicos, documentos de trabalho, comunicações em conferências e outros, cujo retorno do livre acesso é evidente através do aumento da visibilidade, maior divulgação e impacto dos resultados de investigação. É neste contexto, a par da

necessidade de promover uma adequada gestão da documentação digital existente, que surge a criação do repositório científico do Instituto Hidrográfico (IH).

2. A PRODUÇÃO CIENTÍFICA NO INSTITUTO HIDROGRÁFICO

O IH, enquanto instituição dedicada ao estudo das Ciências do Mar, produz um número significativo de documentos técnico-científicos, dos quais se destacam os relatórios efectuados pelas diversas Divisões técnicas ¹ no âmbito da sua actividade. Contudo, em conjunto com estes, há ainda uma parte de artigos científicos publicados em revistas de especialidade, teses e dissertações que importa considerar, naquilo que é o universo da documentação científica produzida. Os documentos considerados rondam os 3500 e encontram-se na totalidade em formato digital².

Não obstante a orientação para a disponibilização livre do acervo, o carácter reservado de uma parte deste, inerente à condição de organismo pertencente à Marinha portuguesa, impõe ao IH algum controlo nos conteúdos divulgados, pelo que a documentação apresenta diferentes níveis de acesso (fig. 1).



Fig. 1 – Universo do repositório do IH. Diferentes níveis de acesso à documentação.

Actualmente estão definidos 2 patamares, o interno e o público. Como se constata na figura anterior, o acesso público é ainda bastante reduzido e o interno tem uma considerável hierarquização. Esta é uma situação que se pretende alterar, no sentido de se obter uma uniformização na disponibilização da informação (fig. 2). O alargamento do material acessível publicamente, nomeadamente as versões em texto integral, constitui um objectivo assumido, salvaguardando-se os conteúdos reservados, em que serão fornecidos os dados descritivos associados (metadados).

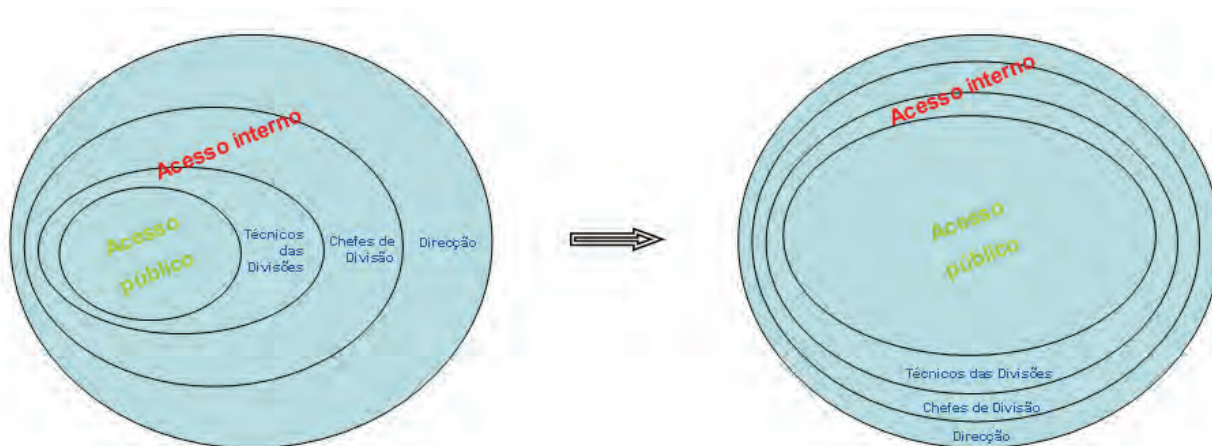


Fig. 2 - Universo do repositório do IH. Evolução para um acesso tendencialmente uniforme.

3. O REPOSITÓRIO CIENTÍFICO DO INSTITUTO HIDROGRÁFICO

3.1. Enquadramento

O constante aumento da produção científica e a resultante disseminação em inúmeros suportes e formatos tem colocado às instituições, nos últimos anos, dificuldades na preservação e gestão da documentação (Franklin, 2003). Neste capítulo, o IH não escapa às dificuldades sentidas perante um novo paradigma de informação. Se por um lado, o acesso à informação está facilitado e é possível com recurso a diversos instrumentos, por outro, a sua volatilidade é manifesta, impondo novos desafios aos gestores da informação. É na resposta a estes problemas que surge a necessidade de criação de um repositório digital para o IH. Mas em que consiste?

Repositório digital é um sistema que permite depositar, preservar e disponibilizar o acesso a material digital a longo termo (...). Também designado por arquivo digital (Reitz, 2010).

São os pressupostos referidos na definição apresentada, o essencial para que se possa proceder a uma adequada gestão da informação.

3.2. Características

O repositório científico do IH assenta num *software open source*, desenvolvido pelas bibliotecas do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) e pela *Hewlett-Packard* (HP), o *DSpace* (quadro I), que conta em Portugal com uma vasta e activa comunidade de utilizadores, factor que contribui para a sua sistemática optimização, através da partilha de experiências e iniciativas comuns³.

O *DSpace* é um sistema com *interface Web* que permite o arquivo de documentos digitais em

Quadro I – Características técnicas do software *DSpace*

Características	DSpace
Linguagem de programação	Java
Sistema Operativo	Unix/Linux, Windows
Base de Bados	PostgreSQL
Outras ferramentas	Tomcat, Lucene
Versão em português	Sim
Tipos de documentos	Todos os documentos digitais
Função	Gestão de conteúdos digitais; Preservação digital
Processo de <i>Workflow</i>	Sim

qualquer formato (texto, vídeo, áudio e dados), destacando-se como características fundamentais:

- A facilidade de arquivo e gestão dos documentos e respectivos metadados;
- A facilidade de recuperação e acesso aos documentos através de listas e pesquisas (fig. 3);
- A preservação a longo termo dos documentos.



Fig. 3 - Interface de pesquisa do repositório científico do IH.

Aspecto também importante no repositório relaciona-se com a possibilidade de criar colecções e comunidades de utilizadores conforme as necessidades da organização. A adaptabilidade às características específicas dos serviços é efectuada através da fácil parametrização do *DSpace*, que inclui a especificação de regras de utilização dos ficheiros arquivados, definição de permissões e *workflows* para submissão dos documentos no sistema. Algumas outras funcionalidades constituem também elementos relevantes, como a partilha de documentos,

exportação de registos, controlo de dados estatísticos e mecanismos de *disaster recovery*.

3.3. Implementação

A instalação e manutenção da plataforma *DSpace* (e respectivos custos associados) são na totalidade suportadas pelo IH, com recurso aos seus técnicos, pertencentes ao Centro de Dados Técnico-Científicos e Serviço de Documentação e Informação.

O repositório científico encontra-se em fase experimental, após definida a política institucional para as colecções e comunidades de utilizadores que o constituem. Foram aqui determinados os critérios para os conteúdos facultados e respectivos grupos de acesso (tipo de utilizador).

Todos os documentos digitais do IH são arquivados e geridos no repositório que se encontra já na Intranet. Naturalmente vocacionado para os técnicos do Instituto Hidrográfico, o repositório deverá também servir outros interessados, nomeadamente a comunidade científica e académica.

4. CONCLUSÃO

A constituição de um arquivo digital de documentação científica é um passo relevante para a preservação a longo termo de conteúdos fundamentais que de outra forma se perderiam (pelo menos em parte). A adequada gestão dos documentos e a possibilidade de pesquisas mais acuradas, são os outros factores que tornam o repositório científico do IH uma ferramenta de grande utilidade para os seus técnicos e investigadores, mas também para a vasta comunidade de interessados nas temáticas das Ciências do Mar.

As questões relacionadas com a implementação de repositórios institucionais parecem convergir num amplo consenso, verificando-se uma constante preocupação com a interoperabilidade com outras ferramentas e a normalização (por exemplo, a aplicação das directrizes DRIVER). Estes aspectos constituem elementos fundamentais, nomeadamente no alcance de mais-valias para a instituição, ou seja, na contribuição activa nos processos de investigação e desenvolvimento. Daqui depende, de forma inequívoca, a sustentabilidade futura deste projecto.

NOTAS

¹ Os relatórios referem-se sobretudo aos trabalhos de actividades em curso e projectos, mas também descrição de procedimentos técnicos, equipamentos e outros.

As Divisões técnicas do IH são as seguintes: Navegação, Oceanografia, Química e Poluição do Meio Marinho, Hidrografia, Geologia Marinha e o Centro de Dados Técnico-científicos.

² Excluem-se desta contagem, os documentos digitais referentes às cartas náuticas existentes na Cartoteca do IH, que pela sua especificidade são tratados à parte.

³ Um exemplo desta situação é a disponibilização gratuita da versão portuguesa do *DSpace*, efectuada pela Universidade do Minho.

Saraiva, Ricardo; Rodrigues, Eloy (2010) – O acesso livre à literatura científica em Portugal: a situação actual e as perspectivas futuras. In CONGRESSO NACIONAL DE BIBLIOTECÁRIOS, ARQUIVISTAS E DOCUMENTALISTAS, 10, GUIMARÃES, 2010. *Políticas de informação na sociedade em rede* [CD-ROM]: actas. Lisboa: APBAD, 2010. ISBN 978-972-9067-39-6.

BIBLIOGRAFIA

Bjork, B. C. (2004) – *Open access to scientific publications: an analysis of the barriers to change?* [Em Linha]. Helsinki: Information Research. Vol. 9, n.º 2. [Consult. 25 Maio de 2010]. Disponível em <http://InformationR.net/ir/9-2/paper170.html>.

Costa, Luís Miguel; Azevedo, Ana (2010) – Sustentabilidade dos repositórios institucionais. In CONGRESSO NACIONAL DE BIBLIOTECÁRIOS, ARQUIVISTAS E DOCUMENTALISTAS, 10, GUIMARÃES, 2010. *Políticas de informação na sociedade em rede* [CD-ROM]: actas. Lisboa: APBAD, 2010. ISBN 978-972-9067-39-6.

Franklin, Jack (2003) – *Open Access to scientific and technical information: the state of the art*. In Social and Information Sciences. [S. l.]: S. I. S., 2003. Vol. 23, n.º 2/3. ISSN 0167-5265. p. 67-86.

Portugal. Fundação para a Computação Científica Nacional (2008) – *Repositório científico de acesso aberto de Portugal* [Em linha] Lisboa: FCCN, 2008. [Consult. 25 Maio de 2010]. Disponível em <http://www.rcaap.pt/>.

Reitz, Joan M. (2010) – *Online Dictionary for Library and Information Science* [Em linha]. [S.l.]: Libraries Unlimited, 2004-2010, actual. 09/03/2010. [Consult. 10 Jun. de 2010]. Disponível em <http://lu.com/odlis/index.cfm>.

Índice de Autores

A	
Abreu, T.	211;223
Afonso, C. C.	299
Almeida, S.	33;63
Almeida, L.P.	85;193
Antunes, C.	273
Artilheiro, F.	155;159
Azevedo, A.	29
Azevedo, E.	197
B	
Balsinha, M.	117;137;285
Baptista, A.M.	29
Baptista C.	141
Baptista, R. R.	95;99
Bastos, L.	167
Bencatel, R.	77
Bento, R.	265
Bernardino, M.	25;37
Bertin, X.	231
Borges, C.	149
Borges de Sousa, J.	299
Bruneau, N.	29;231
Bruck, M.	197
C	
Caldas, J.M.	63
Caldas, R.	77;299
Clímaco, M.	235;239
Campos, R. M.	185
Carneiro, E.	51
Canário, J.	125
Capitão, R.	269
Carvalho, A.	201
Carvalho, V.	43
Cascalho, J.	129;219
Costa M.	205;231
Cravo, A.	121;261
Cesário R.	125
D	
da Conceição, V. P.	95;99;103
da Silva, A.P.F.	251
da Silva F. S.	189;205;289
da Silva, R.	85;155;159;163
de Stigter, H.	133
Dias, E.	51;251
Dias, P.	77;299
Didier, E.	173
Dodet, G.	29;193
Domingues, E.	295
Duarte, J.	133
E	
Esteves, R.	205
F	
Fernandes, C.	117;285
Fernandes, J.P.	29
Ferreira, L.	223
Fernandes, C.	
Fernandes, M. J.	167
Ferreira, A. S.	51
Ferreira, F.	303
Ferreira, P.M.	193
Ferreira, Ó.	85;193;215;223
	;269
Filgueiras, O.	47
Fiorot, G.	303
Fonseca, L.	113
Fortes, C. J.	177;215;269;307
Fortunato, A.B.	29;231
Freire, P.	219;235;239
G	
Gil, L.	303
Godinho, S.	103
Gomes, R.	77;299
Gomes, R. J.	77
Gonçalves, G.	77
Gonçalves, M.	277
Gonçalves, R.	77;299
Guerreiro, C.	129;133
Guerreiro, M.	231
Guerreiro, X.	71
Guedes Soares, C.	25;37;265;277
L	
Lehener, S.	197
Lopes, A. P.	95;99
Loureiro, B.	77;299
Loureiro, C.	193
Lucas, C.	181
J	
Jacob, J.	189;281
Jesus, C. C.	133
Jesus, G.	29

M			
Maciel, G.	303	Pontes, M. T.	197
Martins, L.	315	Prehaz A.	71
Martins, R.	299	Proença, B.	243
Madureira, L.	299	Q	
Mayer, L. A.	113	Quaresma, L.S.	21;285
Marques, E.	77;299	Queirós J.	37
Martins, I.	33	R	
Martins, R.	77	Relvas P.	121;261
Marreiros, P.	167	Reis, J.	247;315
Martinho, A. S.	289	Rosa, L.	113
Maurício Camilo, A.M.	91	Rosa, M.	261
Mendes, A.	29	Rosa, J.	129;219
Micaelo, C.	125	Ribeiro, M.	29
Monteiro C.	155;163	Ribeiro, N.A.	133;145;149
Moura, A.	71	Rocha, A.	117;129;137;21
Moura, T.	177;269	Rodrigues, A.	9
Muacho, S.	201	Rodrigues, M.	29
N		Rodrigues, P.	77
Nahon, A.	231	Ruano, A.E.	193
Nobre, A.S.		Rusu, L.	25;265;277
Nobre, F.	43	S	
Nogueira, J.	295	Sancho, F.	211;223;243
Nogueira, M.	77;125	Sanches, P.	71
O		Santos, A.I.	141;285;311
Okamoto, T.	177	Santos, D.	247
Oliveira, A.(LNEG)	133;141	Santos P.	145
Oliveira A. (IH)	29;117;137;145; 219;231;285;311	Santos Ferreira, A.	251;255
Oliveira, C.	77	Serpa, M.	315
Oliveira, F.S.B.F.	235;239;243	Silva, D.	265
Onofre, J.	285	Silva, A.N.	85
P		Silva, F. S.	
Pacheco, B.	59	Silva, J.	77;285;289
Pais-Barbosa, J.	47	Silva, Milton.	319
Palma, C.	137-145	Silva, P.A.	211;215;247
Pereira, F.	77-299	Silva, S.	141
Pereira, J.	77-299	Skahill, B.	189
Pichon, A.	21	Sousa, A.	299
Pilar, P.	25	Sousa, J.	77
Pinto L.	231	Sousa, N.	295
Pinto, J.	77;189;299	Sujit, P.	77
Pinto, J. P.	205	T	
Pólvora, C.	311	Taborda, R.	85;117;129;13; 193;219
Pombo, J.	129;141	Tello, M.	181

Teodoro, A.C.	33
Terra, B.	77
Travanca Lopes J.	67
Turner, P.	29
V	
Vale, C.	125
Valença, M.	137;145
Vargas, R.	295
Vasco, E. C.	121
Veiga, L.	159;289
Ventura Soares , C.	17
Vicente, J.	163
Vitorino, J.	33
Vousdoukas, M.V.	85;193;227



Instituto Hidrográfico
Rua das Trinas, 49 – 1249-093 Lisboa – Portugal
Tel.: +351 210 943 000 | Fax: +351 210 943 299
mail@hidrografico.pt | www.hidrografico.pt

Patrocinadores

