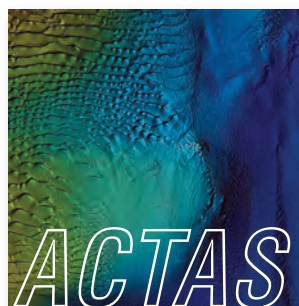




2.^{as} JORNADAS DE ENGENHARIA HIDROGRÁFICA

ACTAS

Lisboa 20, 21 e 22 de junho de 2012



2.^{AS} JORNADAS
DE ENGENHARIA HIDROGRÁFICA

20, 21 e 22 de junho de 2012

Lisboa

Título – Actas das 2.^{as} Jornadas de Engenharia Hidrográfica

Autor – Instituto Hidrográfico

Tiragem – 200 exemplares

Edição e paginação – Instituto Hidrográfico, 2012

Impressão e acabamento – Grafilinha – Trab. Gráficos e Publicitários, Lda.

ISBN – 978-989-705-035-0

Depósito Legal n.º 331053/11

Índice

I. Comissões Honra, Científica e Organizadora	9
II. Patrocinadores	11
III. Nota Introdutória	13
IV. Resumos Alargados	15
LEVANTAMENTOS HIDROGRÁFICOS	
Obtenção de Dados LIDAR para as Zonas Costeiras de Portugal Continental <i>Marisa Silva, Paulo Patrício, Ana C. Mariano, Manuel Valério e Marco Morais</i>	19
Application of cluster analysis in the determination of break lines in a cloud of survey points <i>José M. Jiménez, L. Veiga e D. Carinhas</i>	23
Revisão das Especificações Técnicas para a execução de Levantamentos Hidrográficos <i>J. Vicente, R. Silva, P. Sanches e M. Arenga</i>	27
SUDABAT - desenvolvimento e análise de uma metodologia de supressão de dados batimétricos <i>R. Cândido e A. Campos</i>	31
Multibeam Data Processing. Using CUBE surfaces for Nautical Cartography and Dredged Measurements <i>J. Vicente, R. Silva, L. Veiga e C. Monteiro</i>	35
Modelação de dados batimétricos da Zona Piloto - ENONDAS <i>J. Vicente, P. Sanches e C. Monteiro</i>	39
A Marinha no Ensino da Hidrografia e Oceanografia <i>Zélia M. Cardoso, Paulo Marreiros, José Aguiar e Luís Gonçalves</i>	43
Application of Precise Point Positioning to marine platforms <i>P. Marreiros, L. Bastos e M.J.Fernandes</i>	47
CARTOGRAFIA HIDROGRÁFICA	
A Cobertura Global de Carta Eletrónica de Navegação: estado de implementação, desafios e constrangimentos <i>Fernando Freitas Artilheiro e António Martins Pinheiro</i>	53
MÉTODOS E SEGURANÇA DA NAVEGAÇÃO	
Interference detection in Global Navigation Satellite Systems <i>J. Freitas e T. Ferreira</i>	59
A informação meteorológica no mar, produtos e aplicações de apoio ao sistema de segurança marítima <i>A. Carvalho</i>	63
Levantamentos expeditos no apoio às operações navais <i>V. Plácido da Conceição</i>	67
e-Navigation – Desafios e oportunidades para Portugal <i>V. Plácido da Conceição</i>	71
OCEANOGRAFIA OPERACIONAL	
Alerta precoce da contaminação fecal para o estuário do Tejo: implementação preliminar do modelo hidrodinâmico e de contaminação fecal <i>R.T. da Costa, M. Rodrigues, A. Oliveira, A.B. Fortunato e L.M. David</i>	77
Operational use of ASCAT wind over the ocean <i>N. Moreira e A. Lourenço</i>	81
An operational model for the Portuguese coast <i>L. Pinto, F. J. Campuzano, R. Fernandes, L. Fernandes e R. Neves</i>	85
Sistema Integrado de apoio Meteo-Oceanográfico aos Portos dos Açores <i>F. V. Reis, R.D. Tomé, A. T. Simões, A.S. Valente, M.C. Rodrigues e E.B. Azevedo</i>	89



North Portugal – Galician network for meteorological and oceanographic operational monitoring. RAIA and RAIA.co projects <i>A. Almécija e RAIA Group</i>	93
Colaboração APRAM-IH: um contributo importante na monitorização do meio marinho na Região Autónoma da Madeira <i>C. Correia e C.Ventura Soares</i>	97
Operational Oceanographic Scheme in Galicia (NW Spain) <i>A. Venâncio, P. Costa, E. Pérez, B. Gómez e V. Pérez-Muñuzuri</i>	101
Implementing local operational models based on an offline downscaling technique: The Tagus estuary case <i>F. J. Campuzano, R. Fernandes, P. C. Leitão, C. Viegas, H. de Pablo e R. Neves</i>	105
The Nazaré Canyon Observatory (W Portugal) - Findings and Challenges / Observatório do Canhão da Nazaré – Resultados e Desafios <i>J. Vitorino e I. Martins</i>	109
Projetos SIMOC e TRADE. Obtenção de dados de corrente de superfície e de agitação marítima remotamente <i>C. Fernandes e F. Almeida</i>	113
RAIA.co – Mostrando às pequenas comunidades “Como está o seu Mar” <i>F. Sansana Silva e A. Jorge da Silva</i>	117
OCEANOGRAFIA FÍSICA	
Modelling wave-current interactions in 3D with a two way coupling system <i>M. J. Teles, A. Pires-Silva e M. Benoit</i>	123
Determinação do caudal galgado numa estrutura porosa utilizando um modelo Smoothed Particle Hydrodynamics <i>E. Didier, M. G. Neves e M. T. Reis</i>	127
Comparação de diversas técnicas de absorção passiva de ondas com avaliação da agitação incidente e reflectida em canal <i>J.M. Paixão Conde, R. Capitão, M. G. Neves e C. J. Fortes</i>	131
Sistema integrado de simulação de cheias no Estuário do Espírito Santo (Baía de Maputo, Moçambique) <i>Madalena S. Malhadas, P. C. Leitão, J. Ribeiro, A. Silva, P. Leitão e T. Cota</i>	135
Estudo de Ressonância no Terminal XXI do Porto de Sines <i>C. J. Fortes, Maria Graça Neves, Liliãna Pinheiro e Rui Capitão</i>	139
Consequências da subida do nível médio do mar na hidrodinâmica do estuário do Tejo <i>M. Guerreiro, A. B. Fortunato, P. Freire, A. Rilo, R. Taborda, M. C. Freitas, C. Andrade e T. Silva</i>	143
Aplicação do modelo SWAN na caracterização a agitação marítima na zona adjacente a Diogo Lopes, Brasil <i>J. Ângelo, A. Pires Silva, C. J. Fortes, M. F. Matos, A. C. Scudeleri e V. E. Amaro</i>	147
Potencial Energético ao Longo da Costa Oeste Portuguesa <i>Paul Mota e José Paulo Pinto</i>	151
Nível do mar e movimento vertical no marégrafo de Cascais: análise de tendência <i>S. M. Barbosa e V. B. Mendes</i>	155
Empolamento, rebentação e dissipação das ondas junto à costa <i>D. P. Santos, T. Abreu, P. A. Silva e F. Sancho</i>	159
Efeito das alterações climáticas no regime de agitação marítima no Atlântico Norte e costa portuguesa <i>N. A. Ribeiro, A. B. Fortunato e A. C. Rocha</i>	163
Comportamento de navios no interior de portos sujeitos à acção das ondas <i>L. Pinheiro, J. Santos e C. Fortes</i>	167
Parametrização de vaga e ondulação em espectros derivados de observações com boias direcionais <i>J. P. Pinto, M. Costa e R. Esteves</i>	171
Caracterização da sobreelevação meteorológica em Cascais nos últimos 50 anos <i>R. Vieira, C. Antunes e R. Taborda</i>	175
Circulação costeira induzida pelas ondas em função do nível de maré <i>S.H. C.D. Larangeiro</i>	179

Investigating the variability of the M2 tide at Leixões <i>M. S. Bos, I. B. Araújo, L. Bastos e M. Lázaro</i>	183
Contribuição para o estudo da propagação da maré no setor oeste da Ria Formosa <i>J. Jacob, S. Cardeira, M. Rodrigues, N. Bruneau, A. Azevedo, A. Fortunato, A. Cravo e M. Rosa</i>	185
Varição temporal das principais constituintes harmónicas do marégrafo de Cascais <i>J. Godinho e C. Antunes</i>	189
Caracterização da Agitação Marítima no Arco Litoral Tróia Sines para os anos de 2009 e 2010 <i>N. Zacarias, J. Pinto e C. Gama</i>	193
Lagrangian transport patterns in the Ria de Vigo, NW Spain <i>F. Huhn, A. von Kameke, S. Allen-Perkins, P. Montero, A. Venancio e V. Pérez-Muñuzuri</i>	197
Biogeochemical modelling of the NW Iberian Margin <i>C. Rocha, R. Nolasco, N. Cordeiro, R. Reboreda, J. Dubert e H. Queiroga</i>	201
Caracterização do regime térmico das águas marinhas portuguesas com base nos registos das boias ondógrafo <i>A Jorge da Silva e F.S. Silva</i>	205
OCEANOGRAFIA GEOLÓGICA	
Quantification and characterization of sediment transport using acoustic backscatter data – S. Pedro de Muel (Portugal) <i>A. I. Santos, A. Oliveira, N. Zacarias, J. P. Pinto e M. Ribeiro</i>	211
Dinâmica dos sedimentos em suspensão na área do porto de Sines <i>A. Oliveira, A. Santos e C. Pólvora</i>	215
Sediment Trend Analysis for continental shelf between Cascais and Espichel Cape <i>M. J. Balsinha, A. Rodrigues, A. Oliveira, C. Fernandes e R. Taborda</i>	219
Índice de suscetibilidade à ação marítima. Aplicação à Ria Formosa <i>P. Freire, F. Sancho e F. S. B. F. Oliveira</i>	223
Variações sazonais das associações de foraminíferos e ostracodos da plataforma continental algarvia <i>C. I. Luz, F. Fatela, M. C. Cabral, T. Drago e A. Rodrigues</i>	227
Beach to Canyon Head Sedimentary Processes Project <i>J. Duarte, R. Taborda e Beach to Canyon Project Team</i>	231
(Paleo)ecology of calcareous nannoplankton from the Central Portuguese Margin: first results from applying COMpositional Data Analysis (CODA) <i>C. Guerreiro, M. Cachão, H. de Stigter, A. Oiveira, A. Rodrigues e V. Pawlowsky-Glahn</i>	235
Medições geoacústicas em sedimentos marinhos da plataforma continental próxima a Arraial do Cabo-RJ – Brasil <i>I. Simões, F. Xavier, L. Barreira, L. Artusi, H. Macedo, Y. Alvarez, R. Romano e J-P. Hermand</i>	239
OCEANOGRAFIA QUÍMICA	
Metais em Sedimentos – 25 anos de monitorização nos estuários do Tejo e Sado e nas rias de Aveiro e Formosa (1985-2010) <i>M. Valença, A. Gama, A. Oliveira e C. Palma</i>	245
Avaliação do Risco Ecológico de Sedimentos em Portugal através da Aplicação de Guias de Qualidade de Sedimentos (SQG) <i>P. Santos, C. Rocha, M. Valença e A. Cardoso</i>	249
Distribuição de nutrientes na coluna de água na plataforma continental da costa noroeste de Marrocos <i>J. Reis, C. Borges, M. Valença, C. Rocha, C. Sá, C. Mendes e V. Brotas</i>	253
Mass Exchanges Between the Ria Formosa Lagoon and the Adjacent Ocean Through the Faro-Olhão Inlet During a Neap Tide in Autumn Conditions <i>A. Cravo, J. Jacob, S. Cardeira, M. Rosa, M. Madureira, F. Rita e J. Luís</i>	257
Multi-AUV Deployment for Studying the Influence of the Mar Menor Coastal Lagoon <i>P. Calado, J. B. Sousa, José Braga, J. Gilavert e K. Rajan</i>	261

GEOLOGIA MARINHA

Erosion of rocky shores – protection promoted by sandy beaches and shore platforms <i>D. Moura, S. Gabriel, J. Jacob, C. J. E. M. Fortes, P. A. Silva, J. Horta e T. Abreu</i>	267
Longshore drift: experimental and empirical predictors. The example of the Ebro Delta <i>M. Ribeiro, F. Barrio, R. Taborda, J. Cascalho, I. Bosnic, I. Rodríguez e M. Sanchez</i>	271
New insights into image analysis applied to beach grain-size variability <i>I. Bosnic, H. Sousa, J. P. Cascalho, R. Taborda, M. Ribeiro e C. Lira</i>	275
The sedimentary processes of the Portuguese inner shelf off Almagreiro beach (Peniche) <i>N. Lapa, A. Rodrigues, R. Taborda, J. Duarte e J. P. Pinto</i>	279
Modificações sedimentares na plataforma continental adjacente ao Porto de Sines <i>C. Pólvora, A. Oliveira, C. Luz, J. Duarte e C. Baptista</i>	283
Beach sediment grain size variability based on image analysis <i>J. Cascalho, I. Bosnic, R. Taborda, M. Ribeiro, C. Lira e M. Carapuço</i>	287
Evolução morfológica recente da zona lagunar da Ria Formosa <i>L. S. Portela</i>	291
Variações texturais e mineralógicas da praia de S. Torpes (Fevereiro a Dezembro 2011) <i>C. Pólvora, A. Oliveira, A. Rodrigues e C. Luz</i>	295
Short-term morphodynamics of Almagreiro Beach (Peniche) <i>N. Lapa, A. Rodrigues, R. Taborda, A. Dias, M. Carapuço e J. P. Pinto</i>	299
Evolução da linha de costa da praia de São Torpes nas últimas décadas <i>F. Ferreira, R. Taborda, A. Rodrigues e M. Ribeiro</i>	303
Aplicação do LISST em praias estuarinas. Exemplo da praia do Alfeite <i>A. Oliveira, A. Santos, M. Ribeiro e C. Pólvora</i>	307
Impacte da dinâmica sedimentar litoral na sedimentação de um porto de pesca <i>F. S. B. F. Oliveira e P. Freire</i>	311
Aplicação do modelo Duner para erosão de dunas <i>F. S. B. F. Oliveira</i>	315
Tipificação das zonas marginais estuarinas. O caso do estuário do Tejo <i>P. Freire, A. Rilo, R. Ceia, R. Mendes e J. Catalão</i>	319
SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E GESTÃO DE DADOS DO AMBIENTE MARINHO	
Comparação da agrimensoria dos espaços marítimos nacionais por métodos geodésicos e cartográficos <i>M. Bessa Pacheco e P. Sales</i>	325
Two dimensional unstructured mesh generation for shallow waters based on the multi-layer node spacing function strategy <i>A. Mazzolari, A. Trigo Teixeira e A. Araújo</i>	329
Nautilus – Prestações para o conhecimento do ambiente sedimentar da Plataforma Continental <i>A. Saramago Santos, Ana P. Lopes, C. T. Luz, R. R. Baptista e A. Rodrigues</i>	333
The Underwater Cultural Heritage National Database: regional contributions from the Madeira archipelago and the Sado/Grândola estuarine complex <i>A. Monteiro, S. Pinheiro, A. Martins, J. Figueiredo e T. Casimiro</i>	337
Deteção remota e Cartografia de Interdital. O contributo do Projecto Morfeed <i>R. Nogueira Mendes, R. Ceia, T. Silva, A. Rilo, M. Guerreiro, J. Catalão, R. Taborda, M.C. Freitas, C. Andrade, R. Melo, A. Fortunato e P. Freire</i>	341
Operações de dragagem no porto de Esposende: necessidades portuárias e ambientais <i>E. Dias, R. Garção, A. Estevão e A. Santos-Ferreira</i>	345
Validação automática dos dados da estação Alfredo Ramalho <i>S. Almeida, A. Jorge da Silva, R. Esteves e R. Baptista</i>	349
EMODNET – O contributo do Instituto Hidrográfico <i>L. Veiga, S. Almeida, A. Saramago e R. Baptista</i>	353

O Mapeamento de Habitats Marinhos do Parque Natural da Arrábida <i>V. Henriques, M. Tuaty Guerra, M. J. Gaudêncio, B. Mendes, P. Fonseca e A. Campos</i>	357
Contributo para a Carta Arqueológica Subaquática Nacional – Peniche – Berlenga <i>J. Russo, P. Costa e S. Pinheiro</i>	361
Sistemas de Informação Geográfica na gestão do Património Cultural Subaquático: a experiência da Carta Arqueológica Subaquática de Cascais <i>J. Freire, J. Bettencourt e A. Fialho</i>	365
RAIA Observatory: Visualization of Oceanographic Data Under INSPIRE Directive <i>B. Vila, A. Gómez, C. Cortizas, P. Díaz, M. Hermida, M. A. Oliveira, A. Rocha e X. Méndez</i>	369
Specific forecast for barnacle fishing using OGC protocols <i>B. Vila, A. Gómez, P. Montero, G. Ayensa e S. Allen-Perkins</i>	373
TECNOLOGIAS DO MAR E ENGENHARIA OCENOGRÁFICA	
Consequências técnico-científicas da extensão da plataforma continental – O potencial ganho <i>T. Fernandes e A. Campos</i>	379
Estudos geológicos e geotécnicos para fundeamento de estruturas flutuantes <i>J. Pombo, A. Rodrigues e A. P. Silva</i>	383
Criação e implementação de um sistema de monitorização para o litoral arenoso na área de jurisdição da Administração da Região Hidrográfica do Tejo, I.P. <i>T. M. Silveira, A. M. Carapuço, C. Pinto, R. Taborda, C. Andrade, H. Sousa, M. C. Freitas, F. Marques, C. Antunes, R. Matildes, M. Orlando e C. Lira</i>	387
Coastal video monitoring: the Nazaré system A informação <i>R. Taborda, A. Silva, J. Duarte e M. Carapuço</i>	391
Capacidade limite de sustentação de âncoras de arraste em solos arenosos: análise preliminar <i>J. Pombo, A. Rodrigues, A. P. F. da Silva e A. S. Ferreira</i>	395
SESSÃO ESPECIAL	
Underwater gliders: Improving the ocean observation strategy in the Macaronesian region <i>B. Barrera, M. J. Rueda, E. Brito de Azevedo, M.D. Gelado, C. Correia e O. Llinás</i>	401
Trends in unmanned maritime vehicle systems <i>J. Tasso de Sousa, F. Lobo Pereira</i>	405
Sistemas Robóticos para o Estudo e Exploração dos Oceanos. Veículos de Superfície e Submarinos <i>A. Pedro Aguiar e António Pascoal</i>	407
Índice de Autores	409
Divulgação dos Patrocinadores	413

Comissões

COMISSÃO DE HONRA

Ministro da Defesa Nacional, *Dr. José Pedro Aguiar-Branco*
Ministra da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território, *Prof. Doutora Assunção Cristas*
Ministro da Educação e Ciência, *Prof. Doutor Nuno Crato*
Secretário de Estado do Mar, *Prof. Doutor Manuel Pinto de Abreu*
Almirante Chefe do Estado-Maior da Armada, *Almirante José Saldanha Lopes*
Diretor-Geral do Instituto Hidrográfico, *Vice-almirante Agostinho Ramos da Silva*
Bastonário da Ordem dos Engenheiros, *Eng.º Carlos Matias Ramos*
Reitor da Universidade Clássica de Lisboa, *Prof. Doutor António Sampaio Nóvoa*
Reitor da Universidade do Porto, *Prof. Doutor José Marques dos Santos*
Reitor da Universidade Técnica de Lisboa, *Prof. Doutor António Cruz Serra*
Reitor da Universidade Nova de Lisboa, *Prof. Doutor António Rendas*
Reitor da Universidade de Aveiro, *Prof. Doutor Manuel Assunção*
Reitor da Universidade dos Açores, *Prof. Doutor Jorge Rosa de Medeiros*
Reitor da Universidade do Algarve, *Prof. Doutor João Pinto Guerreiro*
Presidente da Academia de Marinha, *Almirante Nuno Vieira Matias*
Presidente do Comité Português para a Comissão Oceanográfica Intergovernamental da Unesco, *Prof. Doutor Mário Ruivo*
Presidente do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, *Eng.º Carlos Pina*
Presidente do Conselho Diretivo do Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I.P., *Prof. Doutor Miguel Miranda*
Presidente da Fundação para a Ciência e a Tecnologia, *Prof. Doutor Miguel Seabra*
Diretor da Comissão Cultural de Marinha, *Vice-almirante José A. Vilas Boas Tavares*
Comandante da Escola Naval, *Contra-almirante José Luís Seabra de Melo*
Presidente da Organização Hidrográfica Internacional, *Vice-almirante Alexandros Maratos*
Secretário-geral do Fórum Empresarial da Economia do Mar, *Eng.º Fernando Ribeiro e Castro*

COMISSÃO CIENTÍFICA

Capitão-de-fragata Eng.º Hidrógrafo António Santos Martinho, Marinha, IH (presidente)
Capitão-de-fragata Eng.º Hidrógrafo Luís Bessa Pacheco, Marinha
Capitão-de-fragata Eng.º Hidrógrafo Aldino Santos de Campos, EMEPC
Capitão-tenente Victor Plácido da Conceição, Marinha, IH
Capitão-tenente Eng.º Hidrógrafo Ricardo Cordeiro de Almeida, Marinha
Engenheira Ana Fonseca, Ordem dos Engenheiros
Doutora Anabela Oliveira, Marinha, IH
Doutor António Pascoal, IST
Engenheiro Carlos Vale, IPMA
Doutor José Paulo Pinto, Marinha, IH
Engenheiro Marcos Rita, LNEC
Engenheira Paula Sanches, Marinha, IH
Doutor Pedro Viterbo, IPMA
Doutor Pires Silva, IST
Doutor Rui Taborda, FCUL
Doutor Virgílio Mendes, FCUL

COMISSÃO ORGANIZADORA

Capitão-de-mar-e-guerra Eng.º Hidrógrafo Carlos Ventura Soares
Capitão-de-fragata Eng.º Hidrógrafo Fernando Freitas Artilheiro
Capitão-de-fragata Eng.º Hidrógrafo Leonel Pereira Manteigas
Capitão-de-fragata Carlos Paixão Lopes
Investigadora Auxiliar Aurora Rodrigues Bizarro

Patrocinadores

KONGSBERG

CARIS

ESRI PORTUGAL

KLEY FRANCE

QUALITAS REMOS

REN

L3 – ELAC NAUTIK

Nota introdutória

Os resumos alargados coligidos neste livro resultam das comunicações apresentadas nas 2.^{as} Jornadas de Engenharia Hidrográfica, que decorreram em Lisboa, nas instalações do Instituto Hidrográfico, nos dias 20, 21 e 22 de junho de 2012.

O Instituto Hidrográfico, órgão da Marinha e Laboratório do Estado vocacionado para as Ciências e Técnicas do Mar, organizou este segundo evento, na semana em que se comemora o dia Mundial da Hidrografia, 21 de junho, com o objetivo de mobilizar a comunidade nacional para este fórum técnico-científico da Hidrografia, no sentido lato do termo.

As cerca de 100 comunicações apresentadas, orais e pósteres, foram divididas pelas sessões de Levantamentos Hidrográficos, Cartografia Hidrográfica, Métodos e Segurança da Navegação, Oceanografias Física, Geológica, Química e Operacional, Geologia Marinha, Sistemas de Informação Geográfica e Gestão de Dados do Ambiente Marinho, Tecnologias do Mar e Engenharia Oceanográfica.

A quantidade e diversidade dos trabalhos recebidos atestam o interesse desta iniciativa, não só de jovens técnicos e investigadores, como também de autores nacionais de reconhecido mérito nas Ciências e Técnicas do Mar, assim como de participantes de Espanha e do Brasil.

Em nome do Instituto Hidrográfico, agradeço a todos os envolvidos nestas Jornadas, esperando que as experiências e contactos proporcionados, 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 esta iniciativa, 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 Técnicas do Mar em Portugal.

Bem hajam!

O Director-geral,



Agostinho Ramos da Silva

Vice-almirante

Resumos Alargados

IV.

Levantamentos Hidrográficos

Obtenção de Dados LiDAR para as Zonas Costeiras de Portugal Continental

M. Silva (1), Patrício, P. (1), Mariano, A. (2), Morais, M. (1) e Valério, M. (1)

- (1) Instituto Geográfico Português, Rua Artilharia Um, 107, 1099-052 Lisboa. marisas@igeo.pt
 (2) Instituto da Água, I. P.

Resumo: O território de Portugal continental possui uma extensa costa cuja exposição à erosão é largamente conhecida. No âmbito das competências do Instituto da Água, I. P. (INAG) e atendendo ao Plano de Acção para o Litoral 2007-2013 na componente "Estudos, Gestão e Monitorização" está previsto que sejam realizados levantamentos aerofotogramétricos que constituem uma informação fundamental para o Sistema Nacional de Informação e Monitorização do Litoral. Tendo o Instituto Geográfico Português (IGP) no âmbito das suas competências responsabilidades nesta área de actuação, reuniram-se sinergias numa parceria entre estes dois organismos públicos (INAG e IGP), para aquisição de um conjunto de dados geográficos de base, com o objectivo de dar resposta às solicitações das várias entidades com competência na gestão das zonas costeiras de Portugal continental. A informação será composta por um Modelo Numérico Altimétrico, por Ortofotos e por Cartografia Numérica Vectorial. Foram também obtidos levantamentos topográficos e batimétricos com equipamento LiDAR.

Palavras chave: LiDAR, Ortofotos, Modelo Numérico Altimétrico, Cartografia Numérica Vectorial

1. INTRODUÇÃO

A importância do litoral no território de Portugal continental é bastante expressiva considerando que 48% do seu perímetro é Costa Atlântica, muito exposta a processos litorais. Esta área “apresenta elevada sensibilidade ambiental, grande concentração de habitats, recursos naturais de elevada produtividade e uma importante diversidade biológica” (DGOTDU, 2007). Atendendo a que nesta faixa se encontram a maior densidade populacional e as actividades económicas mais relevantes, áreas com um grande potencial turístico e que constitui também uma zona estratégica para os transportes marítimos, a sua importância é exponenciada. Nesse sentido, afigura-se primordial o conhecimento profundo dessa parcela de território.

No âmbito das competências do Instituto da Água, I. P. (INAG) e atendendo ao Plano de Acção para o Litoral 2007-2013 na componente "Estudos, Gestão e Monitorização" estão previstos levantamentos aerofotogramétricos que constituem uma informação fundamental para o Sistema Nacional de Informação e Monitorização do Litoral.

Considerando que o Instituto Geográfico Português (IGP) no âmbito das suas competências tem responsabilidades na aquisição de Informação Geográfica, reuniram-se sinergias numa parceria entre estes dois organismos públicos, para aquisição de um conjunto de dados geográficos de base, com o objectivo de dar resposta às solicitações das várias entidades com competência na gestão das zonas costeiras de Portugal continental.

A informação produzida no âmbito do projecto, abrangendo uma área de 513 400 ha, será composta por:

- Modelo Numérico Altimétrico (MDT);
- Ortofotos;
- Cartografia Numérica Vectorial.

O conjunto de dados espaciais obtidos neste processo representa:

- um contributo significativo para um melhor conhecimento da costa portuguesa;
- um instrumento primordial para a correcta gestão dos recursos existentes;
- uma mais-valia para uma melhor planificação da intervenção precoce nas áreas mais sensíveis;
- uma base de partida para estudos evolutivos da área em apreço.

Estes produtos, constituem-se como uma fonte de informação de grande valor na tomada de decisões a nível nacional, regional ou local, no âmbito das acções directas dos municípios com responsabilidades nestes territórios.

Para lá da importância de que se reveste na monitorização da zona costeira, esta informação permite ainda um efectivo conhecimento da realidade nacional.

A caracterização da geomorfologia do litoral é fundamental para o desenvolvimento sustentável, pelo que nesta zona se torna necessário recolher e sistematizar informação geomorfológica periodicamente, com o objectivo de identificar no terreno indicadores de processos dinâmicos e de evolução territorial (Silva, 2010).

2. TÉCNICAS APLICADAS

Monitorizar a zona costeira tem associado um custo financeiro e logístico muito elevado pelo que a obtenção sistemática de informação, não é viável. Aliado ao elevado custo, a região costeira é complexa, de grande dinâmica e de difícil acesso. Portanto, é fundamental encontrar soluções para produzir informação quantitativa contínua e a custos sustentáveis. Neste contexto o uso de instrumentos remotos revela-se uma técnica viável e promissora,

demonstrando a sua grande aplicabilidade na quantificação de evoluções morfológicas e na caracterização hidrodinâmica da região litoral (Fachin *et al.*, 2006).

Neste projecto pretende-se obter informação geográfica detalhada tanto do litoral emerso como do imerso próximo e por isso a opção recaiu sobre o levantamento sistemático de toda a costa portuguesa com recurso a técnicas distintas das quais resultam os produtos referidos na Tabela I.

Técnica	Área (ha)	Produto	Resolução
Levantamento Aerofotogramétrico	513 500	MDT	2 m
		Ortofotos	Espacial=10 cm Radiométrica=4 bandas (RGBIV)
	18 000	Cartografia	Associada à escala 1:2 000
LiDAR (Light Detection And Ranging)	124 500	MDT Terra	1 m
		MDT Misto	2 m

Tabela I - Técnicas usadas e respectivos produtos.

O uso de LiDAR aerotransportado para levantamentos topográficos representa não apenas uma redução considerável de custos mas também uma excelente opção para grandes extensões de áreas de acesso difícil ou restrito. A zona de rebentação é uma das dificuldades conhecidas quando se opta pelo uso de embarcações devido à grande oscilação provocada pelas ondas e aos obstáculos à navegação. O LiDAR batimétrico suprime esta dificuldade.

Através do tratamento e integração dos dados obtidos com o LiDAR topográfico e batimétrico será possível conhecer com detalhe o relevo, identificar o coberto vegetal, as estruturas antrópicas e a ocupação do solo em geral. Esta informação será complementada com a possibilidade de sobreposição de imagens aéreas de alta resolução (ortofotos) e de cartografia vectorial.

3. LEVANTAMENTO LiDAR

A rapidez de aquisição/processamento de dados, aliada à exactidão do valor da profundidade (cumprindo os critérios da Organização Hidrográfica Internacional - IHO), traduz-se em elevados níveis de produtividade, garantindo a qualidade da informação e constituem as principais vantagens de utilização do LiDAR batimétrico em comparação com o uso de embarcações equipadas com sondas. Como se pode ver na Fig. 1, o LiDAR (aeronave) possibilita uma cobertura maior e mais flexível do que as sondas (barcos).

Este sistema é especialmente eficiente para adquirir dados batimétricos de elevada resolução horizontal e vertical (Chusta, *et al.*, 2010) da área submersa e da faixa “entre marés”, bem como na delimitação da costa e detecção de perigos submersos em zonas de difícil acesso para embarcações equipadas com sondas.

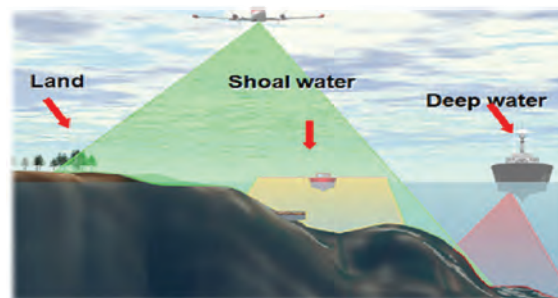


Fig. 1. Comparação de abrangência entre o sistema LiDAR aerotransportado e a sonda multifeixe (levantamento convencional).

A informação sobre estas zonas constitui uma inovação importante já que são áreas onde não é possível obter dados com os levantamentos batimétricos tradicionais.

3.1. Equipamento

Para o levantamento foram utilizados os equipamentos LiDAR Topográfico *Leica ALS60* e o LiDAR Batimétrico *HawkEye II*, (Tabela II e Tabela III).

LiDAR aerotransportado <i>Leica ALS60</i>	
Altura de voo (m)	200 a 6 000
Frequência kHz	150
Ângulo de abertura (grau)	0 a 75
Precisão (cm)	8 a 24 (altimetria)
Espaçamento (m)	0,3 a 5,0
Densidade de pontos (pontos/m ²)	até 12

Tabela II. Especificações do LiDAR Topográfico *Leica ALS60*.

LiDAR aerotransportado <i>Hawk Eye II - Flight case</i>	
Altitude (m)	500
Velocity (m/s)	80
Average data density Hydro (m x m)	3,2x3,2
4 Adjacent points within distance hydro 2 sigma (m)	4,0
Average data density topo (Point/m ²)	1,0
Swath width / effective swath width (m/m)	330/300

Tabela III. Especificações do LiDAR Batimétrico *HawkEye II*.

Os sensores usados neste projecto foram calibrados numa área de teste onde se recolheram pontos de controlo (em terra), por métodos topográficos e no mar com recurso a uma sonda multifeixe *SeaBat 8125*.

Para a calibração, a informação LiDAR foi recolhida segundo os critérios estabelecidos pelo construtor do dispositivo, recorrendo à execução de diversas fiadas, com orientações distintas, por forma a permitir a aferição dos dispositivos, assegurando que

estes têm as condições necessárias e suficientes para respeitar as especificações técnicas definidas.

3.2. Planeamento

Em função dos limites da zona a sobrevoar e com auxílio de cartografia digital e de um MDT da zona, realiza-se um planeamento prévio do voo, considerando as condições geométricas impostas pelas especificações técnicas (Tabela IV).

Na metodologia seguida é fundamental analisar cada um dos factores que afectam directamente a captura de informação antes da execução do planeamento e do voo, uma vez que alcançar as condições adequadas é praticamente impossível.

Os factores que podem influenciar o normal desenvolvimento do projecto e que foram analisados são os seguintes:

- Condições da linha de costa, topografia e hidrografia;
- Meteorologia: temperatura, humidade, chuva, nevoeiro, vento, etc.;
- Turbidez e transparência da água (partículas em suspensão, clorofila, etc.);
- Poluição e as condições da água em tempo real;
- Flora e fauna;
- Restrições de voo (restrições aéreas, proximidade de aeroportos, regulamentos de altura em voo e relevo, etc.).

Estas informações foram solicitadas às entidades competentes.

3.3. Plano de voo

Para a obtenção do modelo numérico altimétrico ao longo da costa e em algumas zonas estuarinas adquiriram-se dados numa faixa de 1 km de largura, totalizando aproximadamente 124 500 ha (Fig. 2) constituído por duas componentes (Tabela IV):

- Informação altimétrica (Terra);
- Informação batimétrica (Mar).

A área de trabalho foi dividida em 3 blocos de acordo com os 3 aeródromos que serviram como base de operações para os voos (Fig. 2).

Durante a fase de planeamento do voo foram estudadas as distintas orientações possíveis para as fiadas. A opção tomada foi orientá-las em função da linha de costa obtendo-se cerca de 1200 fiadas.

Para cada um dos sensores (topográfico e batimétrico) foram desenhados diferentes planos de voo (Tabela IV).

Tipo de Modelo	Espaçamento entre pontos (m)	EMQ admitido (m)
Terra	1	0,20
Mar	2	Ordem 1A*

* Especificações definidas pela Ordem A da norma S-44 (Standards for Hydrographics Surveys), publicada pela IHO.

Tabela IV. Especificações dos modelos numéricos altimétricos.



Fig. 2. Áreas de levantamento com LiDAR (limite vermelho).

Planeamento	Sensor batimétrico	Sensor topográfico
Fiadas	915	262
Comprimento (km)	8 340	3 219
Altitude (m)	500	1 800
Velocidade (m/s)	80	319
Largura da fiada (m)	330	620

Tabela V. Características dos planos de voo.

Para o levantamento LiDAR batimétrico foram analisadas em cada dia as marés, para que a operação decorresse sempre durante baixa-mar e sinalizadas as profundidades superiores a 20 m, para que as zonas potencialmente problemáticas fossem sobrevoadas nas melhores condições possíveis.

4. RESULTADOS

Para o levantamento LiDAR batimétrico foram realizados 51 voos em 32 dias, com início no dia 22 de Junho e conclusão a 19 de Agosto de 2011.

Os dados foram processados diariamente de modo a aferir se o levantamento cobria integralmente a área do projecto e para redesenhar novas fiadas de voo em algumas zonas que se entendesse necessário. Efectivamente foram realizadas 995 fiadas ao longo de 8 491 quilómetros, havendo apenas um pequeno desvio relativamente ao plano inicial. Nas figuras 3, 4, 5 e 6 apresentam-se alguns extractos dos produtos finais obtidos.

O levantamento LiDAR topográfico decorreu entre os dias 17 de Novembro e 7 de Dezembro, foram executados 10 voos e cerca de 250 fiadas.

Os restantes produtos, obtidos a partir do levantamento aerofotogramétrico, foram obtidos a partir de técnicas convencionais de Fotogrametria (Fig. 7).

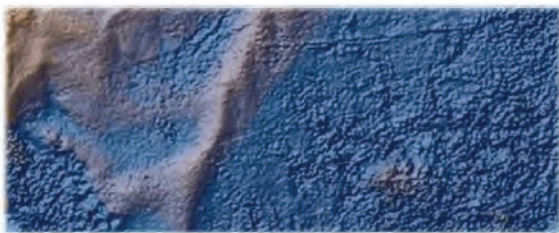


Fig. 3. MDT batimétrico (2 m).

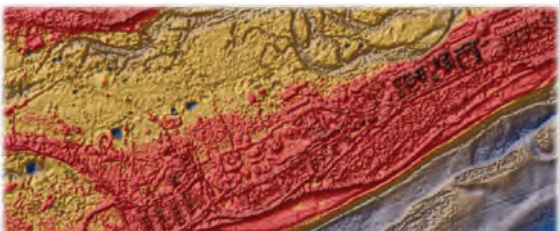


Fig. 4. MDT topográfico (1 m).

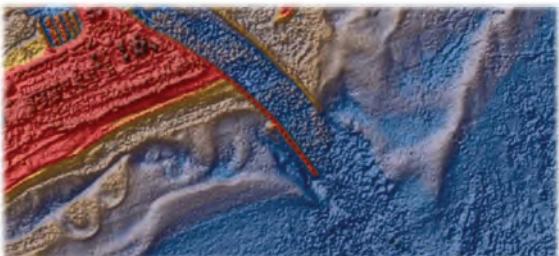


Fig. 5. MDT misto (2 m).

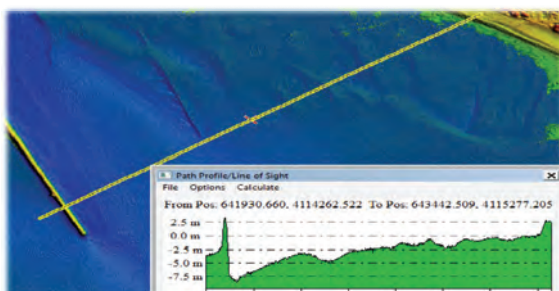


Fig. 6. Perfil obtido a partir do MDT misto (2 m).



Fig. 7. Ortofoto (composição RGB) e cartografia vectorial.

5. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

A conclusão deste projecto está prevista para o segundo semestre do ano 2012.

No momento em que se apresenta este resumo, decorrem dois processos de controlo de qualidade:

- Informação altimétrica, imagem e vector
- Informação batimétrica.

A responsabilidade do controlo de qualidade da informação é do IGP, que conta com o indispensável conhecimento técnico e experiência do Instituto Hidrográfico (IH). Esta é uma parceria de importância vital para a concretização deste projecto e para o seu sucesso. A possibilidade de desenvolver projectos no âmbito de uma equipa pluridisciplinar é um valor imensurável.

Para lá dos aspectos técnicos, este trabalho é o reflexo de uma congregação de esforços entre duas instituições direccionados para um objectivo comum. A colaboração institucional entre o INAG e o IGP evidencia a praticabilidade de sinergias entre organismos públicos, que contribuem para a racionalização dos meios técnicos e financeiros da Administração Pública.

Agradecimentos

Agradece-se a colaboração, o esforço e apoio ao desenvolvimento do projecto, da Arq.^a Margarida Almodovar, enquanto Directora do Departamento de Ordenamento e Regulação do Domínio Hídrico do INAG.

Para o IH e os seus técnicos, o reconhecimento pela pronta colaboração, partilha de dados e de conhecimentos técnicos, absolutamente necessários para o sucesso deste projecto.

REFERÊNCIAS

- Chusta, G., Grandeb, M., Galparsorob, I., Uriarteb, A., e Borjab, A. (2010). Capabilities of the Bathymetric Hawk Eye LiDAR for Coastal Habitat Mapping: A case study within a Basque estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Volume 89, Issue 3, 200–213.
- DGOTDU, (2007). Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território - Relatório. *Anexo à Lei n.º 58/2007, de 4 de Setembro que aprova o PNPT*, Diário da República, 1ª Série - N.º170 de 4 de Setembro.
- Fachin, S. Sancho, F., Ortega, M. e Losada, M. (2006). Sistema de Vídeo-Monitorização da Zona Costeira. *Tecnologia da Água*, N.º 41, Edição 1.
- Silva, A. (2010). A Geomorfologia Litoral como ramo da Geografia Física e como veículo para o progresso sustentado no litoral. *VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física/II Seminário Ibero-Americano de Geografia Física*, Universidade de Coimbra.

Data processing

Application of cluster analysis in the determination of break lines in a cloud of survey points

J. M. Jiménez (1), L. Veiga (1) e D. Carinhas (1)

(1) Instituto Hidrográfico; jose.perez@hidrografico.pt; jmjp3@hotmail.com

Abstract: Digital Terrain Model (DTM) is the base of increasing applications for science and engineering.

The objective when we calculate a DTM is always the same, the efficiency (very different from the concept of effectiveness).

From the **user** perspective, DTM efficiency is the best accuracy possible with the less computational resources possible. By the way, the DTM does not consume computer resources needed for others applications.

From the **processor** point of view, the DTM efficiency is to get the best accuracy with the fewest number of points. An excessive number of points for the development of a DTM will involve an increase of costs with a consequent decrease in competitiveness.

Keywords: Data processing, cluster, break lines, Digital Terrain Models, modelling, efficiency

1. IMPORTANCE OF BREAK LINES FOR THE PRODUCTION OF DIGITAL TERRAIN MODELS

One of the most efficient methods used in land surveying, is the determining of the **break lines**. These lines define the changes in the elevation value of the land surface. The number of break lines surface depend of the DTM accuracy's. More breaking lines determine a lowest value of elevation differences between surfaces and a more accurate model.

The procedure to get a topographic land surface, is to obtain topographic points (with X, Y, Z coordinates) of lines which determine changes in land elevation (break lines), and get points for filling surfaces bounded for those lines.

The concept is that a surface is delimited by breaking lines; these lines are defined with precision by a large number of points. The areas bounded with break lines were filled with a low density of topographical points.

2. MODELING EXAMPLE USING OR NOT BREAK LINES

The figure 1 and figure 2, show a "cloud" of topographical points as a result of a real land surface, obtained using the methodology described in the paragraph above; and their correspondent DTM generated with the formed break lines.

The figure 3 compare two DTM calculated using the same survey points, but with and without break lines.

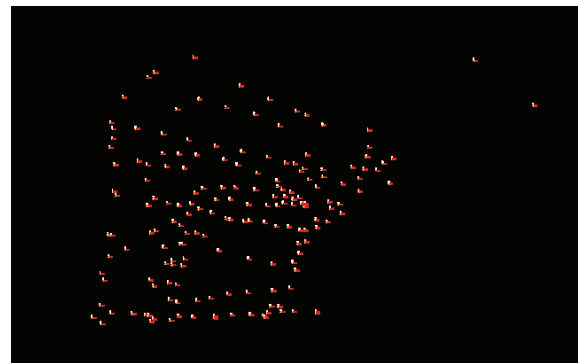


Fig.1 - Cloud of topographical point corresponding to the real land surface

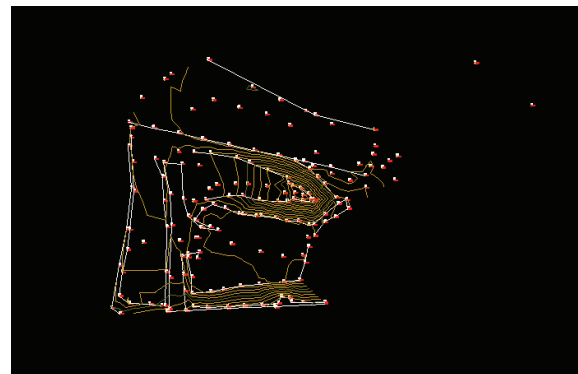


Fig.2 – MDT Topographical points joined with contour lines

We can see that the discrepancies in volumes (blue and red surfaces) cover an important area of this model (even though, in this case, the survey points define mainly the break lines).

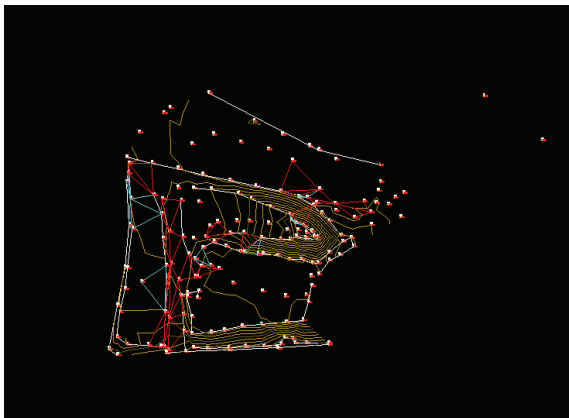


Fig.3 – Difference between MTD obtained with break lines and MDT obtained without break lines (areas covered with triangles red and blue)

It is necessary to delimitate areas with break lines to avoid "phantom models". The same group of survey points can generate different DTM. Only the triangulation in accordance with the break lines, gives the true DTM.

3. AND IN THE SEA?

There is a clear advantage on obtaining break lines in the earth: we can see them on the ground. So, the break lines are obtained directly when we get the survey points (they are the break lines points).

In the sea this is not possible, so the process of obtaining break lines is done after the data collection.

Here is where the multivariate statistical and cluster analysis help us, determining statistically what we can not see: the break lines.

4. DEVELOPMENT OF DATA PROCESSING

In order to develop a method and see the "behavior" of the various procedures, it has been chosen a topographical points cloud corresponding to a real terrain on land. To calibrate the results, was collected the real land surface break lines.

Comparing the "statistics" break lines computed with the "real" break lines obtained, we will validate or not the methodology and learn relevant conclusions.

5. CLUSTER ANALYSIS

Definition: series of sophisticated statistical procedures that can be used to classify objects and people without preconceptions, i.e, observing only the similarities or differences between them, without defining first the criteria for inclusion in any group. More specifically, the methods of cluster analysis are multivariate statistical procedures that organize a set of individuals (including detailed known

information) into relatively homogeneous groups (clusters).

We want to classify or "clustering" the survey points which determine the areas bounded by break lines.

6. CHOICE THE CLUSTER ANALYSIS METHOD

In the present study, the **hierarchical technique** was chosen.

The reasons are:

- We do not know the number of clusters, (the number of surfaces) to be treated;
- The number of clusters is directly related with the precision of the proposed model. We can test with different numbers of clusters and compare the results obtained with the break lines and the accuracy obtained in the field.

7. DEVELOPMENT

First test, unlimited cluster and standard parameters

Second test, comparison between 6 and 12 clusters. Standard parameters.

Third Test, Calculate a model with 6 clusters. Standard parameters.

View on the ground of the results (figure 4).

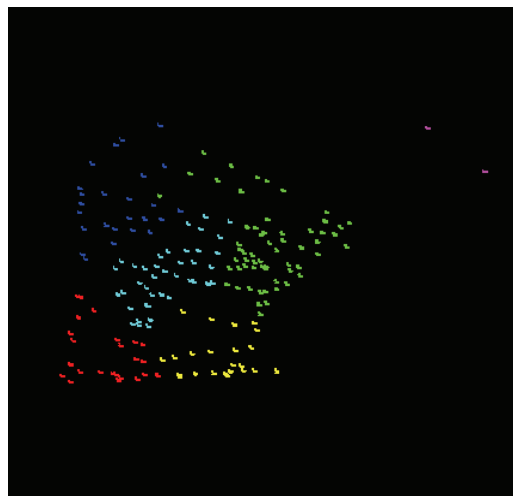


Fig.4 – Each color is a group of points belonging to the same cluster group

Fourth Test, Calculate a model with 10 clusters. Standard parameters.

View on the ground of the results (figure 5)

Fifth Test, Calculate a model with 10 clusters. Furthest Method Parameters

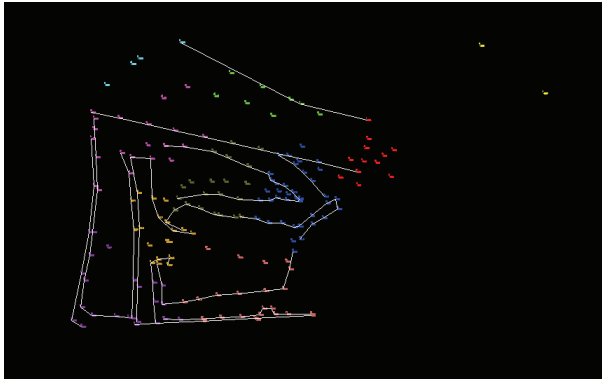


Fig.5 – Comparing the cluster points location with the break lines position

8. FIRST CONSIDERATIONS OF THE PROCEDURE AND RESULTS OF DATA PROCESSING CLUSTERS

Related to the number of clusters.

Determine the number of clusters is an important decision in this method, it is directly related to the efficiency. An appropriate number of clusters involve greater precision and fewer areas.

In the comparison, we can observe that there are clusters with only one member. This situation is to be avoided, because it means that is happening an atomization of groups and therefore we are making "disappear" the common features that join individuals.

It was compared models, with 6 and 10 clusters having no major discrepancies, so I opted for the model of 6 clusters (the model with fewest number of clusters possible is the more efficient model).

On the other hand, a test with 10 clusters taking the distance of the farthest neighbor was calculated; because theoretically this method creates more compact groups. In our case this had not happened.

8.1 General considerations

The establishment of ground areas initially related to be very effective, but this method has not been proven effective in creating break lines.

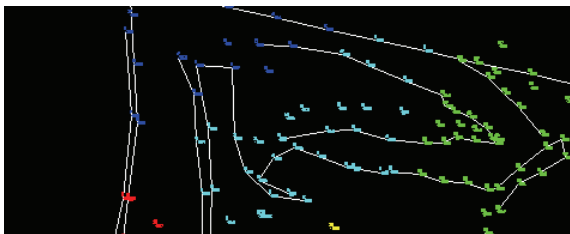


Fig.6 – The same group of cluster are in different break lines

We see (figure 6) the same cluster covers with different break lines, which is contradictory to the break lines concept.

The reason is that it gives equal importance (weight) to all variables (coordinates). The break lines creating process requires a greater weight in the Z variable.

This concludes that the procedure (in this way) is not valid.

START AGAIN

9. FIRST STEP

The clusters had proven to be a powerful tool of zoning (differentiate surfaces), which is one of the break lines component.

We implement this zoning, but giving more weight to the Z variable.

9.1 Give more weight to the variable Z

To achieve this objective, we have to magnify the differences in elevation between each point. To do this, we raise the variable Z squared (exponential operations magnify the differences).

This value of Z will only be used for calculate the clusters. In creating the DTM, it will be used the value of Z obtained in the field.

9.2 Development model

New clusters was obtained, applying the Z value squared.

View on the ground of the results (figure 7)

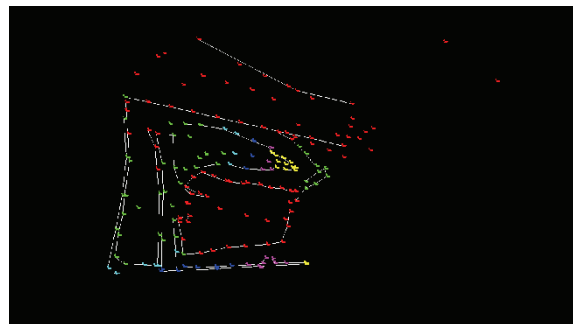


Fig.7 – Clusters result applying Z value squared

9.3 Assessment of the results

Results were good (better than expected, figure 8).

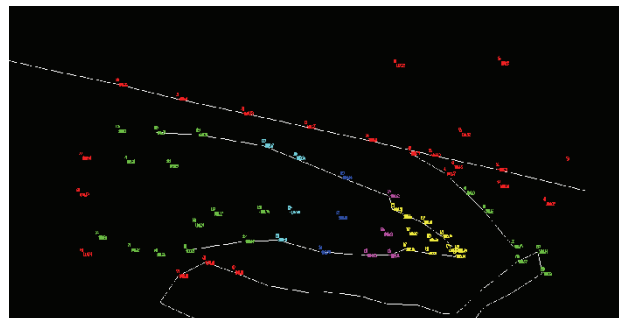


Fig.8 – Different group of clusters corresponding to different break lines

Break lines were well defined and moreover the sensitivity of "clustering" was 0.5 m, there was a direct relationship between the number of clusters and the required accuracy. This means that every 0.5 m of difference in the elevation field, a new cluster was created.

All this, shows that increasing the weight of the variable Z , the cluster calculated will correspond to the break lines obtained in the field.

9.4 Second step

In the first step we have to differentiate areas according to the Z variable.

Now we differentiate each of the areas (clusters) calculated in the first step (6 clusters model), giving equal weight to all variables. This process is performed to avoid the apparition of points with the same elevation (but far apart from each other) in the same cluster.

10. FINAL CONSIDERATIONS

Original objective: get the break lines of a cloud of points, and the surfaces defined by them; with statistical methods.

The figure below (figure 9) shows all the clusters obtained after apply the "two steps" procedure (first maximize the Z variable and then differentiate groups of elements of each cluster by proximity).

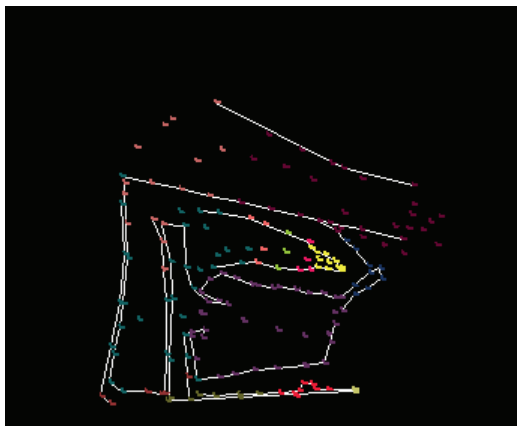


Fig.9 – MDT obtained applying "two step" procedure.

The test with the model example has been achieved (figure 9).

Surfaces with different dimension have been separated adjusting to the break lines obtained in the field, this had served to validate results obtained with the "two steps" cluster statistic method

11. AND AFTER...

There are many possibilities, but first there are a lot of studies to do:

One of these studies is to linearize the limits of the surfaces, in order to get a pure vector terrain models.

Other is to test this procedure in more terrain models to refine the method, especially the part of choosing the number of clusters.

Finally, test this procedure with sea bed models to improve their efficiency and to detect other possible modeling errors.

After these studies and their conclusions, it will be needed the improvement of data acquisition methods in order to make them more efficient.

REFERENCES

Estatística Multivariada Aplicada, 2^a ed., Ed. Sílabo. Reis, Elizabeth, (2001). P: 17 - 218

SOFTWARE

AUTOCAD 2002

MDT 4

SPSS STATISTICS 17.0

MATLAB R2009a

Revisão das Especificações Técnicas para a execução de Levantamentos Hidrográficos

J. Vicente (1), R. Silva (2), P. Sanches (2) e M. Arenga (2)

(1) Instituto Hidrográfico. delgado.vicente@hidrografico.pt

Resumo: Em Fevereiro de 2008 a Organização Hidrográfica Internacional (OHI) publicou a 5ª Edição da Publicação Especial S – 44 (IHO *Standards for Hydrographic Surveys*). A S-44 define os procedimentos gerais para os levantamentos hidrográficos (LH) cujo objetivo sejam a segurança da navegação, nomeadamente, os requisitos mínimos em termos de incerteza das medições de profundidade e de deteção de objetos. Esclarece a S-44 que compete aos serviços hidrográficos o estabelecimento de especificações mais dinâmicas que acomodem os sistemas utilizados, os formatos e metadados relativamente aos dados adquiridos, processados e validados, assim como, os produtos finais dos LH. Em Maio de 2008 o Instituto Hidrográfico (IH) reviu as suas especificações para os LH com base na S-44. Em 2011, após um detalhado estudo e à semelhança de outras organizações, tornou-se necessário definir uma nova classificação dos LH em função da cobertura (ou seja, do conhecimento adquirido do fundo marinho) e redefinir as especificações dos produtos finais dos LH. A presente comunicação tem por objetivo dar a conhecer as alterações introduzidas promovendo desta forma a necessária revisão das especificações no âmbito da Lei da Cartografia.

Palavras chave: Levantamentos Hidrográficos, Especificações técnicas, Informação batimétrica

1. INTRODUÇÃO

O principal objetivo dos levantamentos hidrográficos (LH) é obter dados para a produção ou atualização das cartas náuticas (CN) com ênfase nas estruturas que afetam a segurança da navegação (OHI, 2005). Para este efeito, OHI (2008) estabelece na Publicação Especial S-44 os requisitos mínimos que os Serviços Hidrográficos devem observar na execução de LH. Os requisitos variam com a área a sondar (profundidade e tipo de navegação esperada para a área) sendo, desta forma, os LH classificados em 4 Ordens: Especial, 1a, 1b e 2. Os requisitos mínimos para cada ordem são definidos em função das máximas incertezas admissíveis, horizontal e vertical, e das dimensões mínimas das estruturas a detetar. Artilheiro e Vicente (2009) esclarecem as metodologias a adotar na modelação das fontes de incerteza das medições. Adicionalmente, o Instituto Hidrográfico (IH) classifica os LH em Tipo I, II ou III em função dos métodos e dos equipamentos utilizados (IH, 2008) consoante sejam utilizados sondadores multifeixe (SMF), de feixe simples (SFS) ou sonar lateral, respetivamente.

Da realização de um LH resulta um conhecimento do fundo marinho que pode e deve ser caracterizado e que, face aos métodos atuais de execução de LH permitem descreve-lo com elevado detalhe. Deste modo a informação batimétrica tem cada vez mais um maior número de aplicações.

NOAA (2011) apresenta uma classificação dos LH em função da cobertura batimétrica. Esta classificação foi objeto de estudo por Vicente (2011) e adaptada no IH através da revisão em curso da Norma Técnica relativa às especificações para os LH (NT-HI-01). Este trabalho pretende dar a conhecer as alterações introduzidas promovendo desta forma a

necessária revisão das especificações no âmbito da Lei da Cartografia.

2. OS MODELOS BATIMÉTRICOS (MB)

A modelação de dados batimétricos tem dois objetivos: os MB podem servir de superfícies de referência que auxiliem a limpeza automática de valores anómalos ou constituírem-se como os Produtos Finais dos LH.

No IH, nos LH realizados com sondadores multifeixe (SMF) para atualização cartográfica apenas é permitido o uso do algoritmo *Combined Uncertainty and Bathymetric Estimator* (CUBE) descrito por Calder e Wells (2007) na elaboração dos produtos finais. As profundidades estimadas pelo CUBE são a representação mais fidedigna do relevo marinho desde que cumpridos os requisitos de incerteza e as normas e procedimentos estipulados para a aquisição de dados, permitindo uma interpretação estatisticamente fundamentada dos dados batimétricos. Este algoritmo minimiza a subjectividade inerente ao processamento tradicional e revela-se uma ferramenta eficiente em termos de tempo de processamento (Vicente, 2011). O autor mostrou ainda que, em regra, as diferenças encontradas entre as superfícies geradas com o CUBE e as sondas mínimas tradicionalmente validadas são inferiores a metade do valor de incerteza vertical das sondas. Concluiu que uma adequada parametrização do algoritmo e uma análise cuidada das diversas camadas de informação são mandatórias e, tal como referido pela NOAA (2011), nos casos em que o algoritmo não efectue uma adequada estimativa da profundidade, o hidrógrafo deve designar uma sonda que satisfaça os requisitos da segurança da navegação. Assim, os modelos

batimétricos CUBE conjuntamente com a camada de informação de sondas designadas garantem os requisitos da segurança da navegação.

Tal como definido em NOAA (2011), uma profundidade consiste num valor processado de elevação do solo marinho relativo a um datum vertical e retratado num produto final (superfície) de um LH, determinado a partir de análise estatística e com valores de incerteza estimados a partir de um conjunto de sondas. Por outro lado, uma sonda é uma medição ou o produto de medições para determinar a distância vertical desde a superfície do mar até ao fundo marinho utilizando uma metodologia própria (sondador, fio de prumo, LIDAR, etc.). Uma sonda pode ser corrigida da velocidade de propagação do som (VPS) na água, imersão do transdutor e de maré, mas constitui o produto de uma ou mais medições.

A redefinição do termo profundidade consiste na aceitação dos modelos batimétricos como produtos finais dos LH, nomeadamente, os relativos a dados adquiridos por SMF, pretendendo dar um uso mais generalizado e dinâmico à informação hidrográfica. De facto, a seleção de um conjunto sondas mínimas como o produto final de um LH tem a aplicabilidade reduzida à cartografia náutica sendo necessário, na maioria das outras utilizações, um reprocessamento dos dados com vista à obtenção de informação adequada, nomeadamente, ao nível da resolução.

De modo a obter um produto final de um LH que possa ser utilizado para os mais diversos fins, tornou-se necessário definir alguns axiomas que regulem a modelação de dados batimétricos e que garantam os requisitos estabelecidos na S-44:

- A resolução de um MB não deve ser superior à resolução espacial do sondador;
- A resolução de um MB deve ser, pelo menos, de metade do tamanho do objeto mais pequeno que se pretenda detetar/representar. Por exemplo, para LH de Ordem 1, que obriga à deteção de estruturas cúbicas de 2 m de aresta, a resolução do MB deve ser igual ou superior a 1 m;
- Sempre que uma estrutura não seja corretamente representada no modelo, em termos de profundidade, e tendo em consideração a segurança da navegação, o hidrógrafo deve designar a sonda mínima da estrutura ou, incrementar a resolução do MB de modo a que este represente a estrutura de forma mais adequada, considerando que para tal é necessário garantir na aquisição de dados uma densidade de sondas suficiente para a estimação da profundidade;
- Estatisticamente, um mínimo de 5 sondas por nodo permite estimar a profundidade, no entanto, é desejável um valor mínimo de 9 a 13 sondas por nodo, conforme se trate de nodos localizados em fundos regulares ou sobre estruturas, respetivamente (Rice e Calder, 2009).

3. COBERTURA BATIMÉTRICA (SONDADORES ACÚSTICOS)

No caso da utilização de sondadores acústicos a cobertura batimétrica poderá ser:

- Cobertura Batimétrica de Deteção de Objetos
- Cobertura Batimétrica Completa
- Cobertura Batimétrica por Faixas SMF
- Cobertura Batimétrica de Perfis de sondadores de feixe simples (SFS)

As coberturas batimétricas para Deteção de Objetos e Completa obrigam à aquisição de dados com SMF e, estão correlacionadas com os requisitos mínimos dos LH de Ordem Especial ou de Ordem 1a. A Cobertura Batimétrica por Faixas respeita aos LH executados com SMF de Ordem 1b ou de Ordem 2. A Cobertura Batimétrica de Perfis SFS respeita aos LH executados com SFS.

3.1. Cobertura Batimétrica de Deteção de Objetos

O espaçamento entre as fiadas principais de sondagem (FPS) deve garantir uma sobreposição entre faixas adjacentes de 50%. Recomenda-se que a largura da faixa sondada seja inferior a 3 vezes a profundidade média. A aquisição de dados deve garantir que os MB de Deteção de Objetos (MBDO) gerados por este tipo de cobertura respeitem as seguintes especificações:

- A resolução dos MB é definida em função de intervalos de profundidade (Tabela I). Os valores da Tabela são valores mínimos de resolução. No caso em que a resolução espacial do sondador e a densidade de sondas permita, pode a resolução do MB ser incrementada;
- Até aos 20 m de profundidade, todos os objetos cúbicos de 1 m de aresta detetados na aquisição de dados devem estar representados na superfície. Para profundidades superiores a 20 m, utilizar o fator dimensional de 5% da profundidade;
- Não podem existir nodos sem informação localizados sobre estruturas relevantes para a segurança da navegação;
- Até aos 40 m de profundidade, não podem existir na superfície zonas com mais de 3 nodos adjacentes sem informação (*holidays*);
- 95% dos nodos da superfície devem estar povoados com, pelo menos, 5 sondas.

Tabela I – Resolução dos MBDO

Intervalo de Profundidade (m)	Resolução da superfície (m)	Distância de Captura (m)
0 - 20	0,5	0,35
19 - 40	1	0,71

3.2. Cobertura Batimétrica Completa

O espaçamento entre FPS deve garantir uma sobreposição entre faixas adjacentes de 10%. Recomenda-se que a largura da faixa sondada seja inferior a 3,5 vezes a profundidade média. Na presença de fundos muito irregulares, ou quando

detetadas estruturas relevantes para a navegação, justifica-se um espaçamento entre FPS que garanta uma sobreposição entre faixas adjacentes de 50%. Nesta situação a maior densidade de sondas pode ser utilizada para gerar MB de maior resolução que minimizem a necessidade de designação de sondas. A aquisição de dados deve garantir que os MB de Cobertura Completa (MBCC) gerados por este tipo de cobertura respeitem as seguintes especificações:

- A resolução dos MB é definida em função de intervalos de profundidade (Tabela II). No caso em que a resolução espacial do sondador e a densidade de sondas permita, a resolução do MB pode ser incrementada;
- Até aos 20 m de profundidade, todos os objetos com arestas de, pelo menos, 2 x 2 x 1 m detetados na aquisição de dados devem estar representados na superfície. Para profundidades superiores a 20 m, utilizar o fator dimensional de 10% da profundidade nas dimensões horizontais e de 5% da profundidade na dimensão vertical;
- Não podem existir nodos sem informação localizados sobre estruturas relevantes para a segurança da navegação;
- Até aos 100 m de profundidade, não devem existir na superfície zonas com mais de 3 nodos adjacentes sem informação (*holidays*);
- 95% dos nodos da superfície devem estar povoados com pelo menos 5 sondas.

Tabela II – Resolução dos MBCC

Intervalo de Profundidade (m)	Resolução da superfície (m)	Distância de Captura (m)
0 - 20	1	0,71
18 - 40	2	1,41
36 - 80	4	2,83
72 - 160	8	5,66
144 - 320	16	11,31
288 - 640	32	22,63
576 - 1280	64	45,26
1152 - 2560	128	90,51
2304 - 5120	256	181,02

3.3. Cobertura Batimétrica por Faixas SMF

A distância entre os feixes mais exteriores de faixas adjacentes deve ser inferior a três ou quatro vezes a profundidade média, conforme se trate de um LH de Ordem 1b ou de Ordem 2. A aquisição de dados deve garantir que os MB gerados por Faixas SMF (MBMF) respeitem, dentro das faixas sondadas, as especificações dos MBCC. Note-se que os feixes mais exteriores que apresentem incertezas superiores à máxima incerteza admissível devem ser rejeitados e a sua informação não deve ser considerada na determinação do espaçamento entre FPS.

3.4. Cobertura Batimétrica por perfis SFS

Nos LH de Ordem 1b o espaçamento máximo entre FPS é de 3 vezes a profundidade média ou 25 m, conforme o maior valor. Nos LH de Ordem 2

recomenda-se um espaçamento máximo entre FPS de 4 vezes a profundidade média. No entanto, deve-se considerar ainda a escala do LH. Neste contexto, o espaçamento máximo entre FPS deve ser igual ou inferior a cinco vezes o módulo da escala do LH a dividir por mil. Quando se elaborem MB de malha regular gerados por Perfis SFS (MBFS), a resolução deve ser limitada à resolução espacial do sondador e selecionar para o nodo o valor de sonda reduzida mínima dentro do raio de captura. Alternativamente podem ser gerados MB de malha irregular a partir de uma seleção de sondas mínimas validadas.

3.5. A incerteza final da superfície

Os MB finais de um LH devem apresentar, de forma conservadora para a segurança à navegação, como valor de incerteza vertical associado a cada nodo o maior valor entre a incerteza estimada para o nodo pelo CUBE e o desvio padrão das sondas contribuintes para o valor estimado de profundidade nodal, propagado a um nível de confiança de 95%.

3.6. Estruturas relevantes

Um objeto ou uma estrutura significativa ou relevante para a segurança da navegação é aquela que possua uma dimensão vertical superior a:

- 10 % da profundidade em fundos inferiores a 10 m mas, não menor que 0,5 m (0,3 m junto a cais de atracação);
- 1 m em fundos entre 10 e 40 m;
- 5% da profundidade em fundos superiores a 40 m e inferiores a 200 m;
- 10% da profundidade em fundos superiores a 200 m.

3.7. Critérios para a designação de sondas

Uma sonda deve ser designada quando a diferença entre a profundidade estimada para o nodo e a sonda mínima seja superior ao valor de incerteza vertical admissível, tendo em consideração a Ordem do LH. Caso sejam efetuados LH de Ordem 1a em locais identificados como áreas críticas para a navegação, a designação de sondas deve ser efetuada quando a diferença entre a profundidade estimada para o nodo e a sonda mínima seja superior ao valor de incerteza vertical admissível para LH de Ordem Especial.

O hidrógrafo deve considerar ainda a escala do LH. A título de exemplo, no caso de uma rocha existente no fundo do mar que se encontre no seguimento de um talude, só terá relevância para a segurança da navegação no caso de ter representatividade na escala do LH. Assim, quando a distância entre duas sondas mínimas a designar for menor que 2 mm na escala do LH (20 m para 1:10 000), então apenas a sonda mínima mais relevante deve de ser designada.

Em zonas maioritariamente rochosas, com inúmeras estruturas significativas, pode ser necessário designar várias sondas, transformando o processamento semi-automático numa validação manual. Para contrariar esta necessidade, uma

possível solução será incrementar a resolução da superfície, o que pressupõe uma aquisição de dados mais densa nas áreas de difícil solução.

Reciprocamente, valores anómalos ou identificáveis como “ruído” podem, igualmente, ser incluídos na superfície, desviando a estimação correta da profundidade. Nestes casos, devem ser rejeitadas as sondas identificadas como fonte de ruído na superfície e que, provoquem uma estimação da profundidade desviada do “fundo real” num valor superior à incerteza vertical total permitida.

4. A GESTÃO DA INCERTEZA

O cumprimento das especificações de um LH é avaliado a dois níveis. Por um lado, o cumprimento dos requisitos de incerteza máxima admissível das observações e os critérios de deteção de objetos definidos na S-44 e, por outro lado, o cumprimento das especificações dos produtos finais do LH, assim como, a organização e disponibilidade dos dados.

Assim, podem-se identificar três fases de gestão da incerteza:

- Garantia de qualidade: realizada durante a aquisição de dados. Envolve o conjunto de procedimentos necessários para garantir que os dados em aquisição cumprem as especificações;
- Controlo de qualidade: realizada pelo Hidrógrafo durante o processamento de dados. Envolve o conjunto de procedimentos necessários para garantir que os dados adquiridos e validados cumprem as especificações;
- Avaliação da conformidade: realizada na Divisão de Hidrografia. Pretende garantir que os produtos finais do LH cumprem as especificações e os dados entregues cumprem a organização estabelecida.

De modo a garantir o cumprimento das especificações de um LH e a tornar possível a adequada gestão da incerteza, a revisão em curso da NT-HI-01 estabelece ainda normativos relativos a:

- Sistemas de referência;
- Posicionamento horizontal e vertical das sondas e consequente ligação aos *data* nacionais;
- Aquisição de dados e requisitos de cobertura batimétrica;
- Processamento de dados e elaboração de produtos finais;
- Organização e formatos de dados e respetivos metadados.

5. CONCLUSÕES

A presente comunicação pretendeu dar a conhecer as principais inovações produzidas na revisão em curso da NT-HI-01 refletindo os estudos efetuados por Vicente (2011) e por especificações estabelecidas por outros Serviços Hidrográficos, nomeadamente, as referidas em NOAA (2011).

Na última década a maioria dos Serviços, mormente pela necessidade de definição dos limites das

plataformas continentais, equiparam-se com sistemas de elevada resolução e/ou elevada aquisição de dados, nomeadamente SMF. Esta estratégia levou, por um lado, a uma evolução do conhecimento do fundo marinho do mar nunca antes assistida mas, por outro lado, obrigou a uma redefinição das estruturas dos Serviços em virtude dos elevados custos de aquisição e manutenção de equipamentos. Assim, querendo os Serviços Hidrográficos manter ou até melhorar o atual estado tecnológico com que se equipam e de modo a rentabilizar os equipamentos e a minimizar os seus custos de operação e manutenção, a alternativa é continuarem a adquirir dados para atualização cartográfica mas, simultaneamente, que esses mesmos dados possam ser disponibilizados para projetos científicos ou para prestações de serviço.

A título de exemplo e no seguimento desta orientação, cresce de importância a informação acessória adquirida pelos SMF, nomeadamente:

- A informação de refletividade utilizada para caracterização do fundo marinho;
- A informação de coluna de água utilizada para deteção de objetos na coluna de água, determinação de volumetrias de cardumes ou até mesmo, estudo e deteção de fontes hidrotermais, colunas de gás, ondas internas e outros fenómenos oceanográficos.

A informação hidrográfica passa, desta forma, a ter vida para além da cartografia náutica.

REFERÊNCIAS

- Artilheiro, F. e Vicente, J. (2009). Requisitos para os Levantamentos Hidrográficos e Capacidades dos Sistemas Utilizados, *Cartografia e Geodesia* 2009, pp. 462-473.
- Calder, B. e Wells, D. (2007). *CUBE User's Manual*, University of New Hampshire.
- IH (2008). *Especificação Técnica para Planeamento, Execução e Processamento de Levantamentos Hidrográficos*, Instituto Hidrográfico.
- NOAA (2011). *NOS Hydrographic Surveys Specifications and Deliverables*, National Oceanic and Atmospheric Administration, Office of Coast Survey, April 2011.
- OHI (2005). *M-13 IHO Manual on Hydrography*, 1ª Edição, Organização Hidrográfica Internacional.
- OHI (2008). “S-44 IHO Standards for Hydrographic Surveys”, 5ª Ed.
- Vicente (2011). *Modelação de dados batimétricos com estimação de incerteza*, Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, 2011.
- Rice, G. e Calder, B. (2009). *A Quantitative Approach to the Resolution of Bathymetric Representation*, U.S. Hydro Conference, Norfolk, USA.

SUDABAT – desenvolvimento e análise de uma metodologia de supressão de dados batimétricos

R. Cândido (1) e A. Campos (2)

- (1) Centro de Investigação Naval, miguel.candido@marinha.pt
 (2) Estrutura de Missão para a Extensão da Plataforma Continental

Resumo: A evolução das tecnologias de determinação de profundidades permite a obtenção de conjuntos de dados batimétricos cada vez maiores e mais densos. No entanto, a utilização de ferramentas de pós-processamento em conjuntos de dados batimétricos de tal grandeza torna-se demorada e exigente, prejudicando a partilha de informação e a construção de conhecimento. Este trabalho procura responder aos problemas mencionados através do desenvolvimento e análise da aplicação “Supressor de Dados Batimétricos” (SUDABAT). Esta ferramenta é capaz de suprimir grandes quantidades de dados batimétricos permitindo ao utilizador escolher o nível de supressão pretendido. A análise de desempenho efetuada mostra que, para conjuntos de dados de reduzida irregularidade, é possível efetuar uma supressão de mais de 90% das sondas iniciais, com um erro médio quadrático associado inferior a 3m, em profundidades da ordem dos vários milhares de metros, sem que se perca a identidade geomorfométrica da superfície em estudo.

Palavras chave: geomorfometria, supressão de dados, indexação

1. INTRODUÇÃO

O recurso às tecnologias de determinação de profundidades com elevada resolução, como os Sistemas Sondadores Multifeixe e os sistemas *Light Detection And Ranging* (LIDAR), possibilitou um mapeamento mais realista do fundo submarino à custa de conjuntos de dados de elevada densidade. Contudo, desta elevada quantidade de sondas, uma grande parte torna-se redundante (Guenther et al., 1996; Kragovi e Tartalja, 1999), não contribuindo de forma efetiva para o aumento da qualidade da representação da área em estudo nem dos produtos derivados (cartografia náutica, modelos digitais do terreno e estudos geológicos, geofísicos, geomorfométricos, entre outros).

Assim, torna-se relevante o desenvolvimento de ferramentas que possibilitem aligeirar grandes quantidades de informação, simplificando a sua manipulação e expeditando a obtenção de conhecimento. No entanto, há que garantir que essas ferramentas preservam a qualidade dos dados iniciais, assegurando a exatidão dos modelos gerados.

O principal objetivo deste trabalho consistiu no desenvolvimento duma ferramenta capaz de suprimir grandes quantidades de dados batimétricos, retendo as sondas mais representativas do conjunto inicial. Para isso, foi criada a aplicação “Supressor de Dados Batimétricos” (SUDABAT) que pressupõe a modelação das sondas classificadas como representativas por uma rede triangular irregular (*triangular irregular network* [TIN]) (Cândido, 2011). O Modelo Digital do Terreno obtido deverá ser tão próximo quanto possível do gerado pelos dados que lhe deram origem, minimizando desta forma o erro associado à supressão.

2. DESENVOLVIMENTO DO SUDABAT

O SUDABAT foi desenvolvido em ambiente Microsoft Visual Studio 2010, na linguagem Visual Basic 2010. O funcionamento desta aplicação pode-se dividir em 3 etapas principais: o carregamento de dados, o seu processamento e a exportação dos resultados. O processamento dos dados divide-se em duas fases distintas: a indexação e a supressão. O algoritmo de indexação utilizado baseia-se na metodologia exposta em Varma *et al.* (1990). A metodologia de supressão de dados batimétricos adotada consiste numa adaptação do algoritmo apresentado em Kragovi e Tartalja (1999). Tanto a indexação como a supressão podem ser influenciadas pelo utilizador através da definição inicial de alguns parâmetros.

2.1. Dados de entrada/saída

O SUDABAT tem como dados de entrada as sondas que caracterizam uma determinada área do fundo submarino. Para cada sonda são consideradas a sua posição geográfica e profundidade.

A aplicação carrega um ficheiro de formato ASCII, em que cada linha corresponde a uma sonda. Após o carregamento, cada sonda será representada pelas suas coordenadas e por um indicador, que expressará a sua classificação (representativa ou redundante).

Os dados de saída do SUDABAT são as sondas consideradas como representativas do fundo, tendo em conta os parâmetros definidos inicialmente pelo utilizador. Estas sondas são exportadas no mesmo formato que o adotado para os dados de entrada.

2.2. Indexação dos dados

O SUDABAT é uma aplicação que se destina a processar grandes volumes de dados batimétricos, podendo a sua ordem rondar entre as centenas de

milhar de sondas e os milhões de sondas. Assim, torna-se imperativo implementar uma metodologia de indexação capaz de agrupar os dados segundo critérios espaciais, possibilitando aceder-lhes evitando uma busca intensiva e extensiva a todo o conjunto de dados. Desta forma, o acesso, relativamente à componente espacial, torna-se muito mais dirigido e, por conseguinte, mais rápido.

No SUDABAT, optou-se por implementar uma adaptação do *Helical Hyperspatial Code* (HHCode), apresentado por Varma *et al.* (1990).

2.2.a Helical Hyperspatial Code

O HHCode trata-se duma estrutura de dados multidimensional, cujo princípio de funcionamento se baseia na decomposição recursiva do espaço por quadrantes (Varma *et al.*, 1990). O HHCode efectua a divisão binária sucessiva de um espaço coordenado nas direcções N-S e E-W em quadrantes cada vez menores. Assim, a resolução variável do HHCode permite que o rigor da representação espacial seja tanto maior quanto maior for o número de subdivisões efetuadas.

Cada divisão gera um par binário indicando em qual dos recém-criados quadrantes determinado ponto se encontra. Quando ocorre uma subdivisão, o quadrante original é desprezado, sendo apenas considerados os quadrantes recém-criados. Os pares binários gerados em sucessivas divisões, quando interpretados sequencialmente, permitem identificar e localizar espacialmente, duma forma expedita, o respetivo quadrante.

Para além de lidar de forma bastante eficiente com dados multidimensionais, esta estrutura de dados é também capaz de gerir grandes quantidades de informação. Acabou mesmo por ser implementada na base de dados batimétricos do *Canadian Hydrographic Service* para gerir o volume crescente de dados batimétricos adquiridos pela organização (Forbes *et al.*, 2003).

2.2.b Parâmetros de controlo

Para se implementar a metodologia de indexação referida é necessário: definir uma área quadrangular de operação, permitir ao utilizador influenciar a indexação dos dados e estabelecer os critérios que interrompem o processo de decomposição espacial.

Nesse sentido, considera-se o mínimo retângulo geográfico que contenha a totalidade dos dados batimétricos (*minimum bounding rectangle*). Este retângulo bi-dimensional é orientado segundo as direcções N-S e E-W, sendo as suas arestas definidas pelas latitudes e longitudes máximas e mínimas do conjunto de dados de entrada.

O controlo do utilizador sobre a indexação é feito sobre os seguintes parâmetros: o *High Water Mark* (HWM) e o *Depth Tolerance* (DT). Estes, definem os critérios de paragem do processo iterativo de subdivisão dos quadrantes, designados por *tiles*. O

HWM define o número de sondas máximo que um *tile* pode comportar sem necessitar de ser novamente subdividido (Varma *et al.*, 1990). O DT expressa a diferença máxima de profundidade entre a sonda mínima e a sonda máxima existentes num *tile*. Caso essa diferença seja maior que o DT, o *tile* será subdividido (Forbes *et al.*, 2003). Adicionalmente, para garantir que os *tiles* gerados não tenham dimensões muito pequenas, definiu-se um valor para a sua área mínima. Este critério sobrepõe-se aos dois anteriores, travando o processo de subdivisão quando este gerar *tiles* com uma área inferior a 0,25km².

2.3. Supressão dos dados

A metodologia de supressão de dados batimétricos utilizada no SUDABAT trata-se duma adaptação do algoritmo apresentado por Kragovi e Tartalja (1999). O SUDABAT procura identificar as sondas que não contribuem significativamente para a representação do fundo correspondente ao *dataset* em questão. Para isso, o algoritmo de supressão aproveita os conjuntos de sondas definidos durante a indexação do *dataset*, tratando cada *tile* de forma independente. Trata-se dum processo iterativo que é interrompido quando, dum passo para o seguinte, a quantidade de sondas suprimidas for desprezável, *i.e.* quando representar menos de 5% das sondas representativas aquando do início da iteração.

2.3.a Delimitação do dataset

O conhecimento da delimitação duma superfície é fundamental para se efetuar a sua representação (Kragovi e Tartalja, 1999). Assim, numa primeira fase, o SUDABAT identifica todas as sondas que se situam nos limites horizontais do *dataset*, considerando-as como representativas da área em estudo. Estas nunca serão excluídas do conjunto de dados de saída do SUDABAT.

2.3.b Vizinhança de uma sonda

Cada sonda é classificada quanto à sua representatividade considerando-se apenas as restantes sondas do respetivo *tile*. Para isso, a cada um dos *tiles*, é aplicada uma malha rectangular de resolução constante. A dimensão das células da malha depende essencialmente de dois fatores: do parâmetro *Max Distance*, definido pelo utilizador, e da “densidade populacional” do *tile*, *i.e.* o quociente entre o número de sondas representativas do *tile* e a área do mesmo. O parâmetro *Max Distance* corresponde à máxima distância horizontal entre quaisquer duas sondas presentes nos dados de saída. A aplicação da malha sobre o *tile* tem como objetivo forçar a localidade do algoritmo, permitindo definir facilmente a vizinhança duma sonda. Por vizinhança duma determinada sonda, considerem-se todas as sondas representativas das células adjacentes assim como as da célula da sonda em questão. Dessa vizinhança é identificado, para cada octante em

redor duma determinada sonda, o vizinho cuja distância horizontal a esta seja menor.

2.3. Critérios de representatividade

O SUDABAT pondera para supressão todas as sondas do *dataset*, percorrendo sequencialmente todos os *tiles*. Uma sonda que esteja a ser considerada para remoção denomina-se doravante por *pivot*. Para se decidir se uma sonda é ou não representativa, esta é analisada em conjunto com os seus vizinhos mais próximos. Cada *pivot* pode ter até 8 vizinhos mais próximos uma vez que poderão existir octantes nos quais não seja identificado nenhum vizinho.

O SUDABAT define triângulos, denominados por *P-triangles*, em que um dos vértices é o *pivot* e os outros são dois dos seus vizinhos mais próximos, contidos em octantes consecutivos. Efetuando esta triangulação em redor do *pivot*, torna-se possível, através da comparação dos declives dos diversos *P-triangles*, obter um indicador da representatividade desta sonda e do seu contributo na modelação do fundo, pressupondo a aplicação dum TIN. Nesse sentido, é calculada a normal normalizada de todos os *P-triangles*, assim como a sua soma vetorial normalizada, doravante denominada por *Averaged Normal*. A normal normalizada de cada *P-triangle* é então comparada com a *Averaged Normal*, determinando-se as respetivas diferenças angulares. As diferenças determinadas são depois comparadas com um parâmetro definido pelo utilizador, o *Suppression Level (SL)*. Caso as diferenças calculadas sejam, na sua totalidade, menores que o *SL*, o *pivot* pode ser removido. Caso contrário, a sonda é considerada representativa, bastando para isso uma das diferenças angulares ser maior que o *SL*. Este parâmetro pode variar entre 0° e 90°. Os 0° correspondem a uma supressão de sondas mínima em que, para um *pivot* ser removido, todas as normais dos *P-triangles* têm de coincidir com a *Averaged Normal*. Os 90° correspondem ao máximo de supressão possível, *i.e.* independentemente da diferença angular entre as normais dos *P-triangles* e da *Averaged Normal*, o *pivot* pode sempre ser removido.

No entanto, o critério de supressão descrito não é o único. Para um *pivot* poder ser removido, para além de terem de ser cumpridas as condições já mencionadas, este não poderá fazer parte do conjunto de sondas que delimitam o *dataset* nem ser a única sonda da célula a que pertence. Desta forma, garante-se a continuidade espacial dos dados de saída do SUDABAT, garantindo que existe, no mínimo, uma sonda em cada célula da malha aplicada sobre cada *tile*.

3. ANÁLISE DE DESEMPENHO

Para a análise de desempenho foi utilizado um computador com um processador 2.5GHz Intel Core 2 Duo T9300 e memória 3GB DDR2 667MHz.

Foram utilizados 6 conjuntos de dados com características diferentes, classificados de acordo com a sua irregularidade nas seguintes categorias: *planos*, *intermédios* e *irregulares*. Cada um foi suprimido com os seguintes valores de *Suppression Level (SL)*: 5°, 10°, 15°, 20°, 25°, 30°, 35° e 40°. Para todos os níveis de supressão supracitados foram utilizados os valores de *Max Distance* = 1000m, *Depth Tolerance* = 100m e *High Water Mark* = 10000. De seguida, recorrendo ao software ESRI® ArcScene™ 9.3, foram gerados TIN's com base nos subconjuntos representativos identificados pela aplicação, denominados por superfícies degradadas, assim como a partir da totalidade dos conjuntos de dados originais, denominados por superfícies de referência. Assim, cada superfície de referência terá a si associadas oito superfícies degradadas. O facto de os vértices da rede triangular dum TIN poderem ser posicionados de forma irregular sobre uma superfície, possibilitando que a resolução do modelo seja superior em áreas de maior complexidade e inferior em áreas mais planas faz com que seja uma modelação adequada aos conjuntos de dados obtidos através do SUDABAT, desenhado para preservar uma maior quantidade de sondas em zonas cuja complexidade geomorfológica seja superior.

Para aferir a qualidade da supressão efetuada pelo SUDABAT, confrontaram-se as superfícies geradas, com os respetivos *datasets* originais, tidos como valores de referência. Para esse efeito, recorreu-se à ferramenta *Surface Spot* da extensão *3D Analyst* do software ESRI® ArcScene™ 9.3 para interpolar, a partir de uma das referidas superfícies, o valor da coordenada z das sondas contidas no respetivo *dataset* original. Posteriormente, o cálculo da diferença entre os valores interpolados e os respetivos valores originais permitiu a determinação do resíduo (*d*) associado a cada uma das sondas iniciais. Desta forma, apresentou-se a exatidão de cada uma das superfícies geradas face aos dados iniciais recorrendo-se ao cálculo da respetiva raiz quadrada do erro médio quadrático (*Root Mean Square Error [RMSE]*):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N d_i^2}{N}} \quad (1)$$

N – nº sondas do conjunto de dados original

Para avaliar o impacto da taxa de supressão (*AS*) no aumento de performance (*P*) na geração de TIN's, comparou-se o tempo de geração das diversas superfícies degradadas com o tempo de geração da superfície de referência:

$$AS = \frac{n^{\circ} \text{sondas suprimidas}}{N} \quad (2)$$

$$P = \frac{T_{\text{superfície referência}}}{T_{\text{superfície degradada}}} \quad (3)$$

4. RESULTADOS

A confrontação visual das superfícies degradadas com as respetivas superfícies de referência não permitiu detetar diferenças significativas entre estas. A título de exemplo, por inspeção visual da figura 1, facilmente se verifica que o aspeto geral da superfície se mantém, mesmo após uma supressão superior a 90% dos dados.

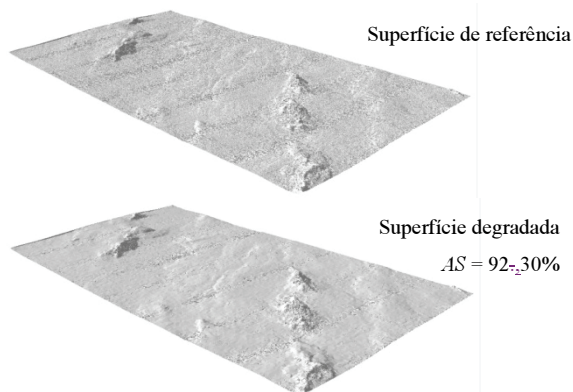


Fig. 1. – Superfície de referência vs Superfície degradada (dataset plano, SL = 40°)

O RMSE é um parâmetro que espelha a exatidão batimétrica de cada uma das superfícies degradadas. Inspeccionando o gráfico da figura 2, torna-se facilmente discernível que o RMSE aumenta com o aumento do AS. Para além disso, torna-se também evidente o diferente comportamento do RMSE em relação à taxa de supressão, para os conjuntos de dados planos, intermédios e irregulares, sendo o seu crescimento tanto menor quanto menor for a complexidade de um determinado conjunto de dados, uma vez que são os datasets planos que apresentam um maior potencial de supressão.

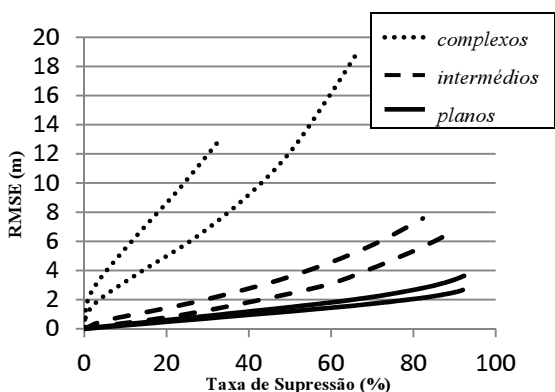


Fig. 2. RMSE vs Taxa de Supressão.

Como esperado, o aumento de performance conseguido na geração dos TIN's das superfícies degradadas face às superfícies de referência, depende fortemente dos respetivos valores de AS. Por observação do gráfico da figura 3, torna-se evidente que o aumento de performance é tanto maior quanto maior for o respetivo AS, o que se verifica nos datasets menos complexos.

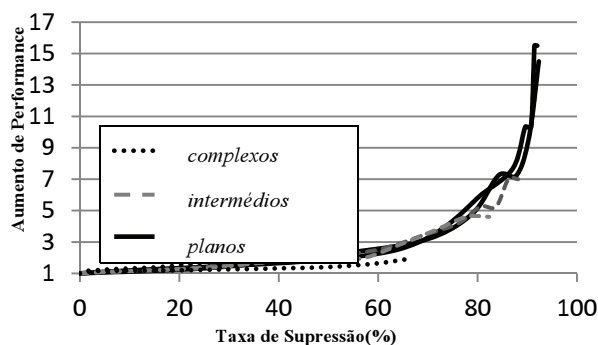


Fig. 3. Aumento de Performance vs Taxa de Supressão.

5. CONCLUSÕES

Com o SUDABAT, tornou-se possível efetuar a supressão dos dados com qualidade suficiente para gerar modelos de elevada exatidão, a partir de um subconjunto muito reduzido da totalidade das sondas iniciais. Para conjuntos de dados maioritariamente planos, é possível efetuar a sua modelação com menos de 10% dos mesmos, com erros associados inferiores a 3m (em profundidades superiores a 1 000m). Para além disso, a sua modelação torna-se muito mais rápida, tendo-se registado aumentos de performance na geração de TIN's em mais de 15 vezes. Este resultado sugere que o aumento de performance seja extensivo a outras ferramentas de pós-processamento, facilitando o processo de construção de conhecimento, essencial à prossecução dos objetivos da investigação científica.

REFERÊNCIAS

Cândido, R. (2011). Metodologia de supressão de dados batimétricos (tese de mestrado), Escola Naval, Almada, Portugal.

Forbes, S., Burke, R., e Varma, H. (2003). Designing and Building a CHS Bathymetric Data Warehouse. Retirado em 21 de Março de 2010 de http://www.mar.dfo-mpo.gc.ca/science/review/1996/Forbes/Forbes_e.html.

Guenther, G., Eisler, T., Riley, J., e Perez, S. (1996). Obstruction Detection and Data Decimation for Airborne Laser Hydrography. *Proceedings of Canadian Hydrographic Conference 1996*, Halifax, Canadá, 51-63.

Kragovi, M., e Tartalja, I. (1999). An Approach to Surface Data Set Reduction. *U.S. Hydrographic Conference 1999*, Mobile, AL, Estados Unidos da América. Retirado em 12 de Setembro de 2010 de http://www.thsoa.org/hy99/A_9.pdf.

Varma, H., Boudreau, H., e Prime, W. (1990). A Data Structure for Spatio-Temporal Databases. *International Hydrographic Review*, LXVII(1), 71-92.

Multibeam Data Processing Using CUBE surfaces for Nautical Cartography and Dredged Measurements

J. Vicente (1), R. Silva (2), L. Veiga (2) e C. Monteiro (2)

(1) Instituto Hidrográfico, delgado.vicente@hidrografico.pt

Resume: The evolution of acoustic sounders imposed on Hydrographic Services new methodologies for interpretation, handling and application of hydrographic information. Considering spatial resolution and high density data acquired by multibeam echosounders (MBES), algorithms such as Combined Uncertainty Bathymetry Estimator (CUBE) are used in the processing workflow to generate depths and uncertainty estimates. Can bathymetric surfaces be considered the final survey product in exchange of the traditional shoals selection? IHPT conducted hydrographic surveys in order to evaluate CUBE processing for nautical cartography and for dredged volume calculation. Shoals validated by hydrographer were compared with CUBE estimated depths and produced a new processing workflow. This paper shows two fundamental conclusions: (1) Depths estimated by CUBE combined with designated soundings ensure the requirements of safe navigation and (2) For dredged volume calculations, the use of CUBE is a solution less sensitive to resolution issues, subjectivity and surveyor conservatism.

Keywords: Hydrographic survey, Bathymetric models, CUBE, Multibeam echosounders

1. INTRODUCTION

In traditional processing, soundings are validated by the hydrographer using filters and interactive tools associated to data processing applications. This is a time-consuming process based on conservative and subjective judgment, in which relevance is given to minimum soundings and creating a “safety of navigation bias”. Bathymetric modeling is used as a tool for data cleaning and quality control allowing the identification of blunders and automatic rejection of outliers. The final result is a discrete subset of shoal soundings extracted from the validated soundings dataset in order to create a manageable and storable product that represents the uncertainty as a regional non-discriminatory model.

2. PROPOSED PROCESSING WORKFLOW

In this concept bathymetric modeling assumes a

leading role in data processing and as the final stage of the process where the surface represents the final survey product. The workflow (Vicente, 2011) illustrates the phases of this process, where the bathymetric surface is repeatedly rebuilt (Figure 1). The proposed hydrographic data processing workflow is intended to be the most efficient approach for the creation of cartographic base products. Nevertheless, in exceptional cases where bathymetric modeling does not guarantee the requirements for nautical cartography, the responsibility to designate specific minimum soundings or other relevant structures for safety of navigation still rests on the hydrographer.

3. CASE STUDIES METHODOLOGY

For the two case studies the following standards and applications were used:

- Software: CARIS-HIPS 7.1 (CARIS, 2011);

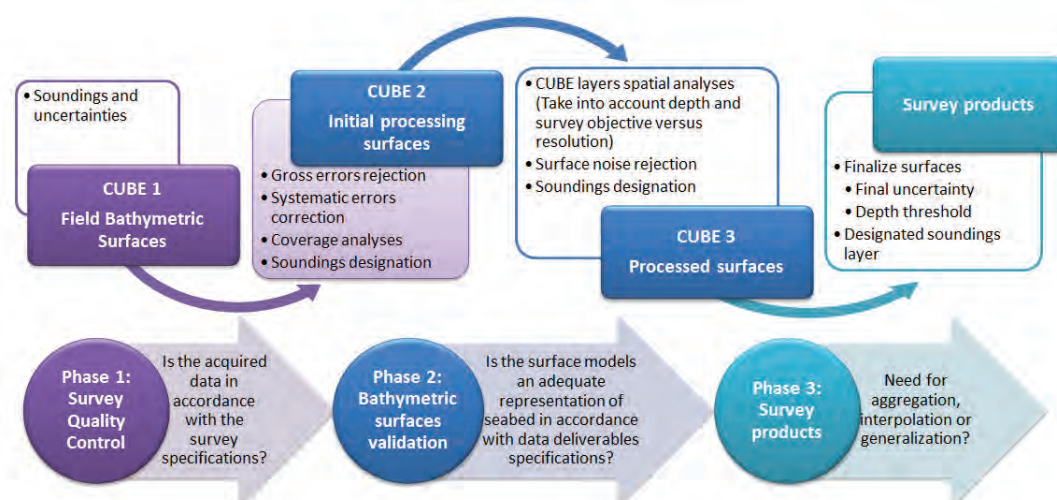


Figure 1- Proposed hydrographic data processing workflow

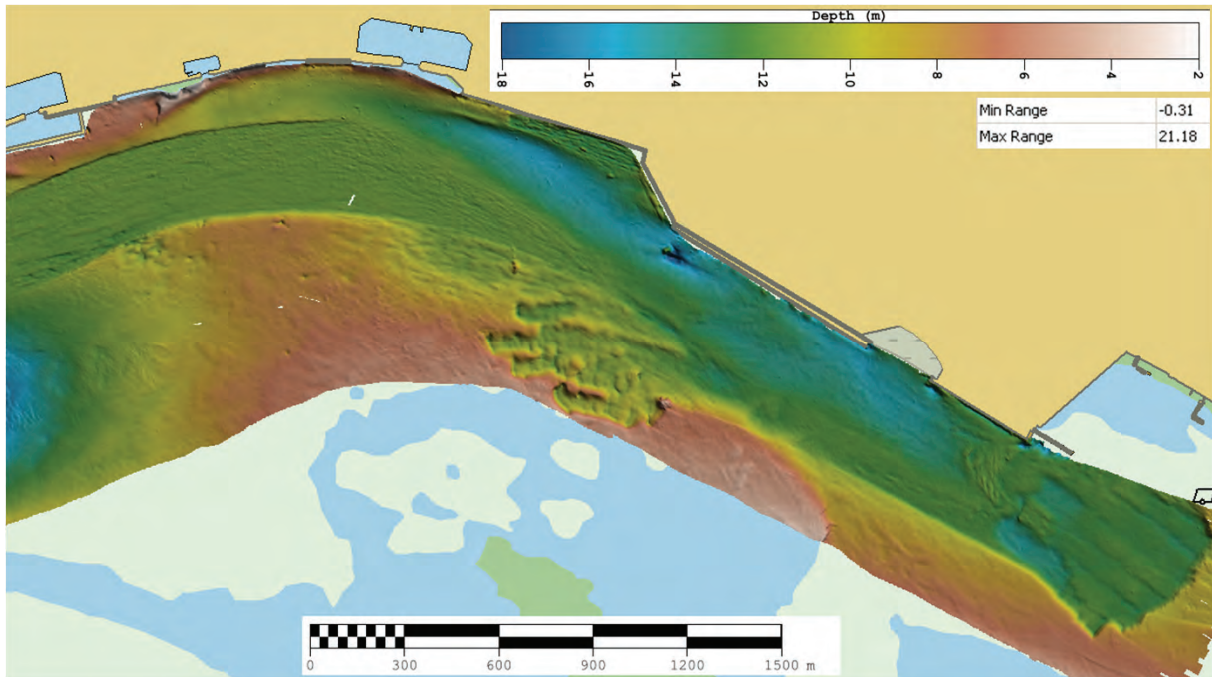


Figure 2 - Setubal harbor surveyed area (depth layer)

- Hydrographic survey uncertainties in accordance with Special Order requirements (IHO, 2008);
- Hydrographic data grids in accordance with NOAA (2011) specifications and deliverables, namely, the bathymetric models (BM) of Object Detection Coverage (ODCBM) and Complete Multibeam Coverage (CMCBM);
- CUBE parameters as defined by NOAA (2011);
- Final uncertainty presented on final bathymetric models as defined by NOAA (2011);
- Designated soundings not included on the gridded data set.

Surface	Resolution (m)	Shoal's comparisons	Average (m)	Standard Deviation (m)	Inside Special Order (%)	Inside Order 1 (%)
Object Detection	0.5	322717	-0.08	0.04	99.78	99.98
Complete Coverage	1	322801	-0.09	0.04	99.68	99.96

Figure 3 - Comparisons between CUBE depths and traditional shoals

Surface	Resolution (m)	Designated Soundings	Average (m)	Standard Deviation (m)	Inside Special Order (%)	Inside Order 1 (%)
Object Detection	0.5	93	-0.25	0.48	77.42	90.32
Complete Coverage	1	93	-0.35	0.52	66.67	83.87

Figure 4 - Comparisons between CUBE depths and Designated Soundings

4. CASE 1: NAUTICAL CARTOGRAPHY

In April 2011 a Special Order survey was carried out at Setubal harbor North Channel (Portugal). This area (Figure 2) is mainly flat, however contains several port constructions, some rocky outcrops and countless small scale objects (about 1 m²). In order to evaluate CUBE processing for the purpose of nautical cartography, shoals soundings validated by the hydrographer were compared with those depths estimated by CUBE. Both, ODCBM (0.5 m resolution) and CMCBM (1 m) bathymetric models were generated.

Comparison between depths estimated by CUBE and shoals validated by hydrographer shows that the average difference is less than half of maximum Total Vertical Uncertainty (TVU) allowed for special order and cases with differences greater than the maximum TVU allowed occur predominantly in irregular areas, and more in CMCBM (Figure 3). In presence of small objects the relevance of designated soundings was demonstrated (Figure 4).

On an irregular seafloor several cases were found where the difference between CUBE depths and shoals validated by hydrographer were greater than the maximum TVU allowed:

- On steep areas, soundings do not have a normal distribution;
- 2D and 3D visualization limitations hamper data analysis on traditional processing.

Except in areas of steep slopes (Figure 5), differences between traditional shoals and CUBE estimated depths are less than half of the vertical uncertainty required by IHO (Special Order). CUBE capabilities overall minimizes inherent subjectivity in traditional processing, reducing processing time up to 33% on an irregular seafloor and about 67% on regular seafloor.

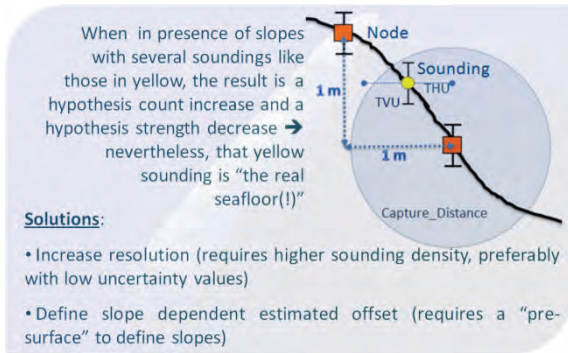


Figure 5 - CUBE behavior in slopes

5. CASE 2: DREDGED VOLUME

The Alfeite Channel, Lisbon was used for the volume comparisons, because this area (3.2 square kilometers) is regular surveyed. In this case, two surveys was conducted, first was done one day after dredging operations (inconsistent and irregular seafloor) and, second, one month after dredging operations (consistent seafloor). For this case study pre and post dredging surveys were performed under the same conditions, with the same equipment configuration and meeting the minimum requirements for Special Order surveys.

Bathymetric models were built for initial and final hydrographic situations (pre and post dredging). From these bathymetric models difference surfaces were generated and dredged volume were computed using the triangular irregular network “shoals” model and different stages of CUBE surfaces (CUBE 2 and CUBE 3) processing.

Three main findings can be concluded from the comparisons (Figures 6 to 9):

- When making use of the CUBE models the dredged volume is almost independent of the adopted resolution;
- Furthermore the results also show that it is almost indifferent to use CUBE 2 or CUBE 3;
- Using shoals, consistent dredged volume differences are achieved only in higher resolution TIN models.

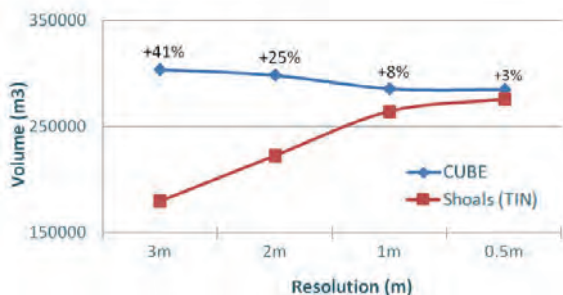


Figure 6 - One day after dredging volumes (Differences between CUBE and TIN models in percentage)

Dredged Volume (m ³)				
	CUBE 2	CUBE 3	Shoals (TIN)	
Resolution	3m	303650	303757	179793
2m	298317	298104	222512	
1m	285612	285875	264174	
0.5m	284641	285171	275627	

Figure 7 - One day after dredging volumes

However, to assess whether the dredging quotas were met it is recommended to use the highest resolution thus having a lower attenuation of the observed maximums.

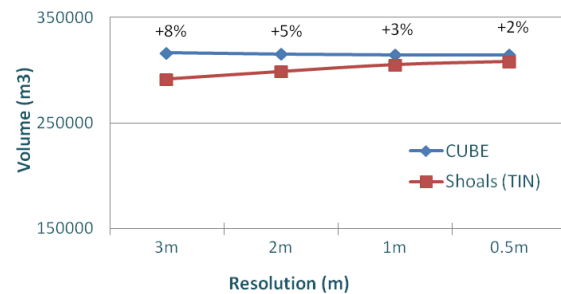


Figure 8 - One month after dredging volumes (Differences between CUBE and TIN models in percentage)

Dredged Volume (m ³)				
	CUBE 2	CUBE 3	Shoals (TIN)	
Resolution	3m	316456	316238	291424
2m	314990	314937	298544	
1m	314165	314255	305044	
0.5m	314144	314283	307972	

Figure 9 - One month after dredging volumes

6. CONCLUSIONS

CUBE is an algorithm for processing hydrographic data also used in the modeling of bathymetric surfaces. The results of this study indicate that it is possible to use bathymetric surfaces for various purposes, including those related to Nautical Cartography and Dredged Volumes Calculation, with several advantages:

- More efficient quality control and standardization of processing criteria;
- One final product (CUBE surfaces and Designated Soundings) can be used in several applications;
- Easy integration and comparison with other surveys;
- Decrease in processing time (66% in regular seafloor and 33% in irregular seafloor).

REFERENCES

Calder, B. and Wells, D. (2007). *CUBE User's Manual*, University of New Hampshire.

CARIS (2011). *HIPS and SIPS 7.1 - User Guide*.

IHO (2008). *S-44 IHO Standards for Hydrographic Surveys*, 5^a Ed.

NOAA (2011). *NOS Hydrographic Surveys Specifications and Deliverables*, National Oceanic and Atmospheric Administration, Office of Coast Survey, April 2011.

Vicente, J. (2011). *Modelação de dados batimétricos com estimação de incerteza*, Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, 2011.

Modelação de dados batimétricos da Zona Piloto - ENONDAS

J. Vicente (1), P. Sanches (2) e C. Monteiro (2)

(1) Instituto Hidrográfico, delgado.vicente@hidrografico.pt

Resumo: Entre Maio e Julho de 2011, o Instituto Hidrográfico (IH) realizou um levantamento hidrográfico (LH) numa área costeira adjacente a S. Pedro de Moel. Este LH, integrado num estudo de caracterização geofísica de uma área de 310 km² designada como Zona Piloto, foi efetuado no âmbito do contrato de prestação de serviços assinado entre o IH e a ENONDAS, Energia das Ondas S.A. O LH foi realizado com dois sistemas sondadores multifeixe (SMF) e levou à aquisição de cerca de 1,8 mil milhões de sondas, situação que, tendo em consideração os estudos em curso no IH e o volume de dados adquiridos, promoveu uma nova metodologia no processamento de dados. Como resultado os produtos finais do LH foram um conjunto de modelos batimétricos em substituição da tradicional seleção de sondas mínimas. Este trabalho pretende ilustrar o processamento de dados efetuado e documenta os modelos batimétricos gerados, demonstrando a mais-valia deste novo tipo de informação batimétrica.

Palavras chave: ENONDAS (Zona piloto), Modelos batimétricos, CUBE, Sondadores multifeixe

1. INTRODUÇÃO

Em 2011, o Instituto Hidrográfico (IH) efetuou um levantamento hidrográfico (LH) numa área costeira adjacente a S. Pedro de Moel. Este LH, integrado num estudo de caracterização geofísica de uma área de 310 km² designada como Zona Piloto (ZP), foi efetuado no âmbito do contrato de prestação de serviços assinado entre o IH e a ENONDAS, Energia das Ondas S.A.

O LH de Ordem 1a (OHI, 2008) ilustrado na Figura 1 foi realizado na ZP e em três faixas de aproximação a terra, com uma largura de cerca de 500 m cada, denominadas de “corredores”. O LH levou à aquisição de cerca de 1,8 mil milhões de sondas (Figura 2), situação que, tendo em consideração os estudos em curso no IH e o volume de dados adquiridos, promoveu uma nova metodologia no processamento de dados (Vicente,

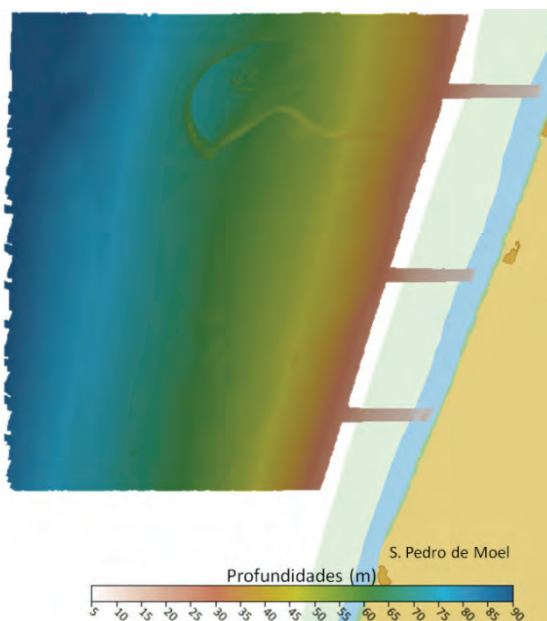


Figura 2 – Enquadramento geográfico do LH

2011) através da utilização do algoritmo *Combined Uncertainty and Bathymetric Estimator* (CUBE) desenvolvido em Calder e Wells (2007). Pela primeira vez, no IH, os produtos finais do LH foram um conjunto de modelos batimétricos (MB) em substituição da tradicional seleção de sondas mínimas.

2. EXECUÇÃO DO LH

O LH da ZP foi efetuado pelo NRP “Alm. Gago Coutinho” equipado com o sistema SMF EM710 (KONGSBERG, 2011a), a operar na banda de frequências de 70 a 100 kHz. O LH dos corredores foi efetuado a bordo da embarcação UAM “Atlanta” equipada com o SMF EM3002 (KONGSBERG, 2011a) a operar na frequência de 300 kHz. Em ambos os sistemas SMF foi utilizado o modo de formação de feixes de alta densidade que permite adquirir 200 sondas por impulso transmitido no caso do EM710 e 254 sondas por impulso no EM3002. Foi ainda utilizada a capacidade de *dual-swath* do EM 710, ou seja, a possibilidade de o sistema efetuar o seguimento de dois impulsos em simultâneo fazendo uso da sua maior largura de banda.

Brigada Hidrográfica	
Dias de sondagem efetiva	5
Tempo efetivo de sondagem (HH:MM)	25:02
Tempo total de sondagem (HH:MM)	27:30
Tempo total de navegação (HH:MM)	49:30
Distância percorrida sobre perfis (km)	197
Sondas adquiridas	234389969
NRP “Almirante Gago Coutinho”	
Dias de sondagem efetiva	16
Tempo efetivo de sondagem (HH:MM)	227:15
Tempo total de sondagem (HH:MM)	300:30
Tempo total de navegação (HH:MM)	543:00
Distância percorrida sobre perfis (km)	1357
Sondas adquiridas	1590217000

Figura 1 – Dados do LH



Figura 3 – Fluxograma de processamento de dados

O posicionamento e atitude dos meios de sondagem foram assegurados por unidades SEAPATH 200 (KONGSBERG, 2011b). Estas permitem a integração dos dados de atitude fornecidos por um sensor inercial com os dados de posicionamento recolhidos por dois recetores *Global Positioning System* (GPS) e dados diferenciais de uma estação de referência *Differential Global Positioning System* (DGPS). O SEAPATH calcula e envia para a unidade de processamento do SMF a posição, a atitude e a arfagem, referidos ao centro de gravidade do meio de sondagem.

Foram utilizados velocímetros em ambos os sistemas SMF para a medição da velocidade de propagação do som (VPS) à profundidade de imersão do transdutor e ao longo da coluna de água. A aquisição, controlo e gravação dos dados foi efetuada através da aplicação *Seafloor Information System* (KONGSBERG, 2011a).

A informação hidrográfica foi adquirida em coordenadas geográficas referidas ao datum WGS84, tendo sido utilizado o sistema de projeção UTM (fuso 29) para efeitos de representação gráfica.

3. PROCESSAMENTO DOS DADOS

No processamento dos dados hidrográficos foi utilizada a aplicação HIPS v.7.1. (CARIS, 2011). De modo a obter MB consistentes com as especificações e objetivos do LH o processamento de dados envolveu as três fases ilustradas na Figura 3 desenvolvidas em Vicente (2011).

3.1. Controlo de qualidade

O controlo de qualidade foi executado em diversas etapas das quais se referem as mais relevantes:

- Rejeição dos dados afetados de erros grosseiros, como por exemplo, perdas de seguimento do fundo ou deteções na coluna de água;
- Correções de variação de calado;
- Redução de maré a partir de uma regressão linear entre as marés observadas na Nazaré e o modelo MITIC (Quaresma e Pichon, 2011);
- Análise de cobertura, ou seja, identificação de eventuais falhas de cobertura que tivessem comprometido os requisitos do LH;

- Análise de integridade das medições através da comparação das sondas reduzidas das fiadas de verificação com MB elaborados com a informação das fiadas principais de sondagem:
 - EM3002: comparadas 3 751 374 sondas encontrando-se 99% na tolerância definida para LH de Ordem 1a;
 - EM710: comparadas 153 679 907 sondas encontrando-se 99,9% na tolerância definida para LH de Ordem 1a.

As incertezas, horizontal e verticais, foram determinadas para cada sonda reduzida de acordo com CARIS (2011a). A modelação das incertezas recorre a um modelo preditivo implementado no HIPS que segue as recomendações da OHI (2008).

3.2. Validação dos modelos batimétricos

Sendo a resolução espacial função da profundidade, foi necessário elaborar diversos MB de modo a adaptar a resolução dos modelos à gama de profundidades sondada (Figura 4).

Intervalo de Profundidade (m)	Resolução (m)	Distância de Captura (m)
0 – 25	1	0,71
24 – 51	2	1,42
49 - 100	4	2,84

Figura 4 - Modelos batimétricos gerados

Na modelação batimétrica foi utilizada a implementação do CUBE associada ao HIPS no modo de desambiguação das hipóteses *density and local* e de acordo com os parâmetros definidos pela NOAA (2011):

- *Estimate Offset*: 4,0
- *Capture Distance Scale*: 0,5
- *Capture Distance Minimum*: Figura 4
- *Horizontal Error Scalar*: 1,96

Na validação dos MB foi efetuada uma análise espacial de todas as camadas de informação associadas aos MB (densidade de sondas por nodo, confiança na estimação das profundidades, incerteza da estimação e desvio padrão das sondas que contribuíram para cada estimação nodal).

Utilizando a visualização por perfis e por áreas, foram identificadas e designadas sondas mínimas representativas de objetos e de estruturas relevantes,

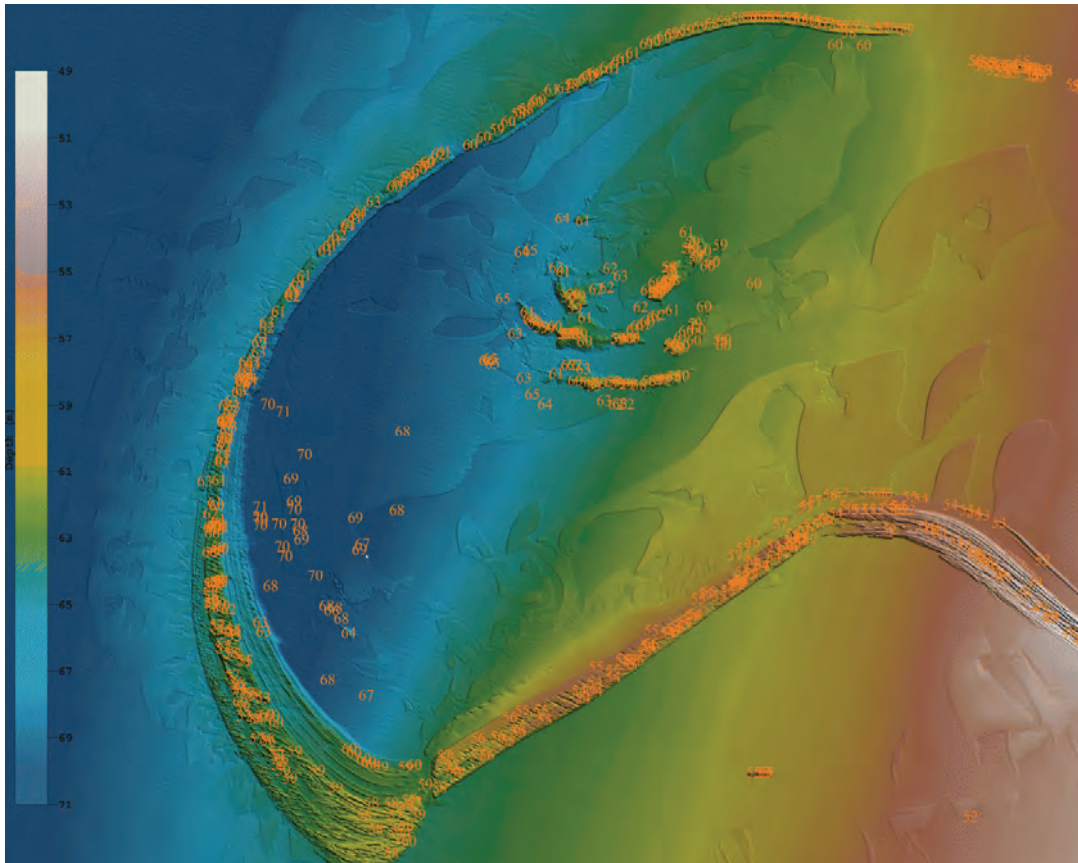


Figura 5 - Sondas designadas (números a laranja) sobre a dobra

num total de 1 161, a maioria das quais localizadas na dobra ilustrada na Figura 5.

Foram rejeitadas as sondas que produziam valores anómalos ou ruído nos MB gerados. Como principais fontes de valores anómalos foram identificadas deteções na coluna de água (devidas provavelmente a cardumes). Como principais fontes de ruído nos MB foram identificadas:

- Agitação marítima que afetou os dados batimétricos recolhidos pela “Atlanta” na área mais próxima de costa, área sensível ao empolamento da ondulação (Figuras 6 e 7);
- Variação temporal da VPS ao longo da coluna de água, nomeadamente a variabilidade da extensão da camada de mistura superficial.

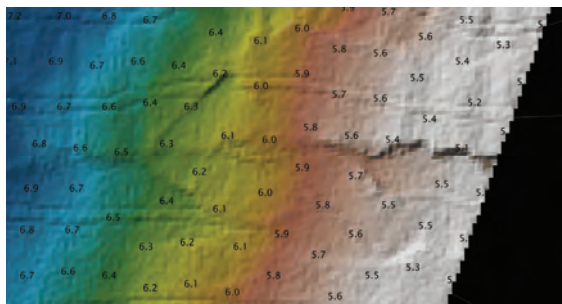


Figura 6 – Ruído presente nos MB devido à agitação marítima

As situações descritas causaram nos MB diferenças na ordem dos 10 a 20 cm na estimação das profundidades de nodos localizados na fronteira entre faixas sondadas adjacentes, não

comprometendo os requisitos de máxima incerteza admissível para os LH de Ordem 1a.

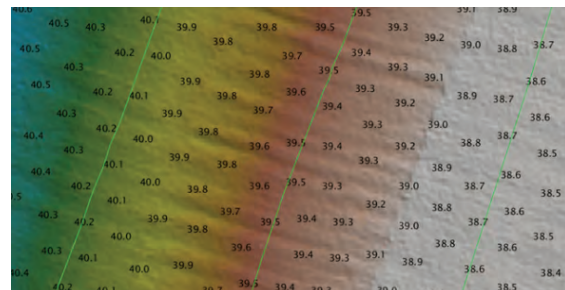


Figura 7 - Ruído presente nos MB devido à variação espacial e temporal da VPS ao longo da coluna de água

3.3. Elaboração dos produtos finais do LH

Face à dimensão e características da área sondada, a partir dos MB validados foram elaborados sete MB finais cujas características são ilustradas na Figura 8.

Designação	Intervalo de profundidade (m)	Resolução (m)
corredor-norte-1m	0 – 25	1
corredor-central-1m	0 – 25	1
corredor-sul-1m	0 – 25	1
ren-25-50m-2m-norte	24 – 51	2
ren-25-50m-2m-sul	24 – 51	2
ren-50-100m-4m	49 – 100	4

Figura 8 - Características dos produtos finais (MB)

A partir dos MB enunciados na Figura 8 foram ainda gerados os seguintes ficheiros em suporte digital:

- Ficheiros em formato ASCII: *Easting Northing Depth Uncertainty*;
- MB em formato BAG (ONSWG, 2006) com as camadas de informação *Depth* e *Uncertainty*.

A camada de informação *Depth* corresponde à profundidade estimada pelo CUBE. A camada de informação *Uncertainty* representa a incerteza vertical associada à estimação de profundidade em cada nodo, sendo selecionado o maior valor entre:

- Incerteza da estimação de profundidade determinada pelo CUBE a partir dos valores de incerteza incluídos no modelo de estimação;
- Desvio padrão das sondas contribuintes para o valor estimado de profundidade nodal, propagado a um nível de confiança de 95%.

A informação das sondas designadas pelo hidrógrafo foi, igualmente, exportada para ficheiros ASCII.

MB	corredor-norte-1m	corredor-central-1m	corredor-sul-1m	ren-25-50m-2m-norte	ren-25-50m-2m-sul	ren-50-100m-4m
N.º de nodos existente no MB	1 958 426	1 716 709	1 914 004	11 460 762	9 008 548	14 281 103
Nodos povoados	1 958 333 (100%)	1 715 350 (99.92%)	1 913 881 (99.99%)	11 456 725 (99.96%)	9 007 361 (99.99%)	14 279 946 (99.99%)
N.º de holidays detetados	12	56	15	224	109	70
N.º de nodos considerados	1 958 333	1 715 350	1 913 881	11 456 725	9 007 361	14 279 946
Nodos dentro tolerância Ordem 1a	1 958 333 (100%)	1 715 346 (100%)	1 913 881 (100%)	11 455 790 (99.99%)	9 007 332 (100%)	14 278 646 (99.99%)
Média Residual (m)	-0,340	-0,340	-0,341	-0,367	-0,370	-0,564

Figura 9 – Controlo de Qualidade das superfícies finais

5. REPRESENTAÇÃO CARTOGRÁFICA

Os MB gerados com a metodologia descrita foram utilizados na construção da 1ª edição da carta 24P02 da série de Pesca e na atualização da 3ª edição da carta náutica 24202 da série Aproximação a 1:150000. Foi utilizado o CARIS GIS (CARIS, 2011b) e os procedimentos tradicionais de processamento para representação cartográfica, isto é, construção de um conjunto de Modelos Digitais de Terreno (MDT), usando uma *Triangulation Irregular Network* (TIN) correspondente a vários níveis de generalização – valores de profundidade intervalados de 8, 10 e 20 metros, para construção das isóbatas. Dos 17 milhões de valores de profundidade dos MB finais foram usados 16 714 para o processamento cartográfico, dos quais foram selecionados 11 para representação cartográfica.

6. CONCLUSÕES

O processamento de dados hidrográficos descrito neste trabalho constitui uma inovação em Portugal. Pela primeira vez foram gerados produtos finais que podem ser utilizados nas mais diversas aplicações, quer em suporte ao estudo solicitado pela ENONDAS quer para atualização cartográfica, tendo-se identificado, neste caso, a necessidade face ao volume de dados, da utilização de outras aplicações para processamento dos MB para representação cartográfica.

O uso do CUBE apresenta diversas vantagens, promovendo um controlo de qualidade mais eficiente (uniformização dos critérios inerentes ao processamento de dados batimétricos), uma maior facilidade de integração com outras camadas de

4. CONTROLO DE QUALIDADE DOS MB

Foi utilizada a aplicação BASE QCReport (CARIS, 2011a) que permite obter informação estatística sobre os MB (número de nodos sem informação e a percentagem de nodos com incerteza menor que a máxima incerteza vertical requerida pela Ordem do LH). Foram selecionados os seguintes parâmetros (Vicente, 2011):

- Critérios para a definição de *holidays* (conjunto de nodos adjacentes sem informação):
 - Raio de busca: 1;
 - N.º mínimo de nodos povoados: 6;
- Valor de incerteza utilizado: maior valor entre a incerteza estimada ou o desvio padrão a 95% de nível de confiança.

A Figura 9 ilustra os resultados obtidos dos quais se destaca a conformidade dos MB com as especificações para LH de Ordem 1a.

informação e uma diminuição muito relevante do tempo de processamento (cerca de 65%). Por fim, a camada de informação de incerteza representada é, atualmente, a única resposta quantitativa que garante o cumprimento das especificações de um LH.

REFERÊNCIAS

- Calder, B. and Wells, D. (2007). *CUBE User's Manual*, University of New Hampshire.
- CARIS (2011a): *HIPS and SIPS 7.1 - User Guide*.
- CARIS (2011b). *CARIS GIS 4.5 - User Guide*.
- KONGSBERG (2011a). *The Hydrographic Product Family*, Kongsberg Maritime AS.
- KONGSBERG (2011b). *The Seapath Family*, Kongsberg Maritime AS.
- OHI (2008). *S-44 IHO Standards for Hydrographic Surveys*, 5ª Ed.
- NOAA (2011). *NOS Hydrographic Surveys Specifications and Deliverables*, National Oceanic and Atmospheric Administration, Office of Coast Survey.
- ONSWG (2006). *Description of Bathymetric Attributed Grid Object (BAG), Version 1.0.0*, Open Navigation Surface Working Group.
- Quaresma, L.S. e Pichon, A. (2011). Modelling the barotropic tide along the West-Iberian margin., *Journal of Marine Systems*.
- Vicente (2011). *Modelação de dados batimétricos com estimação de incerteza*, Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, 2011.

A Marinha no Ensino da Hidrografia e Oceanografia

Z. Cardoso(1), P. Marreiros(1), J. Aguiar(1) e L. Gonçalves(1)

(1) Instituto Hidrográfico – Rua das Trinas, 49, 1249-093 Lisboa, (zelia.cardoso@hidrografico.pt)

Resumo: Na Marinha é fundamental dispor da informação necessária à realização de operações navais em ambientes marítimos e costeiros, adversos à atividade humana e de complexidade distinta, mas que constituem parte do nosso território, tradição histórica e potencial fonte de recursos de elevado valor económico. Conhecer o Mar constitui um desafio técnico, num ajustamento constante face aos desenvolvimentos tecnológicos e de aperfeiçoamento dos métodos visando corresponder às necessidades de Portugal no contexto mundial.

A Hidrografia existe e é praticada na Marinha desde a época dos Descobrimentos. A denominada Escola de Sagres representava na época um centro de conhecimento e de investigação visando a aplicação no conhecimento do Mar e no desenvolvimento dos métodos de navegação. Na atualidade a formação em Hidrografia persiste focada nos mesmos objetivos, com novos métodos e outras exigências face aos desenvolvimentos tecnológicos.

A Marinha ministra o ensino da Hidrografia, através da Escola de Hidrografia e Oceanografia (EHO), adstrita ao Instituto Hidrográfico, cuja formação é reconhecida internacionalmente pela FIG-IHO-ICA (FIG - Federação Internacional de Geómetras, IHO – Organização Hidrográfica Internacional, ICA – Associação Cartográfica Internacional), no âmbito do *International Board on Standard of Competence for Hydrographic Surveyors and Nautical Cartographers* (IBSC). Neste artigo são descritos os antecedentes que estão na origem da EHO, o conteúdo programático de cada curso e a caracterização dos formados que já frequentaram a EHO.

Palavras chave: Formação especializada, hidrografia, Escola

1. INTRODUÇÃO

Conforme, consta no Manual de Hidrografia, a definição de Hidrografia da OHI é a seguinte: “*ramo das ciências aplicadas, que trata da medição e descrição das características das marés e áreas costeiras, tendo como objetivo principal a navegação e todas as outras finalidades e atividades marítimas, incluindo, entre outras, atividades costeiras e oceânicas, de investigação, proteção do ambiente, e serviços de previsão.*” (OHI Pub. S-32)

A importância do ensino da hidrografia e oceanografia para Portugal resulta da nossa ligação geográfica e histórica ao mar. Portugal é o País da Europa com a maior Zona Económica Exclusiva (ZEE) no Oceano Atlântico e tem uma área de soberania marítima que corresponde aproximadamente a 18,7 vezes a área terrestre nacional.

Parceira incontornável em todas as atividades relacionadas com o Mar, a Marinha sempre investiu na formação dos recursos humanos. Nesse sentido instituiu o ensino da Hidrografia como uma das suas vertentes da formação especializada, com a atual Escola de Hidrografia e Oceanografia (EHO), agregada ao Instituto Hidrográfico. Esta Escola, herdeira de uma tradição centenária, está em permanente atualização, sendo o seu regime de ensino e programas certificados e reconhecidos internacionalmente.

Uma escola com mais de 33 anos tem assegurado os quadros necessários à Marinha, mas também estendeu os seus serviços à comunidade

internacional, militar e civil, sendo possível encontrar os seus *alumni* espalhados pelo mundo.

2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Existe uma relação direta entre a aventura dos navegadores dos Descobrimentos e o desenvolvimento das ciências relacionadas com o Mar. Os nossos dirigentes da época seguiram o critério de começar pelo estudo dos navios e dos mares, para conhecerem os ventos, as marés e as correntes, o que lhes permitiu planear as suas navegações. Se ao contrário os navios tivessem largado para o Mar arrojadamente “às cegas”, muitos mais se teriam perdido e talvez Vasco da Gama não tivesse alcançado a Índia. Tudo dependeu de uma inteligente orientação derivada da cooperação entre cientistas e navegadores, a que se deu o nome simbólico de **Escola de Sagres** [Gago Coutinho, 1951 e 1952]

A Hidrografia e a Cartografia Náutica em Portugal desenvolveram-se extraordinariamente, fruto das necessidades do comércio marítimo e do contributo dos cosmógrafos. Com o início do declínio como potência marítima, a partir do final do séc. XVI, Portugal deixou de ser a referência mundial neste domínio.

Em 1834, após as invasões francesas, foi reiniciada a reorganização dos serviços hidrográficos, com a secção de uma Secção de Hidrografia na antiga Comissão encarregada da Carta Geográfica do Reino, que esteve na génese do Instituto Geográfico Português. Pode-se situar 1934 como sendo o início da moderna hidrografia Portuguesa [Aguiar et al., 2001],

Contam-se como **marcos históricos na formação em hidrografia** os seguintes:

1836 – O 1.º Curso de Engenheiro Hidrógrafo foi criado por decreto de D. Maria II, é considerado um dos mais antigos cursos de engenharia alguma vez realizados em Portugal;

Até 1897 – O ensino da Hidrografia fazia parte da cadeira de Navegação, na Escola Naval;

1897 – Escola Naval, o ensino da Hidrografia passa a cadeira autónoma;

1945 – O Curso de Engenheiro Hidrógrafo, foi sendo modificado ao longo dos anos. Tem particular interesse a reestruturação introduzida através do Decreto-Lei n.º 34 630, de 26 de maio de 1945, sendo a sua duração fixada em 4 anos. Da estrutura curricular do curso fazia parte a frequência de várias cadeiras, durante 2 anos, na Faculdade de Ciências e no Instituto Superior Técnico, aperfeiçoamento de hidrografia e radioelectricidade no Ministério da Marinha, seguindo-se tirocínios práticos com a duração de 1 ano, em organismos nacionais e no Ministério da Marinha;

1947 – Parte do Curso de Engenheiro Hidrógrafo, relativo ao aperfeiçoamento de hidrografia e alguns dos tirocínios passaram a ser efetuados em serviços ou instituições estrangeiras da especialidade; face às alterações introduzidas pelo Decreto-Lei n.º 36 598, de 21 de novembro de 1947;

1960 – O Instituto Hidrográfico, herdeiro da tradição secular do ensino e da formação da Hidrografia e Oceanografia, é criado pelo Decreto-Lei n.º 43 177, de 22 de setembro de 1960, integrado na orgânica do Ministério da Marinha. Uma das incumbências é a seguinte: “*Facultar a oficiais de marinha e a outro pessoal da Armada, no próprio Instituto ou em estabelecimentos de ensino e outros organismos adequados, os conhecimentos necessários ao bom desempenho dos serviços da especialidade que hajam de ser-lhes confiados, fiscalizando o aproveitamento dos alunos nos respectivos cursos e estágios.*” (cf. Alínea c) do artigo 3.º deste diploma);

1961 – A Marinha reconhece a necessidade de orientar a preparação dos futuros engenheiros hidrógrafos, em moldes diferentes enviando-os para escolas estrangeiras. Tendo como objetivo adquirirem conhecimentos técnicos em hidrografia e oceanografia, saber qual o “Estado da Arte” e estimular os alunos para a investigação científica. A estrutura do curso foi novamente alterada, pelo Decreto-Lei n.º 43 972, de 20 de outubro de 1961, o qual revoga toda a legislação em contrário e, no seu artigo 2.º estabelece que: “*O curso de engenheiros hidrógrafos compreende a frequência de um curso da especialidade numa escola hidrográfica estrangeira, antecedida de um estágio no Instituto Hidrográfico, com a duração de seis meses, e seguida da realização de*

tirocínios práticos, estágios e visitas de estudo, durante um total de seis meses, em institutos e serviços nacionais relacionados com as actividades de hidrografia”. Desde então, os alunos da Escola Naval, especializados em Hidrografia, deixam de frequentar as cadeiras de especialização na Faculdade de Ciências e no Instituto Superior Técnico. Este diploma foi revogado pelo Decreto-Lei n.º 34-A/90, de 24 de janeiro;

A partir de 1963 - A Marinha envia os futuros engenheiros hidrógrafos primeiro para a Escola de Aplicação do Serviço Hidrográfico Francês, em Paris, depois para os Estados Unidos. Anos mais tarde seleciona novamente com o destino a França, para a ENSTA (*École Nationale Supérieure de Techniques Avancées*). Mais recentemente envia para a preparação dos engenheiros hidrógrafos para o Canadá, na (área de hidrografia) e Estados Unidos da América, na *Navy Postgraduate School* (área de oceanografia);

1967 – O **Curso de técnicos auxiliares de oceanografia**, o 1.º Curso médio para técnicos de oceanografia, que surge da falta de pessoal qualificado para manusear instrumentos e realizar observações de rotina oceanográfica de campo e de gabinete, de acordo com o Decreto-Lei n.º 47 987, de 9 de outubro de 1967;

1970 – O **Centro de Instrução de Hidrografia e Oceanografia**, surge com o Decreto-Lei n.º 26/70, de 15 de janeiro, que promulgou a reestruturação do Instituto Hidrográfico. Com a publicação da Portaria n.º 399/70, de 14 de agosto, é aprovado o **1.º Regulamento Interno do Instituto Hidrográfico, onde se encontram definidos os objetivos e competências** do Centro de Instrução, com a designação **Centro de Instrução de Hidrografia e Oceanografia** nomeadamente: “*Estudar e propor os centros estrangeiros onde devem ser frequentados os cursos de engenheiro hidrógrafo e de especialização em oceanografia, enquanto estes não funcionarem em Portugal.*” (cf. alínea a) do n.º 2 do artigo 18.º, da supracitada Portaria n.º 399/70);

1978 – **Especialização de Oficiais em Hidrografia**, criada através da Portaria n.º 36/78, de 19 de janeiro, com o seguinte fundamento: “*Considerando que as brigadas e missões hidrográficas ... não podem desempenhar o papel de escola de hidrografia antes proporcionado pelas antigas missões.*”;

1979 – **Escola de Hidrografia e Oceanografia (EHO)**, é a designação dada ao Centro de Instrução de Hidrografia e Oceanografia, no **2.º Regulamento Interno do Instituto Hidrográfico**, publicado em anexo à Portaria n.º 264/79, de 6 de junho, que o aprovou e põe em execução, a título experimental, nos termos do n.º 1 do artigo 1.º do Decreto-Lei n.º 298/76, de 26 de abril;

1983 – O Programa do Curso Especialização de Oficiais em Hidrografia, foi acreditado pela 1.^a vez pela FIG/OHI em 17 de junho de 1983 com a categoria “A” e o do Curso Técnico de Hidrografia, com a Categoria “B” em 30 de agosto de 1984.

3. A EHO

A Escola de Hidrografia e Oceanografia (EHO) faz parte do Sistema de Formação Profissional de Marinha e funciona na dependência do Instituto Hidrográfico – Marinha. A EHO está aberta a alunos militares e civis, portugueses ou estrangeiros. A EHO tem como atribuições organizar e ministrar cursos a diversos níveis, nas áreas de Hidrografia, Oceanografia e Navegação e possui características muito peculiares:

- É a única a nível nacional que forma hidrógrafos;
- Os seus cursos estão acreditados por FIG-IHO-ICA IBSC (FIG - Federação Internacional de Geómetras, IHO – Organização Hidrográfica Internacional, ICA – Associação Cartográfica Internacional), no âmbito do *International Board on Standard of Competence for Hydrographic Surveyors and Nautical Cartographers* e atribui diplomas com validade internacional;
- O corpo de formadores é altamente especializado, devidamente qualificado, com sólida experiência profissional. Os formadores são na generalidade os próprios técnicos do Instituto Hidrográfico.

A acreditação e reconhecimento por FIG-IHO-ICA dos cursos ministrados na EHO, a par da longa tradição e qualidade reconhecida ao IH estão na base de uma garantia de qualidade da formação e na obtenção de um conjunto de competências indispensáveis para a realização de atividades nas áreas de hidrografia e oceanografia.

4. CONTEÚDOS PROGRAMÁTICOS DOS CURSOS

São ministrados dois cursos em língua portuguesa, ambos com a duração de 44 semanas e início em setembro:

- **Curso de Especialização em Hidrografia**, com a Categoria “A” [OHI, 2011]. Este curso exige, como habilitação, uma licenciatura prévia nas áreas de **Matemática, Física ou Engenharia** e permite obter competências para a resolução de problemas complexos que vão para além da execução de tarefas de rotina em Levantamentos Hidrográficos e Cartografia Náutica.
- **Curso Técnico de Hidrografia**, com a Categoria “B” [OHI, 2011]. Este curso exige, como habilitação, o 12.º ano de escolaridade com aproveitamento nas cadeiras de

Matemática e Física, e habilita com as competências necessárias para a execução de tarefas rotineiras em Levantamentos Hidrográficos e Cartografia Náutica.

Os Cursos de Especialização em Hidrografia visam proporcionar aos alunos uma preparação sólida e profunda nos diversos aspetos teóricos e práticos da Hidrografia, Oceanografia e com conhecimentos nas áreas afins, que permitam entender a dinâmica oceânica, costeira e estuarina, com especial incidência na execução dos Levantamentos Hidrográficos, no estudo da modificação da morfologia das costas e dos fundos do Mar, com implicações na Cartografia Náutica e Portuária.

Componente teórica		
Áreas temáticas	Cat. A (horas)	Cat. B (horas)
Matemática e Estatística	84	42
Informática	73	56
Física e Eletrónica	63	71
Geodesia	112	108
Hidrografia	272	253
Cartografia	126	119
Oceanografia	133	102
Tecnologias Complementares	60	-
Direitos do Mar	20	10
Ciências Náuticas	66	67
Componente prática		
Projeto Lev. Hidrográfico	1	1
Projeto de Proc. de Dados	1	1
Projeto de Cartografia Náutica	2	1
Estágio de Embarque em Navio	1	-
Estágio na Brigada Hidrográfica	4	12

Tabela 1 – Estrutura curricular dos dois cursos de especialização em hidrografia.

A formação adquirida habilita a enfrentar um futuro pleno de desafios e de novas oportunidades no domínio das ciências do mar, designadamente:

- Planear levantamentos hidrográficos;
- Coordenar equipas de sondagem na execução dos levantamentos hidrográficos;
- Efetuar todas as operações de processamento dos dados obtidos nos levantamentos hidrográficos, incluindo a produção de implantações gráficas;
- Efetuar operações de topografia, em complemento aos levantamentos hidrográficos;
- Cooperar com outras equipas na execução de trabalhos de campos para a recolha de dados, os quais são posteriormente processados (ex: fundeamentos/recolha amarrações e bóias, trabalhos oceanográficos e levantamentos geofísicos), a bordo de navios hidrográficos ou em equipas das Brigadas Hidrográficas.

5. CARACTERIZAÇÃO DOS FORMANDOS

Cada curso comporta até 8 formandos, devido a uma elevada componente de aprendizagem prática altamente especializada e assistida pelo formador. Por regra os cursos são frequentados por militares da Marinha selecionados por concurso interno e, na capacidade excedentária, podem ser frequentados por alunos portugueses ou estrangeiros (militares ou civis). Desde 1979, a EHO foi frequentada por 200 formandos, com uma elevada componente proveniente de Países de Língua Portuguesa ou do Norte de África, no âmbito da cooperação técnico-militar.

	Portugal
Oficiais da Marinha	75
Sargentos da Marinha	33
Praças da Marinha	4
Civis	22
Subtotal:	134

	Fora de Portugal
Moçambique	24
Angola	19
Guiné-Bissau	7
Tunísia	4
S. Tomé e Príncipe	4
Cabo Verde	3
Marrocos	2
Macau	2
Espanha	1
Subtotal:	66
TOTAL	200

Tabela II – Formandos que frequentaram cursos de especialização, na EHO, desde 1979.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Desde que foi criado sob a designação de “Centro de Instrução de Hidrografia e Oceanografia” em 1970, a Escola de Hidrografia e Oceanografia promoveu cursos de diversos níveis e formou cerca de 400 pessoas. Uma grande parte ainda em exercício de funções nas áreas de hidrografia e oceanografia.

A EHO dispõe de uma capacidade instalada e de um historial de sucesso na formação dos militares da Marinha que prestam serviço no IH. Tem-se assistido a um incremento do interesse por parte da sociedade civil, principalmente recém-licenciados portugueses e estrangeiros, na procura de uma perspetiva de emprego. Um dos desafios colocados à EHO consiste em incrementar o acesso por formandos civis, contribuindo para o desígnio nacional de regresso ao Mar.

Um dos novos desafios colocados à EHO está na resposta a dar face ao aumento da procura de técnicos habilitados para realizar, com os padrões de qualidade exigidos pela OHI, os levantamentos

hidrográficos/cartografia de base essenciais a qualquer atividade marinha (**no mar profundo**);

O facto de a EHO pertencer à Marinha, adstrita ao IH, constitui uma mais-valia importante difícil de igualar se fosse uma entidade/escola independente ou ligada a organismo sem os meios operacionais. A par dos laboratórios, equipamentos e pessoal técnico especializado e experiente, o IH, através da Marinha, possui os únicos navios hidrográficos com capacidade hidro-oceanográfica.

Esta escola desempenha um papel crucial no desenvolvimento económico e territorial do País, no âmbito da sua missão, facultando o conhecimento e as competências exigidas para o trabalho no Mar.

REFERÊNCIAS

Aguilar, T., R. Arenga, S. Ribeiro, S. Serafim, A. Silva, M. Sousa (2001) *A Marinha na Investigação do Mar 1800-1999*, Instituto Hidrográfico, Lisboa.

Coutinho, Gago (1951 e 1952), *A Náutica dos Descobrimientos*.

OHI (2005) Manual de Hidrografia, “Versão traduzida para português pelo Instituto Hidrográfico”, 1.^a Edição, maio 2005 (correções até Abril de 2010); possibilidade de fazer o *download* através do link: http://www.iho.int/iho_pubs/CB/C13_Index.htm

OHI (2011) Publication S-5, 11.^a Edition, maio 2011

Sousa Leitão, A. E., Reflexões sobre a Moderna Hidrografia Portuguesa. Separata dos Anais do Clube Militar Naval. Número especial comemorativo do primeiro centenário, 1870/1970.

Legislação:

Decreto-Lei n.º 34 630, de 26 de maio de 1945.

Decreto-Lei n.º 36 598, de 21 de novembro de 1947.

Decreto-Lei n.º 43 177, de 22 de setembro de 1960.

Decreto-Lei n.º 43 972, de 20 de outubro de 1961.

Decreto-Lei n.º 47 987, de 9 de outubro de 1967.

Decreto-Lei n.º 26/70, de 15 de janeiro.

Portaria n.º 124/70, de 2 de março.

Portaria n.º 399/70, de 14 de agosto.

Portaria n.º 36/78, de 19 de janeiro.

Portaria n.º 264 /79, de 6 de junho.

Application of Precise Point Positioning to marine platforms

P. Marreiros (1, 2), L. Bastos (2) e M. J. Fernandes (2)

(1) Instituto Hidrográfico, Lisboa, Portugal (ramalho.marreiros@hidrografico.pt)

(2) Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental, Universidade do Porto, Portugal

Abstract: Precise Point Positioning (PPP) allows GNSS absolute positioning at the highest accuracy level, comparable with traditional GNSS (Global Navigation Satellite System) based relative positioning. While relative GNSS (DGNS) assumes that most significant observation error sources cancel out or reduce significantly by computing differences between receivers at different locations, PPP is based on corrections to each one of the errors that affect a single receiver undifferenced observation.

The first PPP technique was developed in the late 1990's for static applications, using precise ephemeris and satellite clock corrections. Since then much research studies have been done and PPP is increasing its relevance as an efficient positioning technique, including real time and kinematic applications.

A PPP based methodology was developed at Instituto Hidrografico and Faculdade de Ciencias da Universidade do Porto for positioning marine platforms. The associated software is an improvement of a previous development (Marreiros et al., 2010). The new algorithm was applied to process GNSS data collected onboard of a ship sailing along the Portuguese coast. In comparison with the previous work, the positioning accuracy is now at the centimetre level while the time required for the solution to converge was reduced to 5 minutes.

Keywords: GNSS, satellite positioning, marine positioning, precise point positioning.

INTRODUCTION

The ability to use Global Navigation Satellite Systems (GNSS) to find accurately the position of a moving antenna without the need of a reference station, opens a way to many applications by reducing costs and allowing precise positioning in areas where this was not easy to implement, such as the open ocean. Possible applications include satellite altimetry, sea level monitoring, early warning of tsunamis and hydrographic surveying. Marine precise positioning is used to measure water levels, in sea, river or lakes for the purposes of navigation, tide correction and satellite altimeter range calibration and hydrography. In hydrography accurate determination of bathymetry data requires no less accurate position of the platform where the survey sensors (either single beam, multibeam or LIDAR systems) are installed. The accuracy requirement for hydrographic surveys follows the standard S44 issued by the International Hydrographic Organization (IHO, 2008). For the special order surveys, the most demanding ones, the S44 defines the accuracy for the position of the surveyed depths of 2 m, for the horizontal component, and 0.25 m, for the vertical component. Such accuracy level is for 95% confidence level and includes all the possible error sources involved in depth measurement and tidal reduction. This means that the positioning accuracy of the platform should be at the centimetre level.

GNSS supports many different kind of applications and accuracies in positioning, either static or kinematic mode. GNSS positioning, using

the code or code/phase measurements may be grouped in:

- Absolute positioning (code);
- Differential positioning (code)
- Relative positioning (code/phase);
- Precise Point (or absolute) Positioning (code/phase);

Absolute GNSS positioning, the basic mode of GNSS; it uses a single receiver for positioning and is limited to a few metres of accuracy. At least two simultaneously operating stations are required for relative (and for differential) GNSS (DGNS) positioning. Relative GNSS makes use of the spatial correlation of systematic errors between stations to eliminate or reduce their effects in order to achieve higher accuracy.

Precise Point Positioning (PPP) is a positioning technique first developed for static applications. PPP may be described as a combination of the basic mode absolute positioning concept and differential positioning techniques. PPP uses observations from a single receiver and additionally information on individual GNSS errors which can be derived from existing networks of GNSS stations. PPP was first used in static positioning (Zumberge et al., 1997) to achieve solutions as good as static DGNS. Later developments extended the use to kinematic (Kouba and Heroux, 2001) and also real time (Gao and Shen, 2004). PPP is used, either in static or kinematic applications, as an alternative to DGNS, either in post-processing or in real time. Precise orbits and clock corrections are available at the International GNSS Service (IGS,

igsb.jpl.nasa.gov) for post-processing, and the NASA Global Differential GPS System (GDGPS, www.gdgps.net) for real time applications.

This paper describes the last developments in our PPP software, developed using C++ language and the GPSTk (www.gpstk.org) modules or classes, including the modifications and new classes introduced with the goal to optimize for application to marine positioning.

1. TRADITIONAL PPP MODEL

The first and traditional model for PPP (Zumberge et al., 1997; Kouba and Héroux, 2001) used the two frequency ionosphere-free combination (IF) for code and carrier phase observations to overcome the effect caused by the ionosphere propagation of GNSS signals:

$$P_{IF} = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} P_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} P_2$$

$$\Phi_{IF} = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \Phi_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \Phi_2$$

- f is the frequency and the subscript stands for GPS frequency L1(1) or L2(2), as an example.

The traditional PPP model involves five types of parameters: station position, receiver clock error, troposphere delay and carrier phase ambiguities. Taking in consideration the parcels related to the unknowns, the simplified observation equations are:

$$P_{IF} = \rho + cdt + Trop + \varepsilon$$

$$\Phi_{IF} = \rho + cdt + Trop + N_{IF} + \varepsilon$$

- P is the code observation (pseudorange);
- Φ is the carrier phase observation in metric units;
- ρ is the geometric distance that contains the unknown station position;
- cdt is the clock error for the receiver;
- $Tropo$ is the error due to troposphere (neutral atmosphere) propagation;
- N_{IF} is the carrier phase ambiguity in metric units (multiplied by the carrier wavelength);
- ε represents all remaining terms and noise.

Note that the combined ambiguity, N_{IF} , is not an integer:

$$N_{IF} = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} N_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} N_2$$

- N_1 and N_2 are the basic observations carrier phase integer ambiguities;

Also, the combined IF observables have higher standard deviations. For the GPS observables, the IF combination amplifies the noise by a factor of 3, when compared to the basic L1 observable noise.

Different strategies may be used with respect to the tropospheric correction term either estimate

the total zenith delay (Witchayangkoon, 2000; Kouba and Héroux, 2001) or model the dry tropospheric zenith delay and estimate the wet component as a parameter (Gao and Shen, 2001).

To solve for the mentioned unknowns, several methods are possible. Usually the solution is estimated epoch by epoch using an adjustment procedure based on a recursive filter, such as a Kalman filter.

The traditional model assumes that the observables have been corrected or reduced for all the most significant effects and possible error sources:

- Satellite dependent effects: position error, clock error antenna offset and antenna phase centre variations;
- Propagation effects: ionosphere propagation, - troposphere propagation and multipath;
- Receiver dependent: clock error antenna offset and antenna phase centre variations;
- Earth deformation and orientation: earth tide, ocean loading tide and polar motion.

2. IMPROVED PPP MODEL

In Marreiros *et al.*, 2010, numerical results with the traditional PPP model applied to marine positioning when compared with GNSS relative positioning had a standard deviation of 18 cm for the height and 10 cm for the horizontal coordinates. The convergence time was 2500 seconds. The dry zenith delay was modelled and the wet delay was estimated using the Neill Mapping Function (NMF) (Neill, 1996).

These results could be improved, using new developments in PPP. Some modifications were made to the traditional model with the introduction of new data combinations, a more recent troposphere model and a more adequate observations weighting algorithm.

Data combinations

Instead of the IF combination for code, it is used the code-phase (CP) combination for each frequency, (Gao and Shen, 2001):

$$C_{1,CP} = 0.5P_1 + 0.5\Phi_1$$

$$C_{2,CP} = 0.5P_2 + 0.5\Phi_2$$

The CP combination also eliminates the ionosphere effect, but has a smaller noise compared to the IF code combination and allows to keep the integer nature of the ambiguities.

The already mentioned IF combination was used only for carrier phase observations.

The Melbourne-Wübbena (MW) combination (Melbourne, 1985; Wübbena, 1985) was also introduced in the software:

$$C_{MW} = \frac{(f_1 L_1 - f_2 L_2)}{f_1 - f_2} - \frac{(f_1 P_1 - f_2 P_2)}{f_1 + f_2}$$

The MW combination eliminates the effect of the ionosphere, the geometry, the clocks and the troposphere. The MW noise is dominated by the original code noise and is about the same magnitude. This combination is useful to estimate the carrier phase ambiguities.

The observation equations for each satellite are the following:

$$\begin{aligned} C_{1,CP} &= \rho + cdt + Trop + 0.5 \cdot N_1 + \varepsilon \\ C_{2,CP} &= \rho + cdt + Trop + 0.5 \cdot N_2 + \varepsilon \\ \Phi_{IF} &= \rho + cdt + Trop + N_{IF} + \varepsilon \\ C_{MW} &= N_{MW} + \varepsilon \end{aligned}$$

$$\text{With } N_{MW} = \frac{f_1}{f_1 - f_2} N_1 - \frac{f_2}{f_1 - f_2} N_2$$

These equations are used in a Kalman filter, with four equations for each satellite and five unknowns that are station dependent ($\rho(x, y, z), cdt, Trop$) and two unknowns that are satellite dependent (N_1, N_2).

Troposphere model

The NMF was replaced by the Global Mapping Function (GMF) (Boehm et al., 2006). The GMF is an empirical mapping function, in the tradition of the NMF, which can be calculated using only the station coordinates and the day of the year. GMF, which is based on spherical harmonics up to degree 9 and order 9, using global numerical weather model data, was developed to be more accurate than NMF (IERS Conventions, 2010).

Since meteorological instrumentation is not usually available at GNSS marine stations, local temperature and pressure data required to compute the dry zenith delay was estimated with the empirical global model GPT (Boehm et al. 2007).

Observations weighting

Proper observation weighting is not a trivial task in GNSS observations. The weight depends on the inverse of the variance and must incorporate all unmodeled effects and depends on receiver/antenna characteristics, multipath effects, ionosphere effects, troposphere effects, many of which are difficult to determine. The usual approaches are based on the signal-to-noise ratio and on the elevation angle (Witchayangkoon, 2000). Several weighting schemes were tested. The one that gives better results is the MOPS algorithm (RTCA, 2001).

3. MARINE PPP RESULTS

The same GPS data, already used in a previous work (Marreiros et al., 2010), were processed with the PPP software modified as mentioned above. The data were collected by the ship NRP Auriga,

during a mission at the western coast of Portugal (fig. 1).



Figure 1 – Navigation plan of NRP Auriga in 16-17 June 2007.

PPP results were compared with carrier phase DGNSS-RTK (Real Time Kinematic) results using a commercial software package.

Near the reference station, located at Gaia, the two time series are highly correlated and both show the same high frequency variations due to ships motion (fig. 2 and 3). As the ship moves away, the RTK solution seems to lose its accuracy. The largest differences occur between 62000 s and 85000 s, when the ship was far (more than 100 km) from the reference station. The PPP convergence time was improved from 2500 s (traditional PPP) to 300 s.

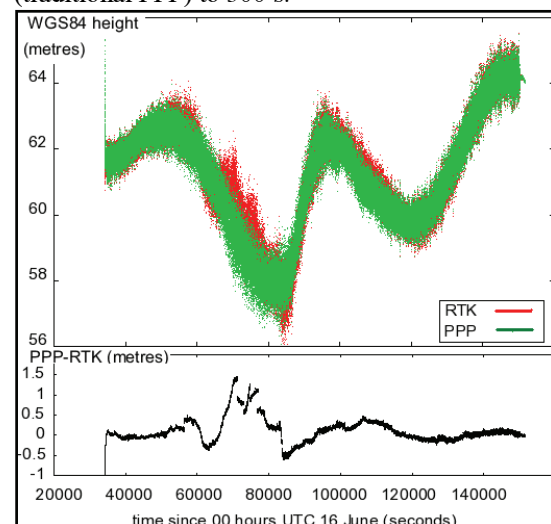


Figure 2 – PPP height vs RTK height time series.

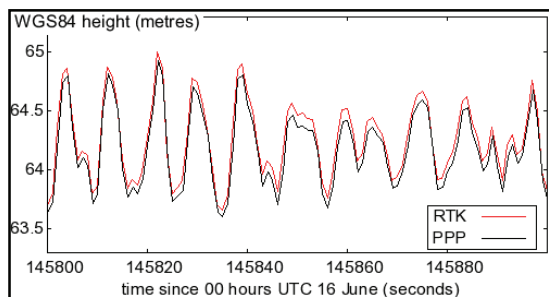


Figure 3- Detail of PPP height vs RTK height series, near the reference station.

4. CONCLUSIONS

The modifications made to the PPP software by introducing new data combinations, troposphere model and satellite weighting, significantly improved the accuracy and convergence time when compared with the traditional PPP model. The comparison with the RTK solution, near the reference station, shows the same accuracy, at cm level. This work shows that PPP allows offshore marine precise positioning where reference stations are not available for a reliable RTK solution.

Acknowledgements.

This study was also developed in the scope of the DEOSOM/AMPERA project, funded by FCT.

REFERENCES

- Boehm, J., Niell, A.E., Tregoning, P., and Schuh, H. (2006) "Global Mapping Function (GMF): A new empirical mapping function based on numerical weather model data" *Geophys. Res. Lett.*, 33, L07304, doi:10.1029/2005GL025546
- Boehm, J., Heinkelmann, R. and Schuh, H. (2007) "Short Note: A global model of pressure and temperature for geodetic applications," *Journal of Geodesy*, 81(10), 679-683.
- Gao, Y. and Shen, X. (2001) "Improving Ambiguity Convergence in Carrier Phase-Based Precise Point Positioning" ION GPS 2001, 11-14 September 2001, Salt Lake City, UT, 1532-1539.
- Gao Y. and K. Shen (2004) "Performance analysis of Precise Point Positioning using real-time orbit and clock products". *Journal of Global Positioning Systems*, 3(1-2), 95-100.
- Kouba J. and Héroux P. (2001) "Precise Point Positioning using IGS orbit and clock products" *GPS Solutions*, 5(2), 12-28.
- IERS Conventions (2010). Gérard Petit and Brian Luzum (eds.). (IERS Technical Note 36) Frankfurt am Main: Verlag des BKG.
- International Hydrographic Organization (IHO) (2008) "IHO Standards for Hydrographic Surveys", Special publication 44, 5th edition.
- Marreiros, P., Bastos, L. and Fernandes, J. (2010) "GNSS Precise Positioning without reference stations" 1^{as} Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Instituto Hidrográfico, June 2010.
- Melbourne, W.G. (1985) "The Case for Ranging in GPS Based Geodetic Systems" Proceedings of 1st Int. Symp. on Precise Positioning with the GPS, ed. Clyde Goad, U.S. Dep. of Commerce, Rockville, Maryland, 15-19 April, 373-386.
- Neill, A.E. (1996) "Global Mapping Functions for the Atmosphere Delay of Radio Wavelengths" *Journal of Geophysical Research*, 101, 3227-3246.
- RTCA (2001) "Minimum Operational Performance Standards" (MOPS), version C (RTCA/DO-229C), section J.2.3.
- Zumberge, J. F., M. B. Hefflin, D. C. Jefferson, M. M. Watkins, and F. H. Webb (1997), Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks, *J. Geophys. Res.*, 102(B3), 5005-5017, doi:10.1029/96JB03860.
- Witchayangkoon, B. (2000) "Elements of GPS Precise Point Positioning", PhD Thesis in Spatial Information Science and Engineering, University of Maine, December 2000.
- Wübbena, G. (1985). "Software Developments for Geodetic Positioning with GPS Using TI 4100 Code and Carrier Measurements". Proceedings of 1st Int. Symp. on Precise Positioning with the GPS, ed. Clyde Goad, U.S. Dep. of Commerce, Rockville, Maryland, 15-19 April, 403-412.

Cartografía Hidrográfica

A Cobertura Global de Carta Eletrónica de Navegação: estado de implementação, constrangimentos e desafios

F. Artilheiro (1) e M. Pinheiro (1)

(1) Instituto Hidrográfico, freitas.artilheiro@hidrografico.pt.

Resumo: A Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar (SOLAS) estabelece no capítulo V, regra 9, as responsabilidades dos Estados contratantes na produção e atualização de cartografia náutica nas áreas sob jurisdição nacional.

Com a obrigatoriedade de utilização de carta eletrónica de navegação (CEN) em *Electronic Chart and Information Systems* (ECDIS) certificados, a partir de 2012, em alguns navios empenhados em viagens internacionais, a Organização Hidrográfica Internacional (OHI) assume uma responsabilidade acrescida na criação de condições para a implementação da cobertura adequada de CEN.

Neste artigo é apresentado o conceito de base de dados mundial de carta eletrónica de navegação, o estado de implementação, os desafios que se colocam aos Estados-Membros da OHI e os constrangimentos que se têm colocado na sua edificação.

Palavras chave: Cartografia Eletrónica, CEN, ECDIS, OHI, WEND

1. INTRODUÇÃO

Muitos têm sido os contributos dos Serviços Hidrográficos, no desenvolvimento das especificações e na produção de cartografia náutica. Durante o século XX, como exemplo prático deste contributo, o Serviço Hidrográfico do Reino Unido (UKHO) tornou-se líder mundial no fornecimento de cartografia náutica, por comercializar cartas de papel do mundo inteiro e por ter lançado, na década de 80, um serviço de distribuição de cartas náuticas em formato raster o *Admiralty Raster Chart Service* (ARCS), com a mesma cobertura.

Os produtos e serviços cartográficos a nível mundial são baseados em levantamentos hidrográficos realizados pelos 170 Estados-Membros da Organização Marítima Internacional (OMI), dos quais apenas 80 Estados são membros da Organização Hidrográfica Internacional (OHI). A produção de cartografia náutica em regiões onde não se encontra edificada capacidade hidrográfica é, regra geral, conseguida através de acordos bilaterais com Serviços Hidrográficos de outros Estados.

A cobertura mundial de cartas náuticas, da série Internacional, constitui uma prova inequívoca do esforço dos Estados-Membros da OHI, para satisfazer os requisitos de cartas e publicações náuticas especificados no Capítulo V da Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar (SOLAS).

Durante a década de 80, foi reconhecido, pela comunidade marítima internacional, o potencial que as Cartas Electrónicas de Navegação (CEN) representavam para o aumento da segurança da navegação. O crescimento na utilização global de computadores, essencialmente devido à redução dos custos associados e à sua miniaturização, e a implementação de um sistema global de navegação, GPS, com posicionamento preciso e

permanentemente disponível, criou as condições favoráveis ao desenvolvimento desta tecnologia.

O desenvolvimento de Padrões de Desempenho dos ECDIS (OMI, 1995) e a publicação, em 1996, da 1.^a edição da publicação S-57, com o formato padrão para transferência de dados hidrográficos (OHI, 2000), veio fornecer o necessário, mas não suficiente, enquadramento técnico para a construção dos ECDIS e para a produção das bases de dados associados.

Algumas das células publicadas pelos Serviços Hidrográficos a nível mundial, incluindo o Instituto Hidrográfico (IH), foram produzidas num período relativamente precoce, constrangidos pelos custos significativos que apresentavam e pelos novos desafios técnicos que colocavam. Assim, a produção de CEN manteve-se na dependência dos Estados com capacidade hidrográfica instalada, situação essa que não se alterou até ao ano de 2005. Como resultado, a cobertura mundial cingia-se a áreas limitadas e sensíveis para a navegação. Esta fraca cobertura, veio explicar a relutância do Comité de Segurança Marítima (MSC) da OMI na adoção daquilo que parecia ser um forte contributo para o aumento da segurança da navegação. Relativamente à introdução de melhorias significativas para o aumento da segurança marítima, a razão de ser por excelência da OHI, a sociedade classificadora Det Norske Veritas publicou um relatório (DNV, 2007), no qual considerou que o ECDIS constituía uma mais-valia e uma opção a considerar em termos de análise e controlo de riscos, em função do tipo de navios, da sua idade e do seu deslocamento.

Este relatório reconhecia como vantagens mais significativas da utilização das CEN associadas ao ECDIS, um melhor conhecimento situacional em função do posicionamento GPS em tempo real, a possibilidade de ligação a outros equipamentos de navegação, tais como o ARPA (*Automatic Radar*

Plotting Aid), e um processo de correção e actualização, com uma reduzida intervenção do operador. No entanto, este relatório também apontava, na cobertura CEN das principais rotas de navegação, para a descontinuidade, para a falta de consistência e para a reduzida qualidade de algumas células que desencorajaram os armadores de realizarem o necessário investimento financeiro para a aquisição de CEN, ECDIS e formação.

Por essa altura, os armadores com ECDIS a bordo, ou até mesmo com *Electronic Chart System* (ECS), preferiram utilizar cartografia vetorial produzida por companhias privadas, não oficiais, ou cartas ARCS. A sua utilidade era de tal ordem que, mesmo sem a chancela de conformidade com os requisitos da OMI, estes produtos ultrapassaram, em larga escala, o mercado das CEN. Como já referido, o UKHO foi durante muitos anos um dos maiores fornecedores de cartas de papel com cobertura mundial, pelo que se tornou expectável que viesse também a desenvolver um serviço equivalente para as CEN, no entanto, um dos principais fatores desencorajadores de tal iniciativa foram as recomendações da OHI para a Base de Dados Mundial de Carta Eletrónica de Navegação (*Worldwide Electronic Navigational Chart Database*), designados por princípios WEND.

2. OS PRINCÍPIOS WEND

Os princípios WEND (OHI, 2012) têm como principal objetivo assegurar um nível elevado de cobertura, consistência, qualidade e atualização das CEN, através de serviços integrados, em conformidade com o Capítulo V da Convenção SOLAS. Os princípios WEND foram elaborados de uma forma independente e a adesão fiel a estes princípios poderia ter resultado numa cobertura mais alargada por parte dos Estados-Membros da OHI. O WEND recomenda que os países geograficamente próximos se agrupem regionalmente em Centros Regionais de Carta Eletrónica (RENC) para gerirem e administrarem as CEN.

As dificuldades na construção de uma base de dados mundial de CEN, vieram expor o insucesso dos proponentes WEND ao reconhecerem as limitações na capacidade de produção corporativa da OHI. A característica mais importante definida nos princípios WEND, é a responsabilidade acometida aos Estados-Membros da OHI para produzirem, ou produzirem em seu nome, a sua própria cobertura CEN. Para cada banda de utilização e em cada área, só pode existir uma única CEN, o que efetivamente deveria impedir qualquer Estado de fornecer outra CEN cobrindo as mesmas áreas. O conceito WEND não permite que um produtor possa criar um fólio baseado nos dados de outro produtor ou de outro Estado, pelo que esse fólio só ficará completo quando o Estado-Membro produtor disponibilizar as suas células para distribuição.

O mercado privado não tem estes constrangimentos, de facto, com recursos significativos e numa fase

anterior, a *US National Geospatial Intelligence Agency* produziu para a Marinha dos Estados Unidos, um sistema de cartas vetoriais com cobertura mundial (*Digital Nautical Charts – DNC*), só que incompatíveis com o modelo de dados S-57. Paralelamente, a utilização abusiva por alguns Estados, das CEN como um instrumento de afirmação nacional, conduziu ao alargamento da cobertura além das áreas marítimas sob a sua jurisdição (MBSHC, 2007).

3. ESTADO DE IMPLEMENTAÇÃO DA COBERTURA CEN

A cobertura CEN adequada deve satisfazer as necessidades dos navios empenhados em viagens internacionais. Numa primeira fase, considera-se adequada a cobertura das principais rotas de navegação, as aproximações e os 800 maiores portos mundiais.

De acordo com a avaliação efetuada pelo grupo de trabalho do WEND, em Outubro de 2011, 10% dos maiores 800 portos, não apresentam ainda cobertura de carta eletrónica de navegação (ver figuras 1 e 2).

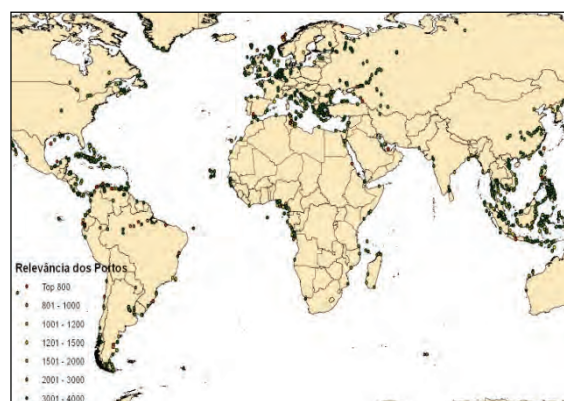


Fig. 1. Portos mundiais sem cobertura CEN.

Considerando os maiores 2000 e 4000 portos mundiais, a percentagem de áreas não cobertas aumenta para 15 e 25%, respetivamente.

Da análise da distribuição geográfica dos portos sem cobertura CEN, constata-se que as áreas mais carenciadas se situam na Europa, Ásia e Caraíbas.

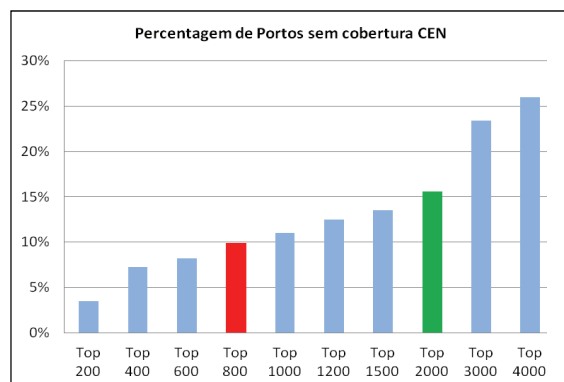


Fig. 2. Percentagem de portos sem cobertura CEN, por classes de relevância.

Apesar do défice de cobertura portuária, a Europa apresenta uma cobertura sistemática que deve ser tomada como um exemplo a nível internacional (cf. figura 3).



Fig. 3. Esquema com a cobertura CEN na Europa e no norte de África.

4. OS CONSTRANGIMENTOS

Uma prospeção de mercado efetuada por Hailwood (2005), indicou que os obstáculos para a adoção global das CEN podiam ser agrupados em três categorias:

- a) A cobertura reduzida, principalmente nos portos e nas suas aproximações;
- b) A descontinuidade na cobertura, particularmente ao longo das principais rotas de navegação;
- c) A consistência dos dados.

A cobertura reduzida de carta eletrônica é justificada pela qualidade e atualidade insuficiente de alguns dos levantamentos hidrográficos. Adicionalmente, a produção CEN representa um investimento acrescido à produção e manutenção das cartas de papel. Os cálculos exagerados, demonstraram também que os custos a longo prazo com a utilização CEN, eram muito mais elevados do que com as cartas de papel. Perante este cenário, colocou-se um repto aos Estados-Membros da OHI, ou reconhecer estes factos e praticar preços mais reduzidos, ou permitir o domínio da cartografia digital não oficial, levando, em última instância, a que as CEN fossem excluídas do mercado.

As diferentes interpretações das normas e dos conteúdos sobre o que deve ser cartograficamente representado, conceito que difere de país para país, tem conduzido à descontinuidade entre as células produzidas por Estados adjacentes. Numa fase inicial, a maioria dos produtores de CEN, por razões económicas, ou por razões operacionais, converteram diretamente os dados das cartas de papel para formato vetorial. A esta conversão estão associados uma série de perigos relativos à

representação dos dados antigos neste novo formato eletrónico, os quais não possuem nenhuma indicação clara da sua proveniência. Muitas das cartas de papel que serviram de base à produção das equivalentes cartas eletrónicas, encontravam-se referidas a *data* locais ou regionais e, em muitos locais remotos, os dados batimétricos são muito espaçados e relativamente antigos.

Todas as CEN estão referidas ao sistema geodésico WGS84, logo todas as posições obtidas a partir de receptores GPS são diretamente marcadas sobre as cartas. A linha de costa com algumas construções particulares, pode ser facilmente referida ao WGS84. No entanto, a posição de objetos hidrográficos na mesma carta não pode ser ajustada com o mesmo grau de confiança, a menos que o seu posicionamento em relação aos objetos terrestres possa ser bem estabelecido. As CEN, podem assim parecer menos precisas.

5. OS DESAFIOS

Perante o cenário acima descrito, torna-se importante enfrentar estes obstáculos e fornecer à comunidade internacional uma cobertura CEN adequada, contínua e coerente.

O maior desafio é produzir CEN para áreas do globo, sem capacidade hidrográfica instalada. Nestes casos a solução a curto e médio prazo passa por acordos bilaterais com Estados com capacidade de produção CEN, porém a maior dificuldade consiste na atualização dos dados batimétricos. A sensibilização das administrações portuárias para o financiamento dos levantamentos hidrográficos necessários à produção CEN é uma contribuição e estímulo para o desenvolvimento da atividade portuária.

Para suprir a falta de cobertura nalgumas dessas áreas foram produzidas, principalmente pelo UKHO, CEN temporárias a partir da informação constante nas cartas de papel e de levantamentos hidrográficos disponibilizados pelas administrações portuárias. Essas cartas manter-se-ão em vigor até que os Estados costeiros tenham capacidades próprias de produção e manutenção.

Para ultrapassar as questões relacionadas com a consistência dos dados, é essencial um diálogo permanente entre os países vizinhos produtores, no sentido de harmonizar e integrar os diferentes dados representados, para que o navegante possa utilizar as cartas eletrónicas de uma forma contínua e sem quebras na informação.

Tal como as cartas de papel, é expectável que as CEN contenham a mais recente e atualizada informação disponível. De facto, a definição de CEN é de tal ordem que assume que a atualização se encontra incorporada na própria carta. Existem no entanto exemplos que indicam, que a manutenção das CEN nem sempre se encontra sincronizada com a carta náutica. Em princípio, a implementação de bases de dados batimétricos e cartográficos permite

que, pessoal bem treinado, possa gerir um conjunto de dados hidrográficos a partir dos quais a informação cartográfica é extraída, independentemente do produto final. Não existe dúvida de que esta tecnologia é uma realidade, em termos de capacidades de software e de hardware. Porém, um dos maiores obstáculos, comum aos vários Serviços Hidrográficos, é a disponibilidade, a formação e o treino dos recursos humanos.

Outro desafio consiste na eliminação da sobreposição entre cartas eletrónicas da mesma banda de utilização. A maioria das sobreposições foram criadas inadvertidamente durante a produção, o que não constitui propriamente uma surpresa, para as CEN produzidas diretamente a partir das cartas de papel, onde esta sobreposição era frequente. Estes tipos de sobreposições existem, quer a nível nacional, quer a nível internacional, mas em geral são prontamente solucionadas, excepto nas áreas de sobreposição associadas à reclamação de direitos de soberania em zonas em disputa. Nalguns países, a disputa das fronteiras marítimas, transcende os assuntos relacionados com a segurança da navegação, e assume contornos políticos.

O desenvolvimento das CEN, sob a perspetiva da OHI, foi muitas vezes condicionado pelas questões anteriormente abordadas. Foi colocado menos ênfase nos serviços de distribuição, que se encarregam de fazer chegar as cartas aos navegantes na ponte dos navios. Este não é um problema prático para a maioria dos Serviços Hidrográficos, os quais preferem confiar em organizações comerciais para desenvolverem estes serviços. No entanto, a entrega do serviço é um elemento crucial, pois assegura-lhe a chegada atempada das CEN a bordo do navio e corrigidas dos mais recentes Avisos aos Navegantes. Os últimos anos têm sido pródigos em negociações para encontrar soluções para coordenar melhor as atividades dos RENC. Embora este seja um movimento potencialmente positivo, pode no entanto passar algum tempo, antes de o conceito WEND emergir na forma idealizada pelos seus criadores, e todos os benefícios do ECDIS, incluindo as opções de distribuição simples e diretas, correrem o risco de se tornar aparentes num curto prazo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Parecem não restar dúvidas de que o panorama oferecido pelo ECDIS é altamente popular, seguro e eficaz, quando colocado nas mãos de equipas bem treinadas nas pontes dos navios. Continua a faltar, no entanto, um serviço de distribuição CEN com uma cobertura mais aproximada da idealizada pelo WEND, para satisfazer as necessidades do navegante, incluindo um sistema de gestão de fólhos e ferramentas de optimização de viagens. No futuro, os esforços deverão centrar-se no contínuo aumento da cobertura, na melhoria da qualidade e da consistência das CEN já produzidas.

A data limite de 2010, estipulada pela OHI como o ano em que os seus Estados Membros se comprometeram a ter produzido uma adequada cobertura CEN já foi atingida, estando neste momento prestes a iniciar-se a fase de obrigatoriedade da existência de ECDIS a bordo dos navios. Neste período, com início a 1 de julho de 2012, os Estados-Membros da OHI devem continuar a envidar todos os esforços para melhorar a cobertura CEN prioritariamente nas aproximações e nos portos com maior relevância, só assim será possível continuar a sustentar a obrigatoriedade de utilização de ECDIS e de cartas eletrónicas a bordo dos navios. Nessa conformidade, a OHI, as Comissões Hidrográficas Regionais e os RENC devem assumir, como prioridade nas suas agendas, a sensibilização dos Estados para a cobertura CEN das áreas costeiras e portuárias.

REFERÊNCIAS

- DNV (2007). Effect of ENC Coverage on ECDIS Risk, *Technical Report n.º 2007-03*, 68 pp.
- Hailwood, P. (2005). Barriers to the Adoption of ECDIS, Comunicação pessoal na 9.^a reunião do Comité WEND, OHI, Mónaco.
- MBSHC (2007). Report of the Mediterranean and Black Seas Hydrographic Commission. *Proceedings of the XVII International Hydrographic Conference*, OHI, Mónaco, 6 pp.
- OHI (2000). *S-57 IHO Transfer Standard for Digital Hydrographic Data*, OHI, Mónaco, 114 pp.
- OHI (2012). WEND Principles, *M-3 Resolutions of the IHO*, OHI, Mónaco, 46-50.
- OMI (1996). Performance Standards for ECDIS, Resolução A.817 (19), OMI, Londres.

Métodos e Segurança da Navegação

Interference detection in Global Navigation Satellite Systems

J. Freitas (1) e T. Ferreira (1)

(1) GMV, Av D João II, T. Fernão Magalhães 7º, 1.17.02, Lisboa, Portugal (jose.freitas@gmv.com)

Abstract: Global Navigation Satellite Systems (GNSS) are the backbone of all the major navigation applications nowadays. Modern maritime transport systems, aviation and automobiles make use of GNSS to get accurate positioning and be efficient when travelling from A to B. From the advent of GPS, receivers have vastly improved, miniaturized until becoming mass market products available to the general public. GNSS use satellites to broadcast signals, which are then processed by receivers to compute position as well as timing information. These signals are prone to interferences coming from other sources, either accidentally or intentionally. Incorrect information can be calculated by the receivers, or even position cannot be determined, when jamming occurs. While it is impossible to impede all interferences, it is possible to detect and quantify them for mitigation actions. This paper presents a technical solution to perform interference detection and characterization based on the analysis of the L1 band signal.

Keywords: GNSS Navigation Satellite interference jamming

1. INTRODUCTION

The first step in setting up an operational Global Navigation Satellite System (GNSS) was taken by the US Navy, to meet its defense, navigation and geographic survey needs. The TRANSIT satellites started broadcasting signals on the 150 and 400 MHz frequencies, back in 1960. Positive results led the US Department of Defense (DoD) to develop a much improved system, the NAVSTAR GPS (Global Positioning System), its first block of satellites launched in 1978. Subsequent upgrades have been made, and modernization is still in course. The Soviet Union was a competitor in this field starting to launch satellites as early as 1967, of what is now called GLONASS (Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema). After some troubled years, great effort was put in by the Russian Federal Space Agency (Roscosmos) into bringing GLONASS to the frontline of GNSS systems. It achieved global coverage in 2011 and has been accepted in the commercial mass market. Mainstream smart phones brands incorporate GLONASS receivers as a complement to GPS. The European Galileo system is being deployed, the first two operational satellites having been launched in late 2011. It shall add the unique Public Regulated Services (PRS) capability, an encrypted signal restricted for European governmental institutions use, one of its advantages being the support to emergency response.

The BeiDou Navigation System is the Chinese response to GPS and Galileo, launched in 2000. Despite the late start when compared to the others, a fully new second generation BeiDou-2 or Compass navigation system is under construction. Its 35 satellite constellation initiated launch in December 2011 on a fast pace, and it is expected to become

fully operational in the Asia region already in 2012, and worldwide as late as 2020.

During the last six decades where satellite signal has been alive, a huge number of applications have been vastly improved or made possible. Innovation is on high note, with many new applications stemming from the easy and inexpensive access to GNSS technology.

Great strides have been made in air and surface transport navigation, at safety and efficiency levels. The accuracy and coverage of GPS has enabled ships to determine position, speed and course much better than before (compass, radio nav aids and celestial navigation). Several safety-of-navigation applications are now mandatory by the International Maritime Organization (IMO), such as Automatic Identification Systems (AIS) or Long Range Identification and Tracking (LRIT), which broadcast the ship's position. These serve the purpose of avoiding collisions, enabling ships to be monitored for ensuring its safety, and to provide location-based aid-to-navigation (AtoN). Fishing ships are also required to report activities to authorities, being the position sourced from GNSS. Special purpose Satellites (SAT-AIS) have been commissioned for receiving ship position reports.

Aviation is the environment where precise navigation has had the stronger impact in safety and cost efficiency. Modern airliners incorporate GPS receivers in their navigation systems, integrated with air data computers, inertial and radio navigation systems. Navigation performance has greatly improved allowing for better use of airspace, and higher flexibility while operating from demanding airports or in adverse weather. Existing legacy radio navigation aids are being complemented, and in

some cases replaced, by different solutions based on GNSS.

The mass market for GNSS is in the automotive sector and personal navigation systems. Fleet management systems for buses, trucks, vans and taxi cabs are standard, all using GPS for positioning. Equipment for car navigation is quite affordable, and many drivers rely on guidance cues to drive every day. Most smartphones include navigation features, very popular for tourists wishing to find their way in urban areas.

2. RISKS IN GNSS APPLICATIONS

The maritime market for GNSS, despite the originator of GPS, has been the slower to make extensive use of these technologies, in the civil sector. However, since the introduction of AIS in 2002, all ships above 300 GT involved in international voyages, and all passenger ships, have been fitted with transponders capable of sending and receiving reports geo-referenced with GPS information. Transponders can also be found in shore stations, buoys, oil platforms, and even in ships not required by law to use them. The Global Maritime Distress Safety System (GMDSS) has provisions for AIS to be used as a transmission channel in distress situations. Ships can “see” the position of others in the vicinity, avoid sailing over buoys, receive weather information, be monitored by maritime authorities for their own safety, and deliver precise location to Search and Rescue (SAR) responders when in distress.

Great trust has been put into GNSS by the society, and citizen protection applications where safety of life is the main goal rely on it. In the event that position from GPS is incorrect or unavailable in unforeseeable situations, there could be great risk to safety. A study was made by the General Lighthouse Authorities of the United Kingdom and Ireland (Grant et al., 2011) on the effects that GPS jamming could have in navigation safety. Results showed it was quite possible that ships could drift off course, mislead others in the maritime awareness picture, and turn GPS-based bridge equipment a nuisance when alarms are triggered. Plus, Differential GPS (DGPS) equipment is deployed in many countries to enhance precision navigation to ships entering ports, for instance.

Similar impact is observed in aviation, taking the example of a truck carrying a jamming device to elude its own fleet management system that rode a highway near the Newark Liberty Airport and interfered with aviation receivers (Warburton and Tedeschi, 2011).

As a consequence, interagency, international cooperation by stakeholders has spiraled, aiming to create mechanisms, procedures, and legislation to

prevent and fight unlawful interference to GNSS signals. Constant monitoring of the spectra in the vicinity of airports, to detect Radio Frequency Interference (RFI) is a procedure adopted in many countries.

3. GNSS SIGNALS

GPS has been broadcasting signals over the last decades, and the Global Navigation Satellite Systems community has been witnessing a highly proliferous scenario where new constellations, modulations and signal designs are being proposed with the goal of improving navigation performance.

The current international scenario includes the emergence of Satellite-Based Augmentation Systems (SBAS), e.g. in Russia and China, as well as the modernization of the current operational ones in Europe and in the United States. Furthermore, new GNSS such as Galileo and COMPASS are currently being deployed and the legacy GPS and GLONASS are being modernized. At least GPS, Galileo and GLONASS intend to provide open services in the Aeronautical Radio Navigation Service (ARNS) frequency bands (L1/ L5 for GPS and E1/ E5a for Galileo).

Figure 1 shows an example of the crowded spectrum in the GPS L1 band (Avila-Rodriguez et al., 2007).

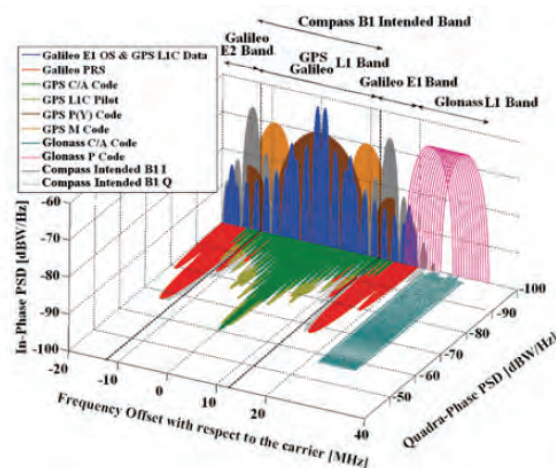


Fig. 1. Spectra of GPS, Galileo, GLONASS and Compass Intended Signals E1/ L1

4. SIGNAL INTERFERENCE

Interference to GNSS in the L1 band within the scope of Open Services is defined as all interferences that fall within 1575.42 ± 10 MHz.

Figure 2 depicts an example of the effect of jamming around the intermediate frequency (IF) in the GNSS receiver, i.e. after down-conversion from Radio Frequency (RF).

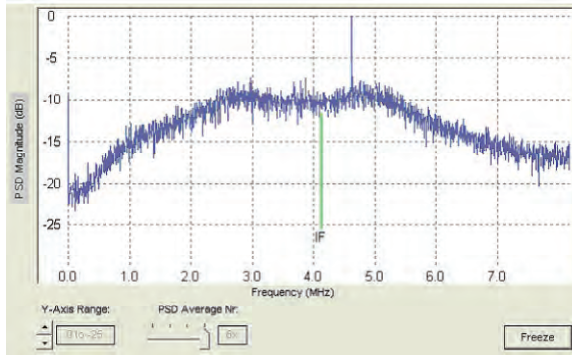


Fig. 2. Example of GPS L1 signal in presence of jamming at IF

Interference may be either intentional or unintentional. Although most interferences reported are non-intentional (mainly due to mal-functioning of other devices in the operational vicinities), intentional interferences have become a growing concern. Not only because of the major impact on critical operations but also due to the easy access to GNSS jammers. As an example, the cost of some of these jammers could be as low as a few tens of euros.

On one hand, the strength of a GNSS signal is so low, that a low power jammer can have a major impact. Unintentional jamming has been reported in Rome 1997-1998 where a 5 W emitter jammed GPS signals over hundreds of km during 3 days (T. McGurn, 2009). As of recent there are suspicions that North Korea is behind jamming events reported by South Korean airliners (GPSWorld, 2012).

On the other hand, as shown in Figure 1, since GNSS signals tend to occupy the same bands (for interoperability purposes), multi-constellation receivers may not be able to avoid jamming *per se*.

Besides jamming, more advanced intentional interference types exist such as spoofing and meaconing, but they will not be considered in this study.

In fact, while the cost of GNSS jammers is decreasing, currently available interference detectors are quite expensive. Most make use of spectrum analyzers to inspect the GNSS spectrum in order to search for potential interferences. However, the main disadvantages are cost, resolution and the fact that the analysis of the spectrum does not relate directly to the impact at GNSS receiver level

5. TECHNICAL SOLUTION: INTERFERENCE DETECTION AND CHARACTERIZATION

In many critical applications in the aeronautical and maritime environments, it is fundamental to firstly detect interference in the GNSS band and secondly to characterize it. While the former can be used as an indication of loss of accuracy of the system and warn

the users, the latter can be used to further understand the occurrence (e.g. identifying the source).

In contrast to the spectrum analyzer costly approach described above, a software approach using a GNSS front-end allows performing a complete characterization of both the incoming signal and its impact at receiver level; with the additional advantage of providing great flexibility. Hence according to the current trends, it is fundamental to work at GNSS front-end level in order to detect and even characterize the potential menaces. Although additional techniques can be used at later stages in the receiver (baseband processing and navigation), this is the key starting point to be able to inspect the whole processing chain. Regarding the use of GNSS front-ends, it should be noted that it is desirable to fully control the front-end characteristics (e.g. filter bandwidths), as commercial off-the-shelf front-ends with narrow filters and short linear regions may reduce the interference detection capability and provide little flexibility in the analysis. In the same line of reasoning, software receivers are an adequate solution for interference detection and mitigation due to their high flexibility and low cost.

In this scope, GMV has developed its own solution: the srx-10i which is a complete GNSS Interference Detection and Analysis System.

The system components include:

- A GNSS front-end hardware, in-house product;
- Real time processing and monitoring software, shown in Figure 4;
- Analysis system: to collect samples and post-process the data.

As discussed previously, the front-end is one of the key components: its linear region extends up to around -75 dBm, as depicted in Figure 3.

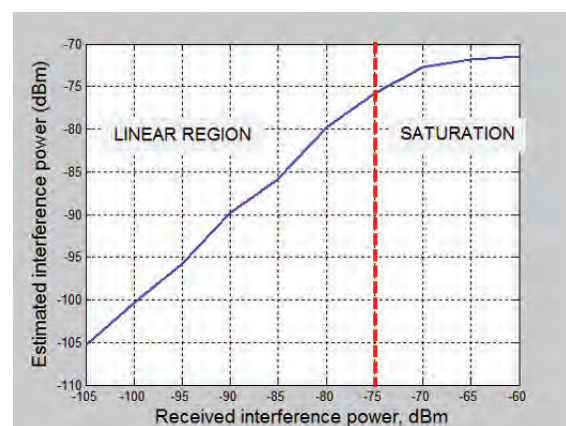


Fig. 3. Front-End Linear Region

The main objective of this technical solution was to be able to detect and characterize interference in the GNSS band using low-cost and portable devices, such as the one in Figure 4.



Fig. 4. Front-End Hardware

Simulation tests were made in laboratory environment and the results proved that the integrated solution to fulfill all technical requirements in terms of signal processing and post-process output.

This system is now being installed in eight different airports in Spain, having passed the validation tests with the national airport and Air Navigation Service Provider (ANSP) AENA. The operationalization of this solution is acknowledged to be a decisive step towards increasing aviation safety.

Finally, an example of the outputs of the tool is shown in Figure 5.

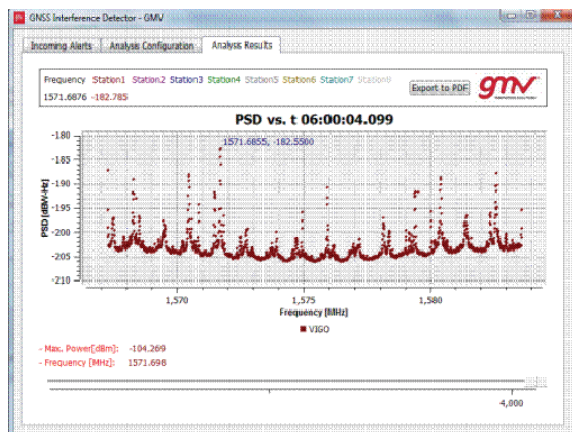


Fig. 5. Outputs of the Interference Detector

6. CONCLUSIONS

There is ample awareness about the risks that signal interference poses to GNSS-based applications, either surface or airborne. Stakeholders at user, regulator, manufacturer and service provider level have carefully assessed the benefits and drawbacks of relying on GNSS. It is widely acknowledged that preventing interferences to happen is virtually impossible. There is no turning back, and development of GNSS constellations is in fact accelerating. In parallel, measures have been taken to mitigate risks, and to rise safety levels. Other legacy navigation systems are considered more to be part of

a safety net than obsolescent. A good example is LORAN (LONG RANGE Navigation), a radio maritime navigation system, once doomed as redundant, is now being modernized into the eLoran, devised to counteract the vulnerability of GNSS systems.

On the GNSS side the immediate concern is to detect the interference, as early as possible. Receivers are omnipresent, and in constant motion, so is the associated threat. Detectors should be available to authorities, integrated with receivers for own surveillance, and flexible to be part of wider scope safety assurance systems. The cost of GNSS receivers and jammers is shrinking, while the detectors are moving in the opposite direction. In this case it can be said that lower cost detectors equals to higher safety.

Success has been achieved by a software based approach, having an ANSP taken the decision to put srx-10i in operation at eight airports. This proves that a software based approach, as opposed to a single chip, grants the user a greater flexibility to evolve, integrate with other tool, while keeping cost below acceptable levels. New types of GNSS signals will populate the skies shortly, thus flexibility is a major asset for interference detectors systems.

REFERENCES

- Avila-Rodriguez, J.A.; Hein, G. W.; Wallner, S.; Issler, J.L.; Ries, L.; Lestarquit, L.; Latour, A.; Godet, J.; Bastide, F.; Pratt, T.; Owen, J. & Members of the Galileo Signal Task force of the European Commission (2007). "The MBOC Modulations, A Final Touch for the Galileo Frequency and Signal Plan", InsideGNSS, Sep-Oct 2007, pp. 43-58.
- Grant, A.; Williams, P.; Basker, S. & General Lighthouse Authorities of the United Kingdom and Ireland Harwich, UK (2011). "GPS Jamming and its impact on maritime safety", Port Technology International, edition 46:39-41.
- Warburton, J.; Tedeschi, C. & FAA (2011). "GPS Privacy Jammers and RFI at Newark - Navigation Team AJP-652 Results", March 2011.
- McGurn, T. & EXEC PNT Advisory Board (2009). "A US Program to Identify, Geolocate, and Mitigate Sources of GPS Interference, But are we serious?", November 5-6, Alexandria, Virginia.
- GPSWorld, 2012. "Massive GPS Jamming Attack by North Korea", May 8, 2012.

A informação meteorológica no mar, produtos e aplicações de apoio ao sistema de segurança marítima

A. Carvalho (1)

(1) Instituto de Meteorologia, Rua C do Aeroporto 1749-077 Lisboa. anabela.jc@meteo.pt

Resumo: A vasta estrutura da comunidade marítima, constitui uma área de interação entre entidades com responsabilidades e atribuições diversas e nesta área a importância do conceito de segurança marítima é transversal a diferentes domínios. No âmbito da proteção meteorológica de apoio à segurança nas atividades desenvolvidas no mar, o Instituto de Meteorologia, I.P. (IM) assegura a vigilância meteorológica e a difusão regular da informação meteo-oceanográfica para apoio à navegação marítima conforme as normas do *Global Maritime Distress and Safety System* (GMDSS). Pretende-se neste artigo apresentar as atividades nos domínios do desenvolvimento, implementação e sustentação de produtos do sistema de previsão de agitação marítima que contribuem para a difusão regular de informação e previsões do estado do tempo e do mar específicas para as áreas de mar de responsabilidade nacional.

Palavras chave: vigilância meteorológica, informação meteo-oceanográfica, segurança marítima.

1. INTRODUÇÃO

Um século após o naufrágio do navio transatlântico RMS Titanic, temas como a informação de segurança marítima e vigilância, permanecem como prioridades no sistema mundial de socorro e segurança marítima. A ocorrência do naufrágio do Titanic em 1912, demonstrou a necessidade de melhoria do sistema de monitorização da segurança marítima implementado na época e a consequente adoção de medidas específicas por parte das nações marítimas, nos mais diversos setores que interagem direta e indiretamente em prol da salvaguarda de vidas e da proteção ambiental. As consequentes alterações nas normas de construção naval, o investimento na vigilância e monitorização e a criação de uma patrulha internacional do gelo (IIP), são exemplo da fragilidade do sistema na época. Consequentemente, no ano de 1914 surge a primeira versão da Convenção Internacional *Safety of Life at Sea* (SOLAS), tratado de segurança marítima que vigora até à presente data, com as subsequentes alterações e revisões (IMO, 2009). Atualmente a Convenção SOLAS, tem como objetivo essencial promover a salvaguarda da vida humana no mar e a proteção do meio ambiente, estabelecendo acordos comuns, princípios e regras uniformes no tratado. Portugal, como parte contratante da Convenção SOLAS (1974) assumiu esse compromisso, entre os quais o de adotar os procedimentos e critérios comuns aos serviços meteorológicos internacionais respeitando as normas da *World Meteorological Organization* (WMO) em colaboração com a *International Maritime Organization* (IMO) e a *International Hydrographic Organization* (IHO) no que diz respeito às implicações decorrentes da Convenção SOLAS. De acordo, com esta convenção é solicitada a colaboração dos navegantes na comunicação de qualquer fenómeno ou condições de tempo que constituem um perigo à segurança da navegação marítima, assim

como, a difusão regular dos boletins e alertas meteorológicos específicos para o mar por parte dos serviços meteorológicos (WMO, 2001).

2. INFORMAÇÃO METEOROLÓGICA DE APOIO À SEGURANÇA MARÍTIMA

No âmbito da proteção meteorológica de apoio à segurança das atividades desenvolvidas no mar, a informação meteorológica é difundida pelos serviços meteorológicos oficiais, em conformidade com as normas da WMO e os acordos estabelecidos com as autoridades nacionais e internacionais. Reconhecendo-se a necessidade de otimizar, automatizar e difundir a informação de segurança marítima de forma mais expedita, no âmbito da GMDSS dividiram-se os Oceanos e os Mares em áreas de responsabilidade (METAREAS), para as quais nomeou um Serviço Meteorológico como coordenador regional (fig. 1).



Fig. 1. Mapa das METAREAS e respetivos coordenadores no GMDSS (Fonte: WMO, 2011).

Nestes domínios, compete ao serviço nacional de meteorologia assegurar a vigilância meteorológica, elaborar e difundir regularmente boletins meteorológicos específicos, avisos e alertas meteorológicos para todos os fins, para as áreas de mar de responsabilidade nacional (fig. 2) inseridas

maioritariamente na METAREA II, conforme as normas do *Global Maritime Distress and Safety System* (GMDSS).

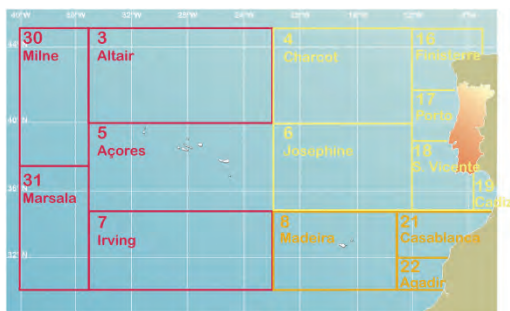


Fig. 2. Áreas de mar de responsabilidade nacional (subáreas maioritariamente da METAREA II) para as quais o serviço meteorológico nacional assegura a elaboração e difunde regularmente os boletins meteorológicos específicos para o mar conforme as normas definidas internacionalmente (Fonte: IM).

2.1 A Vigilância Meteorológica no Mar

O serviço meteorológico português é a autoridade meteorológica nacional para fins marítimos, dispõe de um programa nacional único de previsão e análise da camada limite atmosférica e do oceano subjacente, visando a salvaguarda de vidas e bens no mar. Cumprindo os acordos nacionais e internacionais estabelecidos, o serviço meteorológico nacional efetua a vigilância meteorológica para fins gerais e específicos, em colaboração com vários organismos nacionais (Marinha, Força Aérea, Instituto Portuário e dos Transportes Marítimos, Autoridade Nacional de Proteção Civil, e outros) promove a difusão da informação meteorológica nos diversos circuitos nacionais e circuitos internacionais. Estes últimos consistem no sistema internacional de radiodifusão NAVTEX e nas comunicações marítimas por satélite (Inmarsat – SafetyNET) implementados no âmbito do GMDSS. O serviço meteorológico elabora regularmente os boletins meteorológicos específicos para as áreas de mar de responsabilidade nacional, que contemplam a previsão do estado do tempo e do mar e a emissão de avisos (como por exemplo, os avisos de tempestade, de vento forte, visibilidade reduzida e agitação marítima forte). Os boletins são definidos por:

- ▲ Boletins Costeiros, boletins que abrangem as áreas de mar até às 20 milhas da costa portuguesa (informação transmitida em português, por VHF);
- ▲ Boletins para o Alto mar, que cobrem as áreas definidas na figura 2 (informação transmitida em português e inglês por fonia em VHF e por meio do *navigational telex system* (sistema NAVTEX).

Presentemente, a informação meteo-oceanográfica difundida no sistema NAVTEX Internacional também está acessível na web, nomeadamente:

- ▲ NAVTEX Internacional (518 khz, em inglês) na *homepage* do GMDSS

(<http://weather.gmdss.org/>), ferramenta desenvolvida e implementada pela Météo-France, e que permite aos utilizadores da comunidade marítima aceder em tempo real à informação meteo-oceanográfica. Pretende-se nesta plataforma disponibilizar toda a informação difundida no GTS¹(JCOMM/ETMSS, 2010);

- ▲ NAVTEX Nacional e Internacional no *webservice*: ANAVNET (<http://anavnet.hidrografico.pt/>).

Desenvolvido e gerido pelo Instituto Hidrográfico com o propósito de disponibilizar toda a informação de segurança marítima para as áreas de responsabilidade nacional.

2.2 Produtos e Aplicações de Meteorologia Marítima

No Serviço Meteorológico a Meteorologia Marítima constitui um campo de interação entre a Oceanografia Física e a Meteorologia e tem por objetivo o estudo da física da baixa atmosfera oceânica e a previsão do estado do mar. Neste contexto a Meteorologia Marítima compreende áreas de atuação, no âmbito da coordenação, observação, modelação numérica, vigilância meteo-oceanográfica, formação e cooperação nacional e internacional onde se incluí o acompanhamento das normas e recomendações da WMO-IOC *Joint Technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology* (JCOMM) e respetivos Grupos de Trabalho, nos quais o serviço meteorológico é membro.

As atividades desenvolvidas na meteorologia marítima pretendem dar respostas às diversificadas tarefas operacionais na área da formação, do desenvolvimento e validação de modelos de previsão de agitação marítima e respetivos produtos, correspondendo com a eficácia e o rigor necessário às solicitações internas e externas de utilizadores com perfis distintos. Desenvolvem-se igualmente estudos nos domínios da previsão de agitação marítima e climatologia marítima. Entre as atividades associadas, salienta-se a operacionalização e monitorização de três modelos de previsão de agitação marítima que pertencem a uma configuração de terceira geração, dois dos quais desenvolvidos no *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), o modelo global *Wave Model* (WAM) com resolução espacial de 0.25° (WAMDI group, 1988), e o modelo de ondas de área limitada *European Shelf Model* (denominado de *LAM*) que abrange significativamente o Atlântico Norte com 0.1° de resolução. O espectro direcional de ambos é discretizado em 36 frequências e 36 direções, e consequentemente, são calculados parâmetros descritivos do estado do mar. Recentemente, foi

¹ *Global Telecommunication System*.

implementado o modelo de águas pouco profundas, *Simulating WAVes Nearshore (SWAN)* na região adjacente a Portugal Continental, com uma resolução horizontal de 0.05° e resolução espectral de 36 direções e 36 frequências, no domínio 44°N/14°W/36°N/6°W. O modelo SWAN é também um modelo de terceira geração, desenvolvido na Delft University of Technology (TUDelft), Holanda (Booij et al., 1999). O modelo é forçado por condições iniciais e de fronteira provenientes do modelo atmosférico de área limitada ALADIN (o campo do vento a 10 m), integrado com a resolução horizontal de 9 km, e densidade espectral do modelo LAM do ECMWF. O modelo SWAN gera previsões de agitação marítima (costeira) com uma frequência tri-horária até 3 dias (H+72), permitindo a ampliação da oferta de produtos de previsão de agitação marítima, reforçando a informação meteo-oceanográfica no apoio à navegação marítima, visando a salvaguarda de vidas e bens no mar e a rentabilização das atividades marítimas costeiras (por exemplo, as construções portuárias e terminais petrolíferos) e daquelas que exploram os recursos do mar como, a pesca, a aquacultura, a energia *offshore*, os desportos náuticos, o turismo náutico, determinantes no impacto sócio-económico do país.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema nacional de apoio à comunidade marítima, envolve a interação entre entidades com responsabilidades e atribuições diversas na manutenção operacional de um sistema de segurança marítima nacional e internacional. O Instituto de Meteorologia (futuro IPMA²), entidade responsável a nível nacional pelas atividades nos domínios da vigilância meteorológica e informação pública, assegura a informação meteo-oceanográfica de apoio à segurança nas atividades desenvolvidas no mar. Cumprindo as normas internacionais, elabora e disponibiliza regularmente a informação meteo-oceanográfica das áreas de mar de responsabilidade nacional.

Agradecimentos

Ao Instituto Hidrográfico pela colaboração prestada.

REFERÊNCIAS

- Booij, et.al (1999). A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation, *J. Geoph. Research*, 104, C4, 7649-7666
- IMO (2009). *Joint IHO/IMO/WMO Manual on Maritime Safety Information (MSI) – Special Publication N°53*. The International Hydrographic Bureau.
- JCOMM/ETMSS (2010). *Expert Team on Maritime Safety Services (ETMSS) – JCOMM Meeting Report*, 82, 40 pp.
- WAMDI group (1988). The WAM model – a third generation ocean wave prediction model, *J. Phys. Oceanogr.*, 18, 12, 1775–1810.
- WMO (2011). *Weather Reporting, N.º 9 Vol. D - Information for Shipping*. World Meteorological Organization.
- WMO (2001). *Guide to Marine Meteorological Services N.º 471*. World Meteorological Organization.

² Instituto Português do Mar e Atmosfera

Levantamentos expeditos no apoio às operações navais

V. Plácido da Conceição (1)

(1) Instituto Hidrográfico, placido.conceicao@marinha.pt

Resumo: Nas operações navais vários são os cenários onde é necessário executar levantamentos expeditos, devido à inexistência de informação hidrográfica ou por não ser adequada. No caso específico das operações humanitárias devido por exemplo a catástrofes naturais, a pressão do tempo é determinante para o sucesso deste tipo de operações.

Nos últimos tempos tem-se assistido a um expressivo desenvolvimento nas tecnologias de navegação, nomeadamente de posicionamento satélite, nos transdutores e em sistemas de informação geográfica (SIG). Estas caracterizam-se por ser cada vez mais comuns, de fácil acesso e de custos cada vez mais reduzidos. Nestas circunstâncias foi desenvolvido um projecto que aplicasse de forma integradas as novas tecnologias com o objectivo de reformular a forma como são tradicionalmente efectuados os levantamentos expeditos. Utilizando um receptor GPS (SBAS), um transdutor de baixo custo e um SIG, operados por pessoal não especializado em levantamentos hidrográficos, aplicando filtros e técnicas análise de dados simples, foi desenvolvido uma metodologia que permitiu produzir informação batimétrica adequada para a selecção de uma passagem safe.

Keywords: *Maritime Safety*; Levantamentos Hidrográficos; repostas a desastres naturais; sistemas de navegação.

1. INTRODUÇÃO

Ocasionalmente, por razões diversas, os navios são confrontados com informação náutica inexistente, desactualizada ou inapropriada para a condução de determinada operação naval. Circunstâncias reais demonstram que a bordo dos navios, não obstante a disponibilidade de uma panóplia de sistemas e equipamentos de navegação, a capacidade operacional dos navios fica severamente constringida perante a falta de confiança na informação batimétrica ou a sua inexistência.

Os recentes desenvolvimentos técnicos associados com o uso da cartografia electrónica, nomeadamente o ECDIS (*Electronic Chart Display and Information System*) e os GNSS (*Global Navigational Satellite System*), colocam o navegante numa posição de maior dependência de informação actualizada e rigorosa. Consequentemente, em paralelo com a implementação de novas tecnologias de navegação tem-se desenvolvido novos requisitos para a condução da navegação, não só relativos a matérias técnicas, como a regulamentares e na formação e treino.

Em cenários de catástrofe natural em zonas costeiras, o sucesso das operações de busca e salvamento suportado por via marítima está estreitamente relacionada com a capacidade de avaliar as alterações nas condições ambientais.

Nestas condições, considerou-se relevante reavaliar a forma tradicional como os navegadores executem os levantamentos expeditos, atendendo às novas tecnologias e sistemas de informação disponíveis, bem como às qualificações profissionais do pessoal de bordo. Aproveitando-se de recursos facilmente disponíveis, em particular sistemas de rádio-posicionamento satélite, sondadores de baixo custo, SIG's (Sistemas de Informação Geográfica) e *software* comum, foi desenvolvido e avaliada uma metodologia para con-

dução de levantamentos expeditos e apresentação da informação necessária para a execução das operações navais em cenários onde a informação topo-hidrográfica existente é inapropriada.

2. O PROBLEMA

Actualmente, as razões para a necessidade de um levantamento expedito em pouco se alteraram. Elas prendem-se essencialmente com a existência de:

- Um longo período desde do último levantamento topo-hidrográfico;
- Informação batimétrica inadequada ou duvidosa;
- Uma área insuficientemente sondada;
- Alterações topo-hidrográficas devidas a causas naturais ou artificiais (tsunamis, terremotos, vulcões, inundações, guerras, ...);
- Recolha de dados para um comunicado hidrográfico (sonda, Ajuda a Navegação, novas facilidades portuárias, ...).

Os estados costeiros, em particular os institutos hidrográficos em coordenação com o IHO (*International Hydrographic Organization*), tem enveredado largos esforços para providenciar informação náutica mais rigorosa, actualizada e nos formatos adequados aos novos requisitos de navegação. No entanto, nada podem fazer perante cenários de catástrofes naturais ou artificiais. Ainda no Novembro passado, o Japão apresentou uma proposta de alteração à resolução da IHO 1/2005, "*IHO Response to Disasters*". Esta proposta reflecte em muito as necessidades sentidas para o apoio imediato das operações de salvamento e o subsequente restabelecimento das condições de segurança para a navegação.

Assim, neste tipo de cenários, as prioridades são:

- Avaliar imediatamente os danos e os efeitos para a segurança da navegação;

- Informar rapidamente os navegantes dos perigos a evitar;
- Assegurar, o quanto antes, o restabelecimento de rotas de navegação;
- Actualizar a informação náutica publicada (cartas e publicações náuticas).

Em caso de catástrofe, os meios navais envolvidos nas operações de salvamento, pretendem em primeiro lugar estabelecer, em tempo útil, uma rota de navegação segura, sendo que tal não determina o conhecido rigoroso do fundo marítimo. Portanto, para a identificação de um canal adequado a um determinado navio é importante efectuar o levantamento de áreas mais extensas, providenciando ao comando das forças navais mais opções de acção, pela disponibilização de informação hidrográfica de maior qualidade, em termos de confiança e rigor. O trabalho deve também ter em conta os requisitos de representação e integração da informação produzida, em particular nos novos sistemas de informação de bordo (ex: ECDIS).

3. METODOLOGIA PROPOSTA

Na última década os métodos e sistemas de navegação marítima tem-se caracterizado por:

- Desenvolvimento da *eNavigation*;
- Disponibilização de sistemas de comunicações com maior capacidade e disponibilidade (banda larga, Data links: AIS, DGPS, VTS, WiMax);
- Utilização de cartografia electrónica;
- Sistemas de rádio posicionamento satélite com maior integridade, rigor e disponibilidade.

Adicionalmente os SIG's tornaram-se mais acessíveis, com maior compatibilidade de formatos e *user-friendly*.

Neste contexto pretendeu-se testar uma metodologia de execução de levantamentos expeditos utilizando SIG e equipamentos e sensores de baixo custo (GPS's portáteis, sondadores de recreio e *laptop*). Os SIG servem para apoiar a compilação de informação georreferenciada e planeamento do levantamento, conduzir o levantamento, analisar os dados e efectuar a representação cartográfica em vários formatos (electrónica ou papel). Com os sensores de baixo custo pretendeu-se favorecer a disponibilidade, facilidade de utilização, montagem e integração.

A solução proposta, representada na Figura 1, apresenta no entanto alguns desafios relacionados com:

- O custo financeiro (equipamentos, software e formação) em harmonia com a probabilidade de utilização e requisitos operacionais;
- O pessoal disponível não é especialista em levantamentos;
- Tempo disponível para condução dos levantamentos expeditos é normalmente reduzido face a premente necessidade soluções em tempo útil

(regra geral as operações de busca e salvamento cessam ao fim de seis dias).

Em todo o processo deu-se relevância à caracterização dos erros para avaliação da confiança da informação e análise de riscos, por exemplo avaliando os erros na montagem dos equipamentos e na sua calibração.

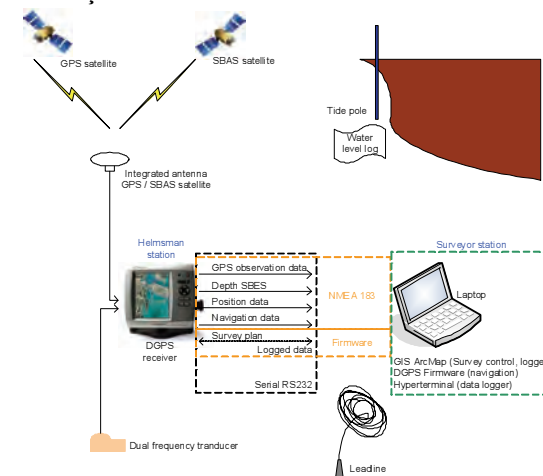


Figura 1 – Representação esquemática dos equipamentos e suas ligações

O GPS usado foi um GARMIN 525S, com sonda digital, em modo diferencial (EGNOS) e o SIG foi o ARCInfo da ESRI.

4. LEVANTAMENTO EXPEDITOS

De uma forma simplista, o navegante avalia o risco de encalhe em função dos seguintes parâmetros:

- Condições topo-hidrográficas;
- Condições Meteo-oceanográficas (METOS);
- Características do navio;
- Requisitos da missão (tempo disponível, vidas em risco, ...);
- Recursos disponíveis (pessoal e material).

Os riscos são preferencialmente quantificados em função da probabilidade de ocorrência e impactos.

A bordo, a forma mais comum de mitigação do risco consiste no estabelecimento de resguardos de segurança verticais e horizontais. Para o primeiro, de entre vários elementos, atenta-se às sondas reduzidas, maré, pé de piloto, *squat*, tipo de fundo, incertezas, agitação marítima; para o segundo avalia-se a capacidade de manobra, as Linha Limite Águas Navegáveis, a incerteza na posição. Consequentemente, do levantamento expedito, o navegador espera obter os elementos que possam melhorar o processo de avaliação dos riscos.

A organização do levantamento expedito proposto (Figura 2) foi baseada nos processos dos levantamentos hidrográficos certificados de acordo com padrões internacionais (IHO, 2008). Desta forma e com as devidas adaptações, neste tipo de trabalhos é necessário estabelecer e identificar:

- A finalidade, formato e escala dos produtos finais;

- A área do levantamento;
- Os recursos: pessoal, material e equipamentos, apoio local, helicópteros, etc...;
- As fontes de informação cartográfica: ENC, cartas papel, publicações, imagens, pontos coordenados, relatórios, ...
- As fontes de informação METOC;
- Limitações: segurança e protecção, custos, tempo disponível.

Além da aplicabilidade nos cenários de catástrofes, os levantamentos expeditos podem também ser utilizados para outras finalidades tais como: reportar um perigo à navegação, coordenar ajudas à navegação deslocadas ou novas, efectuar um levantamento de uma área não representada nas cartas, proceder à busca de objectos submersos.

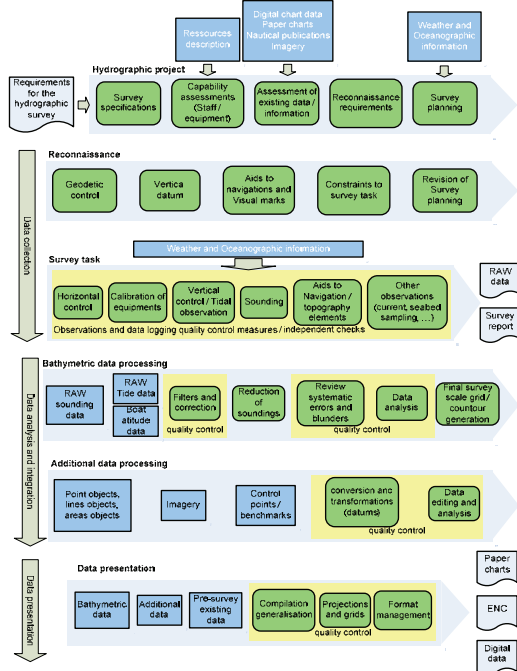


Figura 2 – Processo de execução de um levantamento expedito

5. VALIDAÇÃO

Para a validação da solução proposta foram efectuados dois levantamentos expeditos. Para as sondagens foram usados dados de controlo resultantes de levantamentos por multifeixe (MBES Kongsberg EM 3002), em Sines em simultâneo na mesma embarcação e em Setúbal na mesma data mas embarcações diferentes. Os dados foram comparados utilizando a diferença de modelos de superfície. Procedeu-se também à avaliação da observação expedita da maré (fita de maré), comparando os dados com os de um marégrafo permanente (Radar Krohne BM 70 P instalado no Jardim do tabaco, em Lisboa) e com os de um marégrafo de campanha (LevelTroll 700).

A avaliação do equipamento de posicionamento foi efectuada em modo estático no ponto coordenado do Instituto hidrográfico.

6. RESULTADOS

Atendendo ao objectivo de melhor avaliar as condições reais do pessoal envolvido, a observação da maré foi realizado por pessoal que nunca tinha efectuado este tipo de trabalho. Os resultados encontram resumidos na Figura 3, após testados diversos filtros optou-se por correr duas vezes a média móvel, obtendo-se um erro de 14,44 cm a 95% de confiança.

	Raw data	Filter 1 (Moving average)	Filter 2 (2 x Moving average)	Filter 3 (Moving average + filtfilt)	Estimated Tide (corrected)
Mean	4.13	4.10	4.07	4.14	-11.55
Average deviation	3.94	3.57	3.50	3.53	4.34
Standard deviation	5.35	4.75	4.61	4.60	4.99
Maximum	18.40	15.8	15.09	15.30	-20.05
95% confidence	15.57	14.47	14.44	14.53	-19.84

Figura 3 – Estatísticas dos erros residuais da maré

Para apoio do planeamento procedeu-se à recolha de vários tipos de dados de diversas fontes e classificados em três temas, conforme descrito na Tabela I.

Tabela I – Descrição da informação para o planeamento

Thematic area	Description	Themes
Essential information	To identify the survey area and to establish the local network	Bathymetry and depth contour; Control points; Benchmarks; Coastline; Fixed navigational aids
Base data	To characterize the operational area	Nautical charts; Military charts; satellite Imagery; Orthofotomaps
Complementary data	Added value to the information system	Road maps, Services (piers, marinas...); Relevant events (fires, damaged infrastructures); METOC data (currents)

Toda a informação recolhida foi tratada e compilada num SIG. Naturalmente e conforme esperado a flexibilidade e as ferramentas disponíveis revelaram-se de extrema utilidade neste processo. Foram efectuadas seis séries temporais de observações com o receptor GPS (EGNOS) em modo estático. Os resultados foram apresentados na forma de estatísticas sobre os erros residuais 2D, atendendo aos seguintes parâmetros: SNR, EHPE, HDOP, PDOP e Nr de satélites.

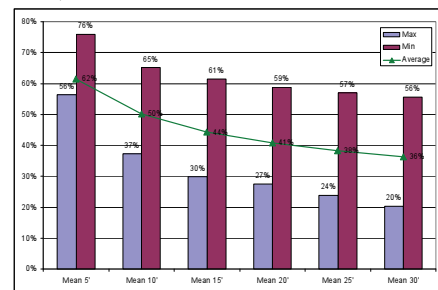


Figura 4 – Erros residuais máximos para soluções médias

Tabela II – filtros aplicados no pós-processamento das observações GPS

Filter	EGNOS	Number of satellites	HDOP (m)	EHPE (m)	Velocity (30s) (ms-1)	Velocity (10s) (ms-1)	Acceleration (30s) (ms-2)	Acceleration (10s) (ms-2)
0	Yes							
1	Yes	>4	<1.8	<3.3				
2	Yes	>5	<1.8	<3.3				
3	Yes	>5	<1.8	<3.3		<0.02		<0.002
4	Yes	>5	<1.8	<3.3		<0.005		<0.0005
5	Yes	>5	<1.8	<3.3	<0.002	<0.005	<0.0002	<0.0005

Perante os erros que se podem obter, tornou-se evidente que o uso de receptor desta categoria requer um cuidado adicional neste tipo de utilização. Desta forma, procedeu-se não só à avaliação da sua performance mas também na identificação de processos para redução dos erros. Avaliou-se o tempo de observação adequado para coordenação de um ponto fixo (Figura 4). Seguidamente, utilizando os vários parâmetros de observação disponíveis, foram testados vários tipos de filtros, descrito na Tabela II.

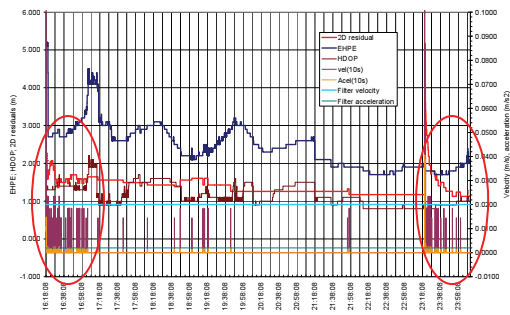


Figura 5 – correlação dos erros residuais com a velocidade e aceleração do receptor (30JUN)

A aplicação de filtros associados à velocidade e aceleração estimada do receptor permitiu reduzir significativamente os erros residuais (Figuras 6 e 7).

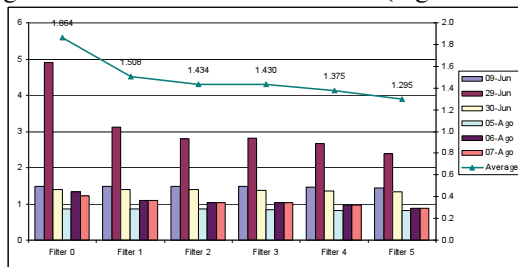


Figura 6 – erros residuais médios (m) para cada filtro

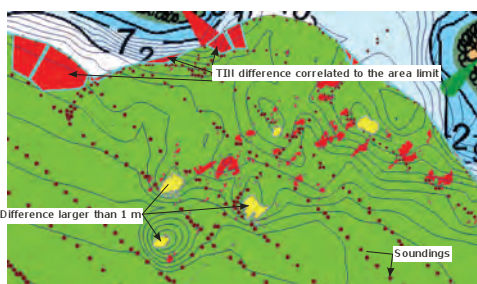


Figura 7 – Detalhe da diferença de superfícies (Sines, data set 3)

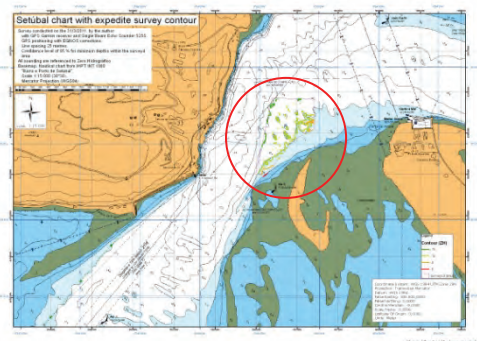


Figura 8 – Representação da batimetria corrigida

Para a redução das sondas foram considerados os seguintes factores: *offset* entre o transdutor e a antena GPS; comportamento da embarcação (estimado); raio do cone do feixe do transdutor e incerteza da profundidade; profundidade do transdutor; maré observada no local e margem de segurança.

Uma vez criados os modelos de superfície, pretendeu-se aferir a margem de segurança adequada para se obter uma superfície acima da superfície de referência com 95% de confiança. No sentido de se quantificar a diferença entre as duas superfícies, foram calculados os seguintes elementos: áreas e volumes acima e abaixo da superfície de referência, diferença média e máximas entre as superfícies e para cada área.

7. CONCLUSÕES

Os SIGs apresentam vantagens consideráveis no planeamento e condução do levantamento, além das superiores ferramentas de análise, que possibilitam o tratamento de grandes quantidades de dados.

O pós processamento das observações GPS permite reduzir erros residuais mais significativos, em modo estático é possível efectuar levantamentos de marcas fixas em conformidade com normas da OHI. Na coordenação de pontos fixos, o tempo de observação deve rondar entre 13 e 15 minutos.

A proliferação de *firmwares* e formatos dificulta a integração dos sensores e equipamentos.

Esta metodologia permite criar uma superfície de referência adequada aos objectivos propostos, com uma confiança superior a 95%.

Nos levantamentos expeditos deve-se sempre implementar formas de medição e controlo complementares, pois muitas das vezes só existe uma possibilidade de ir para o terreno. O controlo da posição deve ser complementado com marcas hidrográficas.

8. RECOMENDAÇÕES

A metodologia proposta carece de mais avaliações em ambientes com agitação marítima e diferentes tipos de fundo, nomeadamente usando maior largura de feixe (40°). Considerar-se importante avaliar a opção de utilização de um receptor GNSS SBAS com leitura de fase, permitindo obter dados de atitude da embarcação e / ou dispensar a observação de maré. Os mesmos recursos podem ser aplicados para outros tipos de missões, ex: apoio as operações de terra em catástrofes.

REFERÊNCIAS

IHO (2008). *Special Publication No. 44, IHO Standards for Hydrographic Surveys*. 5th Edition. Monaco, International Hydrographic Bureau.

NOTA: o presente artigo baseia-se na dissertação do autor, no âmbito do mestrado em Tecnologias de Navegação, no *Institute of Engineering Surveying and Space Geodesy (IESSG)* da Universidade de *Nottingham*.

e-Navigation – desafios e oportunidades para Portugal

V. Plácido da Conceição (1)

(1) Instituto Hidrográfico, placido.conceicao@marinha.pt

Resumo: Decorridos 3 anos que se iniciou o programa de trabalhos sobre o e-Navigation coordenado pela IMO e que integra representantes dos diversos actores do espaço marítimo, importa aferir quais os desafios que se preconizam para Portugal, nação com largas responsabilidades no domínio marítimo.

Os estudos até então desenvolvidos preconizam alterações significativas no âmbito das operações marítimas, das tecnologias, das normas e regulamentos e, naturalmente, no treino e formação.

Atento as essas necessidades vários países, organizações nacionais e internacionais, universidades, empresas e associações profissionais tem desenvolvido projectos e conceitos que possam solucionar os problemas e necessidades entretanto identificados.

Se por um lado os novos requisitos constituem um desafio para a identificação de soluções e sua implementação, estes mesmos requisitos também representam uma oportunidade para se participar no desenvolvimento de sistemas, tecnologias e conceitos, para serem implementados nos navios, nas comunicações ou nas agências em terra.

Neste quadro, pretende-se numa perspectiva nacional expor alguns dos desafios e oportunidades que se esperam da e-Navigation, nomeadamente propondo-se a criação de um e-Navigation *test bed*.

Keywords: *eNavigation; Maritime Safety; Maritime surveillance; e-Navigation test bed.*

1. INTRODUÇÃO

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.*” (IMO, 2008). As implicações das iniciativas associadas a e-Navigation requerem o envolvimento todo o espectro dos actores do espaço marítimo. Há dois anos, nas 1^{as} Jornadas de Engenharia Hidrográfica, o Cmdt Maurício Camilo apresentou o conceito e os desafios que então se perspectivavam.

Não obstante os esforços dos vários organismos mais directamente envolvidos, nomeadamente a IMO, a IALA (*International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouses Authorities*) e a IHO (*International Hydrographic Organization*), os fabricantes de equipamentos marítimos e os profissionais do mar, o conhecimento do significado deste conceito continua muito aquém do esperado. Fred Pot¹ relaciona este facto à própria designação do conceito, classificando-se como fazendo parte do “e” tudo o que se apresenta na forma electrónica (Fred W. Pot, 2012).

2. DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO

2.1. Recentes desenvolvimentos na e-Navigation

Considerando o plano de acção conjunto dos vários comités e subcomités da IMO (MSC, COMSAR,

NAV e STW), com a participação da IALA e da IHO, em 2011 foi reactivado o *Correspondance Group* para a e-Navigation sobre a coordenação da Noruega. Conscientes da relevância do factor humano nos seus vários níveis de intervenção, foi determinado a necessidade de promulgar orientações mais precisas sobre o *Human Element Analyzing Process (HEAP)*. O processo de análise das várias lacunas (*Gap analysis*) a bordo e nos serviços de terra está quase concluído, estando em curso a sua consolidação e integração na definição da arquitectura geral do e-Navigation.

Reconhecendo a necessidade de agilizar o processo de standardização e adopção de novas tecnologias e serviços, avançou-se com desenvolvimento do conceito de *Maritime Service Portfolios*. Pretende-se assim explorar o novo formato de dados da IHO, decorrente do S-100², para se promover a harmonização, modernização, integração e simplificação da informação, nos sistemas de bordo e em terra.

2.2. O conceito “e-maritime” da UE

Decorrente do relatório “*An Integrated Maritime Policy for the European Union*”, da Comissão Europeia (CE, 2007), a mesma promoveu a iniciativa e-maritime. Enquanto que a e-Navigation se centraliza em torno dos requisitos dos utilizadores no mar, o e-maritime está orientado para as actividades terrestres ligadas ao mar (EMSA, 2010). É neste quadro que a CE patrocina o desenvolvimento de aplicações tais como o da janela única portuária. Exemplos de projectos associados a este objectivo são o *SafeSeaNet* e o *BlueMassMed*. Compreendendo a proximidade e a complementaridade entre

¹ Consultor na *Marine Management Consulting* e co-chair da *eNavigation Conference 2012*

² Mais informação disponível em: http://www.iho.int/iho_pubs/standard/S-100/S-100_Info.htm

a iniciativa *e-maritime* e o conceito da *e-navigation*, a CE estabeleceu neste âmbito formas de colaboração com a IMO (EC-DG MOVE, 2010).

3. IDENTIFICAÇÃO DAS LACUNAS “Gap analysis”

O factor humano consta como causa principal de 60% das colisões e encalhes de navios (*Nautical Institute*, 2010). É pois perante esta constatação que surge o enfoque na definição dos requisitos dos utilizadores que, de uma forma resumida, consiste em providenciar sistemas de navegação, comunicação e de apoio a decisão mais simples, rigorosos e fiáveis, reduzindo os erros humanos.

Uma vez estabelecidos os requisitos procedeu-se a identificação das lacunas (*gap analysis*), este processo permite organizar de uma forma holística os requisitos, as lacunas e as possíveis soluções. Seguindo as orientações assentes no HEAP (IMO COMSAR 2011a), as soluções foram classificadas em quatro áreas:

- (i) Operacional (procedimentos, automatismos);
- (ii) Técnica (hardware, software, equipamentos);
- (iii) Regulamentar (standards, especificações);
- (iv) Treino e formação.

Paralelamente a identificação dos vários factores críticos para o desenvolvimento da *e-Navigation*, tais como a qualidade dos dados, a resiliência dos sistemas, a interoperabilidade, será necessário estabelecer mecanismos de monitorização e melhoria contínua. Estes mecanismos são fundamentais para a identificação de novas áreas de desenvolvimento e mitigação dos riscos, tanto a bordo como nos serviços em terra. Um elemento determinante nestes processos de mitigação dos riscos relaciona-se com correcta avaliação da usabilidade dos sistemas, sobretudo quando se coloca o decisor perante uma avalanche de fontes e tipos de informação.

Dos vários problemas entretanto já identificados (IMO COMSAR 2011a), constata-se que de uma forma simplista eles podem ser classificados de acordo com as seguintes categorias:

- (i) Gestão dos alertas e alarmes dos sistemas de informação;
- (ii) Indicação sobre a fiabilidade, integridade e rigor da informação, em particular em relação a Posição, Navegação e Tempo (PNT);
- (iii) Falta de fiabilidade da informação, dos equipamentos e sistemas;
- (iv) Actualização e sincronização automática da informação documental e de bases de dados;
- (v) Relato automático de informação, empenho em tarefas administrativas;
- (vi) Padronização e regulamentação de sistemas de informação integrados;
- (vii) Comunicações robustas e efectivas;
- (viii) Conhecimento situacional marítimo;
- (ix) Gestão da informação nos centros de decisão;
- (x) Monitorização e avaliação dos sistemas e serviços;

- (xi) Configuração, ergonomia e usabilidade dos sistemas;
- (xii) Sistemas de informação não orientados para as funções do utilizador / decisor;
- (xiii) Protecção da integridade da informação;
- (xiv) Resiliência dos sistemas PNT;
- (xv) Comunicações por fonia, clareza da linguagem e correcta interpretação;

4. Quem são os utilizadores / actores na *e-Navigation*?

A evidência do carácter holístico deste conceito pode ser constatado observando a constituição e representação dos inúmeros grupos de trabalho internacionais e regionais, dos vários sectores marítimos envolvidos na *e-Navigation*. A sua identificação ajuda também a entender os desafios de integração / interligação exigidos, bem como edificar os requisitos estruturais e organizacionais. Apresentam-se alguns dos sectores envolvidos:

- Reguladores do transporte marítimo;
- Serviços hidrográficos e meteo-oceanográficos;
- Serviços de Ajudas à navegação;
- Comunicações marítimas;
- Indústria;
- Navegantes e armadores;
- Organizações profissionais;
- Serviços SAR;
- Serviços portuários;
- Serviços de protecção ambiental;
- Serviços vigilância, informação e monitorização do tráfego marítimo;
- Estruturas *offshores* (plataformas petrolíferas, aquaculturas, energias renováveis,...);

A lista é extensa, no entanto pretende-se somente destacar a complexidade da arquitectura, no âmbito do fluxo de informação e os respectivos requisitos dos dados (sincronização, protecção, formatos, largura de banda, ...). Um carácter indispensável nesta arquitectura de serviços é a necessidade de serem implementados mecanismos de monitorização e avaliação dos mesmos, envolvendo os utilizadores finais. De seguida apresentam-se algumas soluções que exemplificam como todos estes serviços e sistemas se poderão (deverão) interligar.

5. QUAIS AS SOLUÇÕES QUE SE PERSPECTIVAM?

Não estando ainda formalmente apresentadas pela IMO, a análise das lacunas e os desenvolvimentos tecnológicos mais recentes permitem apresentar alguns exemplos de soluções para a *e-Navigation*.

- (i) Com a implementação de cartografia electrónica em curso, segue-se a possibilidade de *download*, instalação e actualização automática das bases de dados de bordo. Este processo passa pelo relato da posição e plano de viagem do navio, podendo depois receber as células ou

- pacotes de dados necessários para execução da viagem, bem como as actualizações/ correcções que entretanto foram promulgadas.
- (ii) Ainda em relação a cartografia e documentos náuticos, a tendência será de migrar para o conceito de bases de dados hidrográficas, uma vez que, em primeiro lugar, a informação actualmente vertida nas cartas e nas publicações náuticas será toda “convertida” em bases de dados georreferenciadas; em segundo lugar, os serviços hidrográficos não determinarão, pelo menos ao nível que actualmente ocorre, a forma como os dados são apresentados ao utilizador final. Assim, a bordo, o navegante utilizando um aparelho de marcar electrónico (*ePelorus*) com tecnologia de realidade aumentada, poderá observar a costa e ter informação, na forma de realidade aumentada, referente por exemplo a actual Lista de luzes o que lhe permitirá identificar as ajudas à navegação. Adicionalmente e ainda que de forma regulamentada, a simbologia a aplicar aos objectos da base de dados hidrográfica ou a forma de apresentação da informação será optimizada para as funções e requisitos do utilizador final. Actualmente, no ECDIS, o utilizador já pode optar entre dois tipos de simbologia a aplicar nas CEN. No entanto, face a multiplicidade de sistemas de informação, será possível receber dados relativos a um objecto por canais diferentes, por exemplo, o ECDIS pode fornecer informação sobre uma ajuda à navegação AIS a partir da base de dados hidrográfica e/ou através da recepção do AIS de bordo. Daqui ressalta, a necessidade de regulamentar e harmonizar as formas de apresentação da informação a bordo, independentemente da fonte dos dados.
- (iii) O conceito do sistema *ePelorus* decorre de uma proposta inicial de 2008, da *Australian Maritime Safety Authority* (AMSA) e do *Nautical Institute* e actualmente em estudo no comité da *eNavigation* da IALA. O objectivo é o de permitir a integração de técnicas de navegação tradicionais, com sistemas electrónicos e promover o empenho do Oficial de quarto (OQP), ao correlacionar a informação de várias fontes disponíveis a bordo com a observada directamente por ele. Naturalmente, esta forma de empenho não só facilita o conhecimento situacional do OQP, como facilita o desenvolvimento de outras aplicações, tais como o reporte automatizado de comunicados hidrográficos, para por exemplo com um simples *click* reportar uma bóia fora de posição. O *ePelorus*, poderá também ser integrado com a informação gerada pelo radar e com o AIS. Assim o OQP pode validar visualmente a informação de proa ou o tipo de navio, bem como reforçar o processo de decisão associado a anti-colisão.
- (iv) Os GNSS são uns dos três pilares fundamentais da *eNavigation*, tal se deve aos requisitos de posição, navegação e sincronização da informação. A integração dos vários sistemas de informação no âmbito da *eNavigation*, irá portanto incorporar as vulnerabilidades intrínsecas dos GNSS. Elas são sobejamente conhecidas, e prendem-se com a integridade, disponibilidade, rigor e fiabilidade, e a razão pela qual existe um elevado esforço no desenvolvimento de soluções para resolver o problema da resiliência dos sistemas PNT. Para se ter noção da abrangência deste problema, basta verificar que das 18 infra-estruturas fundamentais dos EUA (defesa, transportes marítimos, telecomunicações, internet, rede eléctrica, finanças, ...), 15 delas dependem directamente do GPS, conforme reportado pelo *Department of Homeland Security* (in *GPS World* 2012). As soluções propostas passam por actuar em três níveis, aperfeiçoamento dos actuais GNSS, fornecimento de sistemas de rádio-posicionamento alternativos e no desenvolvimento de equipamentos PNT com melhores performances. Importa aqui salientar, que apesar do surgimento de novos GNSS (GLONASS, Galileo, Beidou), com maior ou menor dimensão, todos eles partilham das mesmas vulnerabilidades. Consequentemente, tem-se apostado no desenvolvimento de sistemas PNT alternativos terrestres. O sistema LF eLoran constitui um candidato com largo apoio, uma vez que, é independente dos GNSS, fornece em formato digital informação de tempo, frequência e um datalink e é inter-operável com o GNSS. Além das vulnerabilidades do eLoran serem dissimilares das dos GNSS, pois é terrestre e possui potências de transmissão muito elevadas, permite obter rigores de posição na ordem dos 10 m (95%). Outros sistemas em estudo, tais como sistemas baseados em tecnologias de reconhecimento automático de imagens (radar com RACONS digitais ou com contorno da costa) ou o *ranging mode* do AIS, não possuem o alcance do eLoran, que é da ordem das 1000 milhas da estação, e mais importante não providenciam uma fonte independente de informação de tempo. O *ePelorus* fornece aqui também vantagens ao integrar métodos de posicionamento relativo com o ECDIS, uma vez que os azimutes às conhecenças são automaticamente transferidos para o ECDIS, corrigidos dos vários erros de *offset* temporal e espaciais.
- (v) A proliferação de informação georreferenciada disponível a bordo, além das CEN, potencia o desenvolvimento de aplicações para apoio a decisão. Esta informação adicional deve ser passível de integrada / associada com a informação criada pelas bases de dados hidrográficas. Por exemplo, a integração coerente da informação de segurança marítima (Avisos à Navegação, previsões METOC) deve permitir gerar os alertas apropriados.

dos, quando correlacionados com o plano de navegação e as características hidrodinâmicas do navio. Outro exemplo é o ajuste automático dos *Safety contours* com base na informação de maré e correcções de batimetria fornecida em tempo real por autoridades locais.

Não obstante das vantagens que se possa obter da integração de outras camadas de informação no ECDIS, existe sempre o risco de comprometer a visualização da CEN devido a saturação da informação, acresce ainda que o ECDIS está associado a uma função específica. Assim, deverá ser disponibilizado outra estação com funcionalidades de SIG (leitura e edição) para o apoio de outros processos de decisão.

- (vi) Os planos de navegação dos navios poderão ser partilhados, nomeadamente para e entre os centros VTS, para facilitar a monitorização e planeamento em zonas de elevado tráfego marítimo.
- (vii) Recepção em tempo útil dos planos de navegação dos pilotos, bem como integração dos seus sistemas de informação (Pilot's Portable Unit - PPU) com os sistemas de navegação de bordo.
- (viii) Relatos automatizados para os serviços de terra, tais como os VTS.
- (ix) Monitorização dos sistemas de navegação de bordo. Muitos das aplicações de apoio a decisão recentemente desenvolvidas, baseiam-se fortemente na informação disponibilizada pelo AIS. Já em 2008, B. R. Calder e K. Schwehr, num estudo desenvolvido para a NOAA (B. R. Calder e K. Schwehr 2009) concluíram que mais do que 52% da informação existente nas mensagens AIS era duvidosa. Esta situação além de induzir erros nos processos de decisão, arrasa qualquer possibilidade de desenvolvimento de modelos de controlo de risco. A IMO, ciente desta severa limitação, promove a recolha e publicação trimestral dos erros detectados nas mensagens AIS dos navios.
- (x) As diversidades e o conflito de interesses entre os vários actores do espaço marítimo, colocam desafios acrescidos no ordenamento e no controlo dos riscos das actividades marítimas. A disponibilização de cartografia electrónica, de informação digital histórica dos vários eventos e de informação em tempo real, forneceu os fundamentos para o desenvolvimento dos modelos de risco. Apesar das óbvias vantagens, a realidade tem mostrado que a modelação dos vários factores é de facto um processo extremamente complexo. Por esta razão a IALA optou por patrocinar o desenvolvimento de dois modelos, um qualitativo (PAWSA) e outro quantitativo (IWRAP), que têm sido validados ao longo de dezenas de workshops, a nível global.

6. *eNavigation Test beds*

Para efeitos de desenvolvimento e validação de aplicações no âmbito do *eNavigation*, desde de

2007 têm sido edificados alguns *test beds*. O programa *efficienSea*, com financiamento da EU e conduzido pelos países do Báltico, providenciou resultados relevantes no âmbito do treino e formação, arquitectura de sistemas, ordenamento marítimo e controlo de riscos em tempo real (IMO 2011b). Mais recentemente, outros projectos tem sido iniciados, tal como o projecto *Accessibility for Shipping, Efficiency, Advantages and Sustainability* (ACCSEAS), para o mar do Norte. Assim, no sentido de melhor enquadrar os diversos projectos e harmonizar os resultados, IALA promoveu o desenvolvimento de recomendações para implementação, organização e condução de *eNavigation test beds*. Estes projectos, enquadrados nos objectivos da *eNavigation*, devem assegurar o envolvimento dos utilizadores, desde da definição dos requisitos até a validação das aplicações. Ainda que possam responder a necessidades locais ou regionais, devem resolver as lacunas identificadas pela IMO e estarem alinhadas com a arquitectura desenvolvida para a *eNavigation* e o conceito de *Maritime Service Portfolio*.

REFERÊNCIAS

- Calder, B., and K. Schwehr (2009). "Traffic Analysis for the Calibration of Risk Assessment Methods." Technical paper. U.S. Hydro 2009 Conference, May 11-14.
- CE (2007). 575 final, An Integrated Maritime Policy for the European Union.
- EC-DG MOVE (2010). EC-DG MOVE presentation "e-Maritime policy framework", e-Maritime Stakeholder Conference, Brussels, April 2010.
- EMSA (2010). EMSA Statements, e-Maritime Stakeholder Conference, Brussels, April 2010.
- Fred W. Pot (2012). Why e-Navigation? *Digital Ship*, May 2012.
- GPS World (2012). Web Seminar: Alternative PNT, backing up critical infrastructure with eLoran. 17MAY2012
- IMO (2008). IMO, MSC 85/26/Add.1, ANNEX 20, *Strategy for the development and implementation of e-navigation*.
- IMO COMSAR (2011a). COMSAR 16/11 - Development of an e-Navigation Strategy Implementation Plan, Report of the Correspondence Group on e-navigation to COMSAR 16. 5 December 2011
- IMO COMSAR (2011b). COMSAR 16/INF2 - Report from the EfficienSea Project. 5 December 2011
- Nautical Institute (2010). Alert, The International Maritime Human Element Bulletin, Nr. 24. September 2010.

Oceanografía Operacional

Alerta precoce da contaminação fecal para o estuário do Tejo: implementação preliminar do modelo hidrodinâmico e de contaminação fecal

R. Tavares da Costa (1), M. Rodrigues (1), A. Oliveira (1), A.B. Fortunato (1) e L.M. David (1)

(1) Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P. Avenida do Brasil, nº 101, 1700-066 LISBOA, Portugal.
ricardotavarescosta@engenheiros.pt

Resumo: Este trabalho apresenta os primeiros desenvolvimentos dum sistema de alerta precoce para situações de risco de contaminação fecal, que integrará uma plataforma de previsão em tempo-real (RDFS-PT, <http://ariel.lnec.pt>), uma rede de monitorização em tempo-real e um modelo acoplado hidrodinâmico e de contaminação fecal de elevada precisão. Este modelo numérico tridimensional foi implementado no estuário do Tejo e foram analisados diferentes cenários de descarga do caneiro de Alcântara, em tempo húmido (Janeiro de 1996) e seco (Julho de 2011). A calibração do modelo hidrodinâmico em modo barotrópico (Janeiro de 1972) apresenta erros quadráticos médios adequados, inferiores aos obtidos por Vargas *et al.* (2008). A validação em modo baroclínico (Fevereiro de 1988), em condições de significativa estratificação, revela boa concordância com os padrões observados. A análise de fatores que influenciam a contaminação mostrou a importância dos forçamentos fluvial e da maré na diluição e configuração da pluma.

Palavras chave: sistemas de alerta, contaminação fecal, estuário do Tejo, modelo Euleriano-Lagrangiano

1. INTRODUÇÃO

Na última década verificaram-se avanços significativos nos sistemas de observação e previsão em tempo real, em particular na modelação de elevado desempenho e na supercomputação, permitindo a implementação de previsões operacionais desde a escala oceânica aos estuários e portos. Estes sistemas reduzem o risco de acidentes de poluição através de alertas precoces, que têm por objetivo informar as autoridades competentes e a população atempadamente, através das novas tecnologias da informação e comunicação. A combinação destes sistemas contribui para uma melhor proteção da vida e atividade humana, dos recursos naturais e do património em zonas costeiras e ribeirinhas, suportando decisões de evacuação e alocação de meios para resposta à emergência.

A gestão do ciclo urbano das águas pluviais e residuais na cidade de Lisboa está estreitamente ligada ao estuário do Tejo. No âmbito do projeto PREPARED - *Enabling Change*, encontra-se em desenvolvimento um protótipo dum sistema de alerta precoce para o risco de contaminação fecal, aplicado à frente ribeirinha do estuário (Oliveira *et al.*, 2011). O protótipo combina a monitorização em tempo-real e a modelação integrada dos sistemas de coletores (David *et al.*, 2010) e do estuário, tirando partido do sistema de previsão em tempo real da plataforma *Rapid Deployment nowcast-Forecast System* (RDFS-PT).

Os objetivos deste trabalho foram a implementação preliminar de um modelo hidrodinâmico e de contaminação fecal e a análise da influência de diferentes fatores ambientais e de descarga na evolução da contaminação fecal no estuário do Tejo, concentrada na descarga do caneiro de Alcântara (Tavares da Costa, 2011). Foi utilizado o modelo SELFE - *Semi-Implicit Eulerian Lagrangian Finite Element* (Zhang e Baptista, 2008), o qual calcula a elevação da superfície livre e os campos tridimensionais de velocidade, salinidade e temperatura. Este modelo encontra-se acoplado através das equações de transporte a um módulo de contaminação fecal desenvolvido no LNEC (Rodrigues *et al.*, 2011).

O estuário do Tejo situa-se na costa ocidental portuguesa. É um ecossistema único e apresenta uma circulação complexa (Fortunato *et al.*, 1999). O rio Tejo é o seu principal afluente. A estratificação no estuário comporta-se como uma estrutura dinâmica de duas camadas e o limite da intrusão salina situa-se perto de Vila Franca de Xira.

O subsistema de drenagem de águas residuais de Alcântara é constituído por uma rede mista de coletores, sistemas interceptores e elevatórios e pela Estação de Tratamento de Águas Residuais de Alcântara (ETAR). A ETAR é constituída por diferentes níveis de tratamento e a sua recente reabilitação resultou em melhorias significativas da qualidade do efluente descarregado no estuário do Tejo, através do caneiro de Alcântara (David *et al.*, 2010).

1.1. Introdução ao sistema RDFS-PT

O RDFS é um sistema de previsão a quatro dimensões, estado-da-arte, desenvolvido pelo CMOP - *Center for Coastal Margin Observation & Prediction*. Visa disponibilizar em contínuo previsões da circulação (variação da elevação da superfície da água, correntes, salinidade, temperatura e agitação marítima) em curtas escalas temporais, através de simulações numéricas com elevada resolução para vários sistemas costeiros, validados por dados online em tempo quase real. O RDFS-PT encontra-se em operação, calibrado e validado com dados de campo, para a previsão da agitação marítima no Oceano Atlântico Norte e costa portuguesa e para a previsão da circulação no estuário do Tejo. Tira partido do desenvolvimento conjunto de modelos de elevada performance, com resolução espacial optimizada e processamento distribuído, incluindo os modelos hidrodinâmicos de código aberto SELFE e ELCIRC e o modelo de agitação marítima WW3. Afinados em contínuo de forma automática com informação *on-line* em tempo real, podendo tirar partido da sua paralelização utilizando os recursos de elevado desempenho do LNEC. O RDFS-PT providencia meios adequados de suporte científico à gestão sustentável a longo prazo de sistemas costeiros, os seus resultados podem ser acedidos através da interface disponível ao público em: <http://ariel.lnec.pt/>

2. METODOLOGIA

2.1. Zona de estudo

A malha horizontal para o estuário do Tejo foi ajustada para incluir o caneiro de Alcântara, garantindo uma transição suave para a zona intermédia do canal do estuário (Fig. 1).

2.2. Setup do modelo em modo barotrópico

O modelo hidrodinâmico tridimensional do estuário do Tejo foi calibrado com dados de elevação da maré, mês de Janeiro de 1972 (Fortunato *et al.*, 1999), correspondentes à série sinóptica disponível mais completa ao longo de todo o estuário. As simulações foram efetuadas para 30 dias a partir de 01/01/1972, em modo hidrostático, sem transporte nem deformação do leito. Considerou-se um forçamento de maré em condições de equilíbrio para 6 constituintes harmónicas e outro fluvial com caudal constante igual a $517 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Fortunato *et al.*, 1999). Foram obtidos Erros Quadráticos Médios de cerca de 10 cm na maior parte das estações consideradas, incluindo toda a zona de interesse para a modelação da qualidade da água.

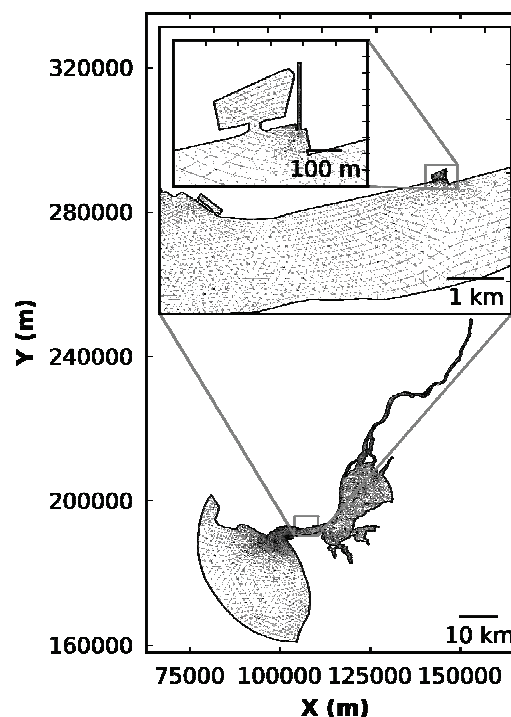


Fig. 1. Adaptação da malha horizontal do estuário do Tejo e detalhes das alterações efetuadas na margem Norte: refinamento na zona intermédia do canal, zona envolvente ao caneiro, doca de Santo Amaro, caneiro de Alcântara e Terminal de Cruzeiros de Alcântara.

2.3. Setup do modelo em modo baroclinico

O modelo foi validado com base em dados de salinidade e temperatura obtidos durante o mês de Fevereiro de 1988 (Neves, 2010), em condições significativas de estratificação. As simulações foram efetuadas para o período de 02/12/1987 a 01/03/1988. Considerou-se um forçamento de maré baseado na análise harmónica dos dados do marégrafo de Cascais (1991) para 29 constituintes harmónicas. Considerou-se um forçamento fluvial baseado no caudal médio diário medido na estação hidrométrica de Ómnias (02/12/1987 a 01/03/1988). Foi assumida uma variação constante da salinidade para as duas fronteiras, de 36 para o oceano e 0 para o rio Tejo. Foi assumida uma variação constante da temperatura de $14 \text{ }^\circ\text{C}$ para o oceano e $13 \text{ }^\circ\text{C}$ para o Tejo. Foram mantidos os parâmetros da calibração e considerado um passo de cálculo de 30 s. O forçamento atmosférico foi obtido da reanálise 1 do NCEP/NCAR para o ponto mais próximo do estuário do Tejo. Nos perfis verticais, para as diferentes seções longitudinais do estuário consideradas, foi obtida uma representação aceitável da estratificação salina na coluna de água (Fig. 2), com a salinidade mais elevada no fundo e menor à superfície, tendo existido uma razoável concordância com os dados de Neves (2010). As simulações apresentam, em geral, uma estratificação menos pronunciada e uma coluna de água menos salina.

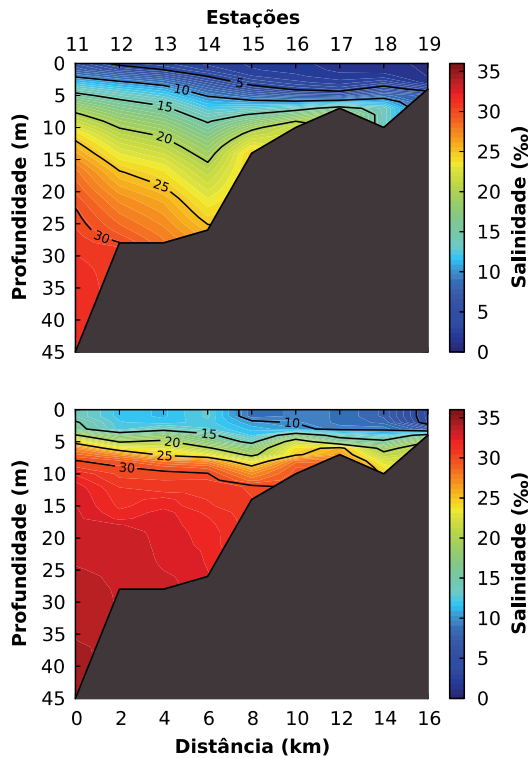


Fig. 2. Perfil vertical da salinidade simulado (em cima) e medido (em baixo) numa seção longitudinal no meio do canal do estuário do Tejo em maré vazante (Neves, 2010).

Verificou-se uma menor concordância da estratificação térmica com os dados de Neves (2010), possivelmente associada à resolução da malha, simplificação e resolução temporal e espacial dos diferentes forçamentos, trocas de calor e interações ar-água.

2.4. Definição de cenários

A análise do impacto do caneiro de Alcântara no estuário do Tejo foi baseada em três cenários de descarga e concentração de coliformes fecais, um em tempo seco e dois em tempo húmido, para o período de 01/07/2011 a 31/07/2011. Os parâmetros utilizados basearam-se nas simulações de calibração, validação e adequação da malha horizontal, acrescentando os parâmetros relativos aos coliformes fecais e à formulação para o seu decaimento. De modo a avaliar o impacto dos erros da estimativa de caudal afluente na distribuição da contaminação no estuário, foram construídas séries temporais de caudal para o forçamento do caneiro. Estas foram obtidas por repetição contínua da série de caudal em tempo seco de David *et al.* (2010), integrando no caso do tempo húmido um caudal correspondente a um período de precipitação, medido e simulado (David e Matos, 2005). Considerou-se um forçamento fluvial para o tempo seco (01/07/2011 a 31/07/2011) e para o tempo húmido (19/01/1996 a 06/02/1996) baseado no caudal médio diário da estação hidrométrica de Almourol. Foi assumida uma variação constante da salinidade de 36 para o

oceano e 0 para o rio Tejo. Foi assumida uma variação constante da temperatura em tempo seco de 15 °C para o oceano e 23 °C para o Tejo e em tempo húmido de 14 °C para o oceano e 11 °C para o Tejo. Considerou-se ainda uma temperatura de 24 °C para o caneiro. Foi assumida uma variação constante da concentração de coliformes fecais para cada cenário, 0 NMP/100 mL para o oceano e 5×10^4 NMP/10 mL para as descargas do caneiro em tempo seco e húmido, 5×10^3 NMP/100 mL para o Tejo em tempo seco e 2×10^3 NMP/100 mL em tempo húmido.

3. CONCLUSÕES

O modelo acoplado representou razoavelmente bem os principais padrões de circulação descritos na literatura e a pluma associada ao caneiro de Alcântara (Fig. 3). O caudal no caneiro aparentou exercer baixa influência na contaminação total do estuário do Tejo, tendo-se verificado que a configuração geométrica e a dinâmica do estuário permite a existência de várias zonas com menor contaminação. O forçamento fluvial, em conjugação com o forçamento de maré, aparentou ter particular importância na diluição e configuração da pluma, evidenciando uma maior extensão em tempo húmido, em preia-mar para jusante e em vazante para montante, mantendo-se essencialmente junto à margem Norte do canal do estuário. Em tempo seco e em vazante a pluma poderá passar a seção de Santa Maria de Belém e estender-se além da zona central do canal, não chegando à margem Sul. Em preia-mar, a pluma concentra-se essencialmente junto à zona envolvente do caneiro. A concentração de coliformes fecais foi mais elevada em condições de tempo húmido do que em condições de tempo seco, podendo chegar a 5×10^4 NMP/100 mL na zona envolvente ao caneiro. No canal do estuário e na doca de Santo Amaro de Alcântara a diferença de concentrações situou-se entre 0 e 10^4 NMP/100 mL. É possível verificar uma menor salinidade em tempo húmido no canal do estuário e em vazante, sendo esta condição essencialmente dependente do caudal associado ao rio Tejo, apesar do impacto visível da descarga do caneiro na salinidade do estuário. A estratificação no canal do estuário não aparentou ser suficiente para apresentar um efeito de retenção da contaminação abaixo da pycnoclina. A magnitude das velocidades aparentou ser maior em tempo húmido e vazante e mais baixa em tempo seco e preia-mar. O escoamento associado ao caneiro aparentou ser suficientemente elevado para penetrar e interagir com o escoamento no canal do estuário, exceto em condições de tempo húmido e vazante. Nestas condições a extensão transversal da pluma poderá aumentar e o Terminal de Cruzeiros de Alcântara poderá defletir a pluma.

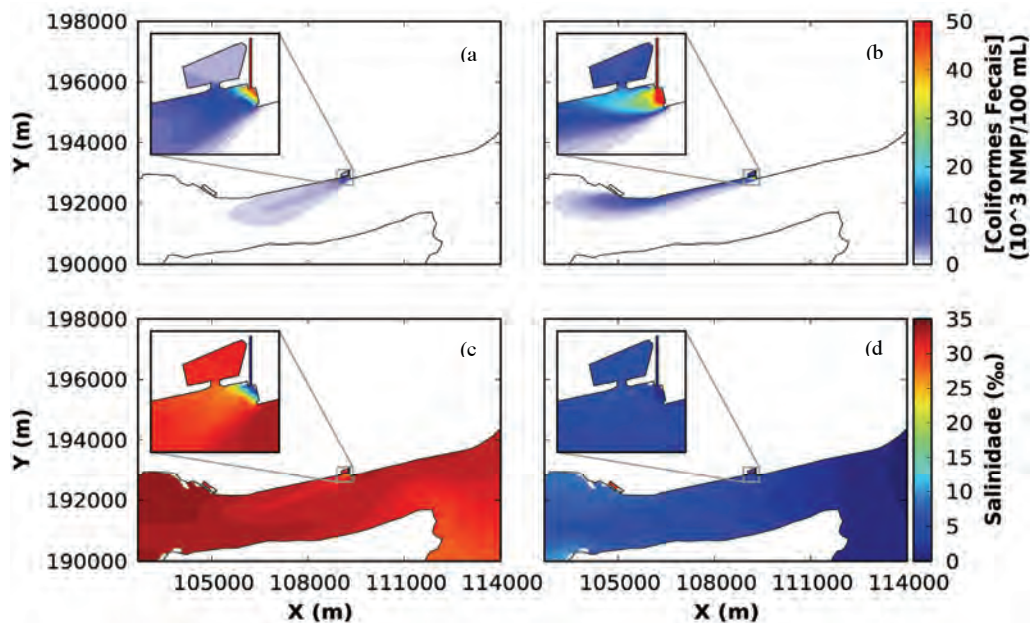


Fig. 3. Concentração associada à descarga do caneiro de Alcântara (diferença entre resultados globais e de background), no canal do estuário do Tejo, e ampliação da zona envolvente ao caneiro, considerando o caudal em tempo húmido (23/01/1996) medido para o caneiro (David et al., 2010) em vazante (a) e em tempo seco (23/07/2011) em vazante (b). Distribuição horizontal da salinidade em torno do máximo do caudal em tempo húmido medido para o caneiro em vazante (c), e em tempo seco em vazante (d), para os mesmos dias.

O uso futuro do modelo do caneiro na previsão da contaminação em tempo real aparenta ser adequado.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Dr. António Baptista e ao Dr. Joseph Zhang (CMOP) pelo modelo SELFE; ao Dr. Filipe Neves e à Prof.^a Dr.^a Isabel Ambar (FCUL) pela disponibilização dos dados utilizados na validação; ao projeto PREPARED; e, ao Eng.^o Pedro Póvoa, à Eng.^a Maria da Conceição V. David e ao Eng.^o António Frazão (SIMTEJO) pela disponibilização de informações.

REFERÊNCIAS

- David, L.M. e Matos, J.S. (2005). Wet-weather urban discharges: implications from adopting the revised european directive concerning the quality of bathing water. *Water Science & Technology*, 25, 3, 9-17.
- David, L.M., Almeida, M., Cardoso, M.A. e David, C. (2010). Rehabilitation of the Alcântara sewage treatment plant - effect of the design capacity on CSO discharges. *NOVATECH*.
- Fortunato, A.B., Oliveira, A. e Baptista, A.M. (1999). On the effect of tidal flats on the hydrodynamics of the Tagus estuary. *Oceanologica Acta*, 22, 1, 31-44.
- Neves, F. (2010). *Dynamics and hydrology of the Tagus estuary: Results from in situ observations*. PhD thesis, Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e energia.
- Oliveira, A., Rodrigues, Jesus, G.M., Fortunato, A.B., Ribeiro, A., David, L.M., Tavares da Costa, R. e Matos, R.S. (2011). Sistema de alerta e previsão em tempo real para apoio à gestão do risco em zonas costeiras e estuarinas. *SILUSBA – 10^o Simpósio de Hidráulica e de Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa*, 1-14.
- Rodrigues, M., Oliveira, A., Guerreiro, M., Fortunato, A.B., Menaia, J., David, L.M. e Cravo, A. (2011). Modeling fecal contamination in the Aljezur coastal stream (Portugal). *Ocean Dynamics*, 61, 6, 841–856.
- Tavares da Costa, R. (2011). *Influência de fatores ambientais e de descarga na contaminação fecal do estuário do Tejo*. Relatório de Estágio Formal para Admissão à Ordem dos Engenheiros. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, p.108.
- Vargas, C.I.C., Oliveira, F.S.B.F., Oliveira, A. e Charneca, A. (2008). Análise da vulnerabilidade de uma praia estuarina à inundaçã. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 8, 1, 25-43.
- Zhang, Y. e Baptista, A.M. (2008). SELFE: A semi-implicit Eulerian-Lagrangian finite-element model for cross-scale ocean circulation. *Ocean Modelling*, 21:71-96.

Operational use of ASCAT wind over the ocean

N. Moreira (1) e A. Lourenço (1)

(1) Instituto de Meteorologia / Instituto Português do Mar e da Atmosfera, nuno.moreira@meteo.pt

Abstract: The ASCAT (Advanced SCATterometer) on board the polar orbit METOP satellite from EUMETSAT estimates wind speed and direction over the ocean surface in two swaths 550 km wide, covering ocean areas that are large enough to identify wind patterns related to synoptic and mesoscale weather phenomena. Near real-time analysis of wind patterns is one of the key activities in operational weather forecasting centres for both atmospheric and sea state forecasts. Current work shows the usefulness of ASCAT wind to identify wind convergence close to the ocean surface. This is relevant for frontal and cyclogenesis analysis, particularly in the case of rapid cyclogenesis or “bombs” in North Atlantic, which have strong impacts on both oceanic and terrestrial activities. The frequency of ASCAT observations and its comparison with Numerical Weather Prediction (NWP) models is also explored.

Keywords: ASCAT, Scatterometer, wind, ocean, cyclogenesis

1. INTRODUCTION

Scatterometers are active radar instruments and therefore both emit and receive microwave radiation. ASCAT is the scatterometer on board the EUMETSAT METOP-A satellite and emits microwave radiation with a wavelength of 5.7 cm (Gelsthorpe *et al*, 2000). This radiation has the advantage of not being affected by clouds and this is why ASCAT is known to be able to scan the surface in almost all weather conditions. The radiation emitted by ASCAT is resonant with small-scale ocean waves of comparable wavelength, following the so-called Bragg scattering equation (Kerkmann, 1998). The backscatter radiation coming from the water surface can then be processed in order to compute near surface ocean wind speed and direction (OSI-SAF, 2010). Surface wind patterns analysis using observational data can provide the exact location and, sometimes intensity, of weather features such as convergence lines and fronts, as these are characterized by local discontinuities in the wind field. Apart from locating low centres with high precision, wind patterns are also useful for the early location of surface troughs during the cyclogenesis phase of a storm. Therefore, ASCAT wind is a valuable tool in weather forecasting centres.

2. DATA

2.1 ASCAT wind and surface pressure

ASCAT winds are 25-km areal winds and are practically instantaneous. Therefore, strictly speaking, ASCAT winds do not exactly compare to buoy wind speeds, which are local (*in situ* observations) and correspond to time averages. Also, ASCAT cannot either fully compare to NWP global models 10m winds, that may miss small-scale details. The reliable range for ASCAT wind speed is

0-25 m/s (0-50 kt), with a standard deviation against buoys of 1 m/s (2 kt), a correlation of 0.95 (Verhoef and Stoffelen, 2009). ASCAT winds somewhat underestimate wind speeds above 20 m/s by 2-3%. Regarding wind direction, standard deviation (against buoys) is around 18° with a correlation of 0.98. Problems in direction arise for both low wind speeds (little or no backscatter for wind speed < 2 m/s and influence in backscatter of oil/natural slick) and high wind speeds, through the influence of breaking waves and foam or spray in the backscatter (OSI-SAF, 2010). In the cases presented in this study, ASCAT winds correspond to the 12.5 km sampling interval.

Surface pressure estimates can be obtained from ASCAT winds. For this study the Planetary Boundary Model from the University of Washington (UWPBL) was used (Patoux *et al*, 2003). These estimates are valid both in mid-latitude and tropics and the outputs have a resolution of half degree.

2.2 NWP and other observations

ECMWF model fields were used to compare with ASCAT data (0.25° spatial resolution for the first case and 0.125° for the second). HIRLAM model fields were used for the third case. SYNOP, SHIP and BUOY reports from ECMWF archive were used, as well as Meteosat-9 (Meteosat Second Generation satellite, MSG) imagery currently used in the Portuguese Meteorological Service.

3. CASE STUDIES

3.1 22-23 DEC 2009

On the early hours on 23 December 2009 an extreme wind event affected the west of central part of continental Portugal causing severe damages, with gust being estimated to have exceeded 200 km/h over land (Belo *et al*, 2010, Pinto e Silva, 2010). This extreme wind was related to a rapid/explosive

cyclogenesis event (“bomb”) that began its life cycle the day before over the Atlantic. On 22 December around noon, a tropopause anomaly was located over Azores Islands. The wind field pattern from ASCAT left swath (descending pass), shows the related perturbation on surface flow ahead of the tropopause anomaly (Figure 1).

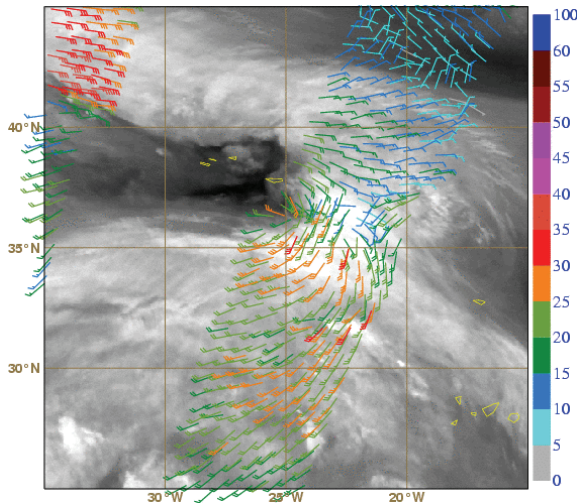


Fig.1 – ASCAT wind between 11:53 and 11:59 UTC on 22/12/2009. MSG WV6.2 at 11:45UTC on 22/12/2009.

A closer inspection to surface wind pattern proposed by ASCAT southeast of S.Miguel island (Figure 2) suggests the existence of two perturbations on the wind flow. One perturbation is located over the island of Santa Maria (around 37°N 25°W, corresponding to the 20 kt southeast wind in Figure 2).

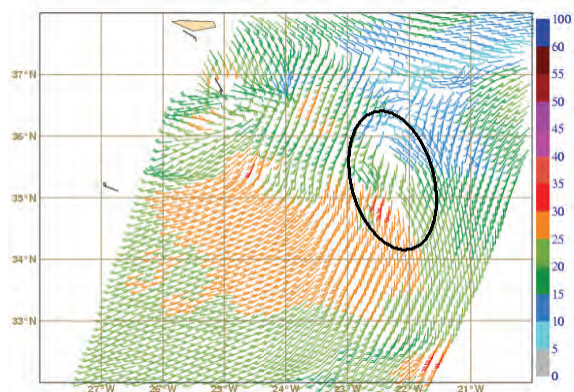


Fig.2 – ASCAT wind between 11:55 and 11:57 UTC on 22/12/2009. Synop and ship 10m wind observations (in black) at 12:00UTC. Black oval line around convergent/divergent winds.

Although there is not a clear cyclonic rotation pattern, opposing wind can be found in this area. Also, further southeast, a second wind perturbation shows convergent and divergent wind patterns along a line with an extension of around 100 km, from 35°N 22°W to 36°N 22.5°W (black oval line in Figure 2). The most northwestern wind perturbation (inside the oval line) seems to be related to an existing low pressure system. The most southeastward wind

perturbation is located in an area of convection, with more compact clouds than in the first area - one can speculate that these convergent/divergent winds are related to convective cells, either being the source as a convergence line or being the consequence of convective downdrafts.

Later that day, ASCAT observes in detail the centre of the storm, which is now in a deepening phase (Figure 3). Maximum winds are in the 40-45 kt range (gale to strong gale winds or Beaufort 8 to 9), both close to the centre (around 37°N 15°W) and to the south of the storm (around 35°N 14°W). In fact, to the north of the storm winds are clearly much weaker than to the south. The wind pattern also fits the frontal fracture (warm front detached from the cold front) on the Shapiro-Keyser cyclogenesis conceptual model (Belo *et al.*, 2010).

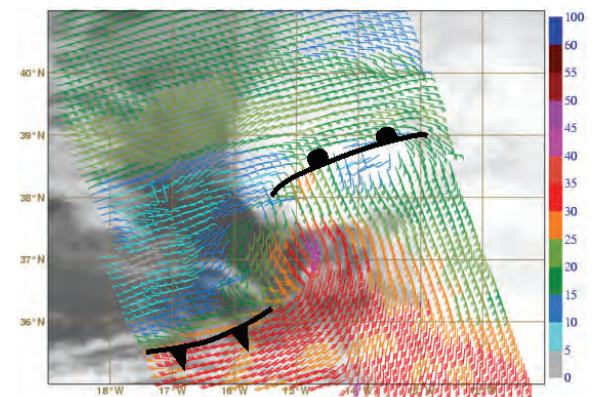


Fig.3 – ASCAT wind between 21:32 and 21:38 UTC on 22/12/2009. MSG IR10.8 at 21:30UTC on 22/12/2009. Subjective surface analysis in black (according to usual convention).

At this stage, the surface pressure UWPBL estimate from ASCAT winds (Figure 4) proposes a minimum value of **986.2 hPa** at 37.0°N 16.0°W (0.5° resolution) around **21:30 UTC**. This proposal is pretty much compatible with the 9 hour ECMWF forecast for **21 UTC** (Figure 4), which locates the centre of the storm roughly 0.5° to the north with a minimum pressure of **987 hPa**. Also, one buoy with surface pressure observations was right on the storm track and reported at **21:40 UTC** (within 5 minutes of ASCAT pass) a surface pressure of **988.9 hPa** at 36.93°N 16.19°W, with a pressure drop of 2.2 hPa in the last 3 hours. Note that the three estimates are within a range of 3 hPa and a time interval of 40 minutes. The location separation is close to the spatial resolutions for both ASCAT and model. Although the 9h forecast (Figure 4) locates the centre of the storm reasonably well, the 33h forecast (not shown) already locates the centre around 1.5° to the east (therefore 1° extra than the 9h forecast). This represents a measure of model uncertainty increase with the range of forecast

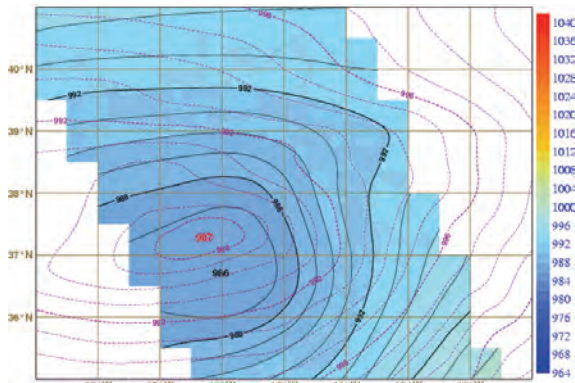


Fig. 4 - Surface pressure from ASCAT pass on 22/12/2009, 21:34-21:36 UTC, obtained from the University of Washington Planetary Boundary Layer (UWPBL) model. Source: <http://pbl.atmos.washington.edu/> overlaid with mean sea level pressure forecasts, in dashed magenta lines, from ECMWF run of 22/12/2009 at 12:00UTC / 9 hour step.

3.2 25FEB-01MAR 2010 (XYNTHIA)

The low-pressure system, that later become Xynthia, was partly observed by ASCAT on 25th February 2010 around noon over North Atlantic (30°N 50°W). In the next 4 days Xynthia would be observed 7 more times by ASCAT until it reached the Baltic Sea on 1st March. In the meantime, Xynthia affected many western and northern European countries with estimated losses of 1.3 billion €. Slightly after 00 UTC on 26th, ASCAT obtained the first view of Xynthia's centre (Figure 5).

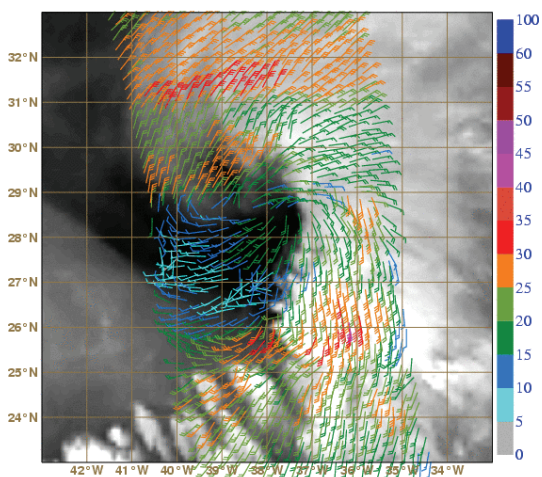


Figure 5 - ASCAT wind (colour wind barbs) between 00:07 and 00:10 UTC on 26/02/2010. MSG WV6.2 at 00:00 UTC on 26/02/2010.

At this stage ASCAT measured winds in the 30-35 kt range to the north and to the south of the system, that is Beaufort 7 to 8 (near gale to gale). In fact, in the southeast border of the storm centre ASCAT wind was even reaching the 37.5-42.5 kt range (Beaufort 8 to 9, gale to strong gale).

Xynthia then started to deep and continued to move north-eastwards towards the European continent. Between 18 UTC on 26th and 18 UTC on 27th Xynthia satisfied the "bomb" criteria according to

Sanders e Gyakum (1980). The ASCAT surface pressure estimate off the west coast of Portugal in late morning on 27th (Figure 6) showed the complexity of the pressure field (with two minima), as it had been happening throughout Xynthia's life cycle so far. The surface pressure of 985 hPa from ASCAT was however overestimating the analysis and closest forecast, which were in the 970-975hPa range. This overestimation is consistent with the underestimation of wind speed by ASCAT.

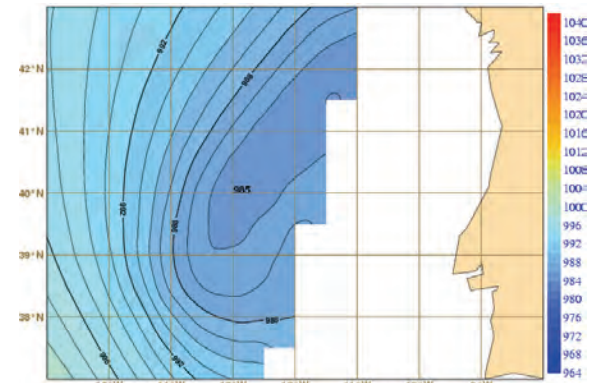


Figure 6 - ASCAT surface pressure (hPa) between 10:27 and 10:28 UTC on 27/02/2010, obtained from the University of Washington Planetary Boundary Layer (UWPBL) model (Source: <http://pbl.atmos.washington.edu/>).

After making a slight landfall in the northwest tip of the Iberian Peninsula on the afternoon on 27th, Xynthia would reach its minimum surface pressure over the Gulf of Biscay on the night of 27th/28th, with a recorded value of 968.8 hPa at 01:00 UTC on 28th in Pointe du Talut, in the French Island of Belle Île (47.3°N 3.2°W). At this phase, ASCAT wind clearly showed Xynthia's centre location around 22 UTC on 27th (Figure 7).

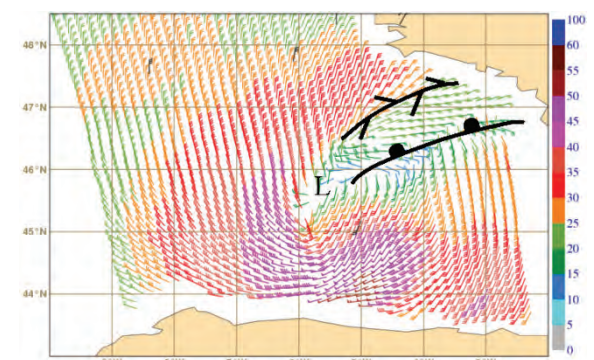


Figure 7 - ASCAT wind (colour wind barbs) between 21:49 and 21:51 UTC on 27/02/2010 (in colour) and Buoy/Ship wind at 22:00 UTC (black wind barbs) overlaid with subjective surface analysis interpretation.

The wind pattern supported the existence of a warm front located east-northeast of a dominating low around 45.5°N 5.5°W. ASCAT also showed stronger wind speeds in the southern border of Xynthia, in 52.5-55 kt range (Beaufort 10) at 44°N 5°W, that is, only 50 km off the Asturian coast, in Spain (but outside the usually accepted reliable range for

ASCAT). ASCAT wind direction was consistent with BUOY/SHIP observations within a 10 minute temporal window (in black barbs in Figure 7), but wind speeds were generally 5 kt weaker in ASCAT.

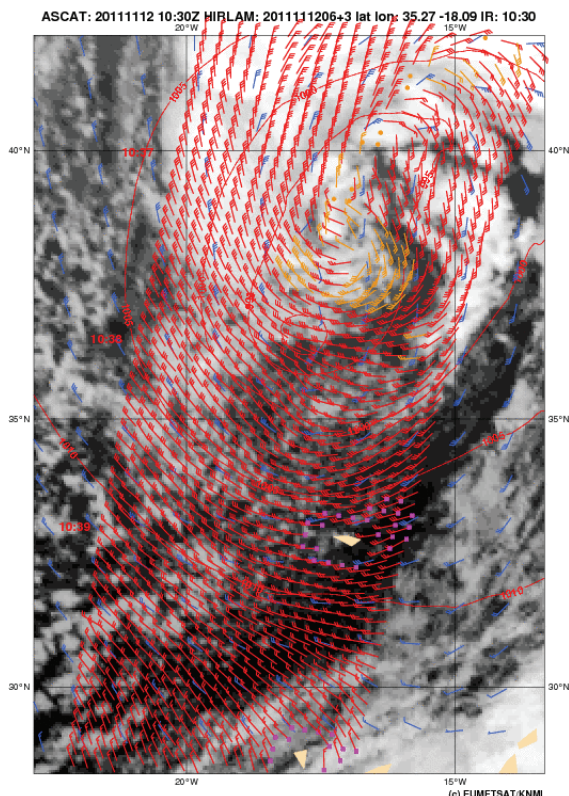


Figure 8 – ASCAT wind between 10:36 and 10:41 UTC on 12/10/2011 (in red wind barbs), MSG IR10.8 at 10:30UTC and surface wind forecast (in blue wind barbs) from HIRLAM run of 12/11/2011 at 06:00UTC/3 hour step. Source: <http://www.osi-saf.org/>

3.3 10-15 NOV 2011

In mid-November 2011, a cold air cyclogenesis (eg, Bader *et al.*, 1995) occurred northwest of Azores in an area of enhanced cumulus at low levels, upstream of the main upper trough axis and below a tropopause anomaly. During its life cycle it moved around the base of the upper trough and, on 11th, a cold front became clear, with the development of a well-defined thermal gradient. Between 12:00 UTC the same day and 12:00 UTC the following day the cyclogenesis was explosive (18hPa/24h) according to Sanders e Gyakum (1980). Along its trajectory, it affected Azores, Madeira and Iberia and warnings were issued for sea state, wind and precipitation. On 12th, around 10:30UTC, one of the swaths of ASCAT shows the centre of the surface low (Figure 8) and a cyclonic rotation suggests its location near 38°N 17°W. At 12:00UTC, subjective analysis proposed 39°N 13°W with nearly 988hPa. Also, from ASCAT wind pattern, opposed winds northeast of the centre are consistent with an occlusion at this stage.

4. FINAL REMARKS

Applications of ASCAT wind and surface pressure for 3 cyclogenesis events in North Atlantic between late 2009 and late 2011 were presented. In particular, apart from locating the centres of the storms, synoptic features as convergence lines and fronts (cold, warm and occluded) were also identified, providing valuable information for synoptic analysis. As ASCAT data is available in near real-time it can, therefore, improve nowcasting and forecasting activities in weather forecasting centres.

Acknowledgements

The authors would like to thank Sandra Coelho, Margarida Belo, Mário de Almeida, Luis Pinto Coelho and Ad Stoffelen.

5. REFERENCES

- Bader, M.J., Forbes, G.S, Grant, J.R., Lilley, R.B.E. & A.J Waters, 1995: *Images in Weather Forecasting – A practical guide for interpreting satellite and radar imagery*. University Press. Cambridge.
- Belo, M., Pinto, P., Lopes, N., Silva, A., Freitas, S., Moreira, N., Barroso, C., Leitão, P., Tavares, R., Ferreira, J., 2010: *Tempestade de vento no contexto de um ciclognese explosiva*. Relatório Instituto de Meteorologia, 82pp, abril (in portuguese).
- Gelsthorpe, R.V., Schied, E., Wilson, J.J.W., 2000: ASCAT: Metop's Advanced Scatterometer. *ESA bulletin* 102, may.
- Kerkmann, J., 1998: *Review on scatterometer Winds*. Technical Memorandum No.3. Technical Department. Eumetsat.
- OSI-SAF, 2010: ASCAT Wind product User Manual. SAF/OSI/CDOP/KNMI/TEC/MA/126. January.
- Patoux, J., Foster, R. and Brown, R., 2003: Global pressure fields from scatterometer winds. *J. Appl. Meteo.*, 42, 813,826.
- Pinto, P. e Alvaro S., 2010: *Situação de vento forte no Oeste em 23 de Dezembro de 2009*. Instituto de Meteorologia, 40 pp, janeiro (in portuguese).
- Sanders, F. and J. R. Gyakum, 1980: Synoptic-Dynamic Climatology of the “Bomb”. *Mon. Wea. Rev.*, 108, 1589–1606.
- Verhoef, A., and Stoffelen, A., 2009: *Validation of ASCAT 12.5 km winds*. SAF/OSI/CDOP/KNMI/TEC/RP/147. v1.2. February.

An operational model for the Portuguese coast

L. Pinto (1), F.J. Campuzano (1), R. Fernandes (1), L. Fernandes (2) e R. Neves (1)

- (1) Maretec, Instituto Superior Técnico. email: ligia.pinto@ist.utl.pt.
 (2) Freelance consultant

Abstract: An operational model named PCOMS (Portuguese Coast Operational Modelling System) is being used as a forecasting system for the continental Portuguese coast. The PCOMS consists of two nested domains covering the Iberian Atlantic coast and its adjacent ocean. The 3D model is a downscaling of the Mercator-Ocean PSY2V4 North Atlantic solution that runs the MOHID model in full baroclinic mode. The PCOMS is forced with results from meteorological forecast models and water levels from the West Iberia domain as ocean boundary conditions.

A general description of the system and results of model applications will be presented in order to show the modelling system potential. Also several tools for exploitation and visualization of the model results will be described. Presently, the system is already used to provide boundary forcing for local scale model applications via downscaling of the solution.

Keywords: Operational model, Portuguese coast, Mohid model

1. INTRODUCTION

Over the last decades, several operational modeling systems have been developed with different level of complexity, objectives and end-users. The development of these systems is responsible for significant scientific and technical achievements related to operational oceanography (Le Traon et al., 2009). Numerical models play an important role since they provide continuously state estimates and forecasts of coastal and ocean state.

In recent years, operational forecasting systems for the coastal and shelf seas become feasible due to the increasing maturity of numerical models, advances in systematic and real-time monitoring, and progresses in data assimilation techniques and applications (Zhuang et al., 2011). At present, there are increasing requirements for operational forecasting systems in coastal and shelf seas.

The objective of operational forecast is to provide information to deal with marine environment problems and to satisfy needs at different levels from the community. In this perspective, this paper shows the potential contribution that PCOMS results may provide to the public and other end users.

2. PCOMS DESCRIPTION

The Portuguese Coast Operational Modelling System for the continental Portuguese coast is a forecast system based on the MOHID model (www.mohid.com). MOHID is an open-source three-dimensional water modelling system, developed by MARETEC (Marine and Environmental Technology Research Center) at Instituto Superior Técnico (IST).

The Portuguese Coast Operational Modelling System is running in full operational mode and produce daily hydrodynamic and ecological results

for the previous day and three days forecast for the Western Iberia Coast.

2.1. Modelling system

The modelling system consists of two nested domains (domain 1 and domain 2) covering the Iberian Atlantic coast and its contiguous ocean (Fig. 1). The domain 1 barotropic model, with a 0.06° resolution, is forced with the FES2004 global tide solution along the ocean boundary. The domain 2 model is forced in the boundary by the domain 1 result.

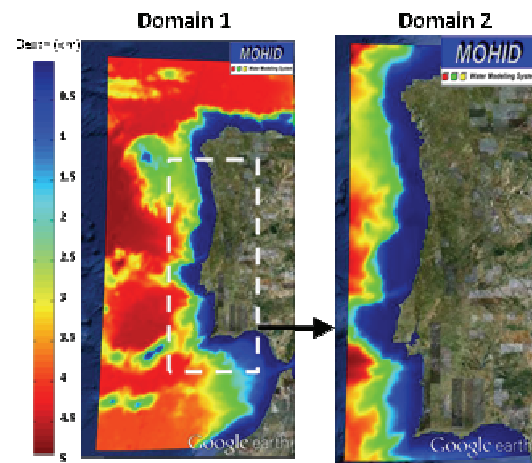


Fig. 1 PCOMS nested domains: domain 1 (Left) and domain 2 (right).

The domain 2 model is a downscaling of the Mercator-Ocean PSY2V4 North Atlantic solution that run the Mohid model in full baroclinic mode with a horizontal resolution of 5.6 km and with 50 vertical levels (43 in Cartesian and 7 in sigma coordinates) with a resolution of down to 1 m near the surface. Temperature and salinity 3D initial conditions are interpolated directly from the Mercator-Ocean fields.

For the atmospheric conditions, the system is one-way coupled offline with the MM5 atmospheric forecast model for the west Iberian coast, running at IST (<http://meteo.ist.utl.pt>). This model provides wind speed, air temperature, mean sea level pressure, surface humidity, cloud cover, downward long wave radiation and solar radiation hourly data with a 9 km spatial resolution.

In order to manage and to automatize the operational procedures, the Maretec-IST developed a software Automatic Running Tool (ART) that preprocess the input files needed by the hydrodynamical-ecological model, execute the model using the Mohid configured files and finally store, graph and distribute the model results via opendap, smartphone and publishing on webpages. At the preprocessing phase, it adapts using different data sources to the model domain i.e. results from atmospheric models MM5 or WRF (Trancoso, 2012), global circulation model results (i.e. Mercator-Ocean), meteorological or flow monitoring stations.

2.2. Validation

Model validation is an essential part of the operational modelling platforms. Operational models validations procedures typically include comparisons with remote sensing data and in situ observations.

PCOMS sea surface temperature (SST) results are daily compared with remote sensing data (Fig. 2) from the ODYSSEA Global SST (<http://ghrsst.jpl.nasa.gov/>). Plots with the difference between model results and remote sensing data are produced and quantitative statistics are calculated to assess model performance. Also comparisons between temperature and salinity profiles and ARGO profiling buoys are performed in a regular basis. For the tidal validation, data from several stations along the Iberian coast is used to validate the model results.

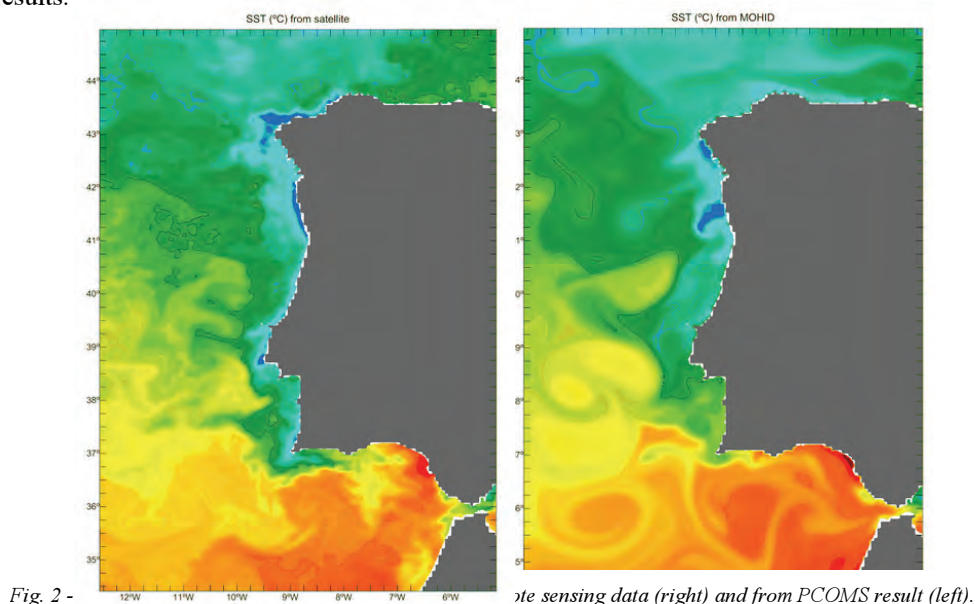
3. MODEL APPLICATIONS

Operational models provide the infrastructure to support marine decision making and also relevant information on the ocean dynamics. PCOMS can address such requirements and is currently used to deal with several problems related with coastal management, marine pollution and safe navigation (Mateus et al., 2012).

PCOMS results can be used as ocean boundary conditions to different local models where a higher model resolution is needed, bringing ocean forecasts to more specific areas. Some of the local model applications are the Ria de Aveiro model to simulate water quality process, the Nazaré and Setubal canyons model to study the sediment dynamics and Mondego estuary model to study the residence time of water in the estuary (Kenov et al., 2012). Other local applications are operational systems nested with PCOMS, such as the Tagus coastal and estuarine area model. In the Tagus case, the solution downscales to smaller domain models to study the effect of local streams on the water quality, to evaluate the impact of a submarine outfall on the water quality and ecological process in the area and as boundary conditions for the Tagus Mouth model (see Campuzano et al., in this volume).

3. MODEL RESULTS EXPLOITATION TOOLS

Several model results exploitation tools using PCOMS outputs are being developed and delivered for the Atlantic Region and for the Portuguese Coast. These interactive tools allow the end-user to exploits the model results. Some of the software tools presently using are described below.



4.1. EasyCO web bidirectional tool

This tool is a web-based interface developed in the frame of the EasyCO project (<http://www.project-easy.info/>) and integrates the different systems results for meteo-oceanographic variables (<http://easyco.maretec.org/wbt/>). With this tool the end-user can: a) visualize meteocean forecasts (Fig. 3) for the EasyCO project partners (Atlantic Arc); b) simulate inert spills, floating objects, hydrocarbons and transport of harmful algae blooms; c) simulate fish planktonic stage dynamics (eggs and larvae).

4.2. Mohid Desktop Spill Simulator

Mohid Desktop Spill Simulator is a fast oil and inert spill lagrangian simulator integrating offline meteocean forecasts. Results are generated in seconds, and thus, can be very useful in emergency situations. The numerical model used to simulate spill fate and behaviour is the lagrangian component of MOHID water modelling system. This software was developed in the aim of the ARCOPOL project (<http://www.arcopol.eu/arcopol/>) and can be installed on a pc or laptop (download available at http://arcopol.maretec.org/Tools/SpillSimulator/SpillSimulator_Installer.zip).

4.3. Dynamic risk tool

This system provides coastal pollution risk levels associated to potential (or real) oil spill incidents (http://arcopol.maretec.org/Tools/RiskTool/DynamicRiskTool_Installer.zip). The system takes into account the regional statistic information on vessel accidents and coastal vulnerability indexes (Environmental Sensitivity Index and Socio-Economic Index), the real time vessel information obtained from AIS, the best-available meteocean numerical forecasts and simulated scenarios by the oil spill fate and behaviour component of MOHID water modelling system. This tool was first developed in the frame of the ARCOPOL project and future developments will be made in the scope of the ARCOPOLplus project.

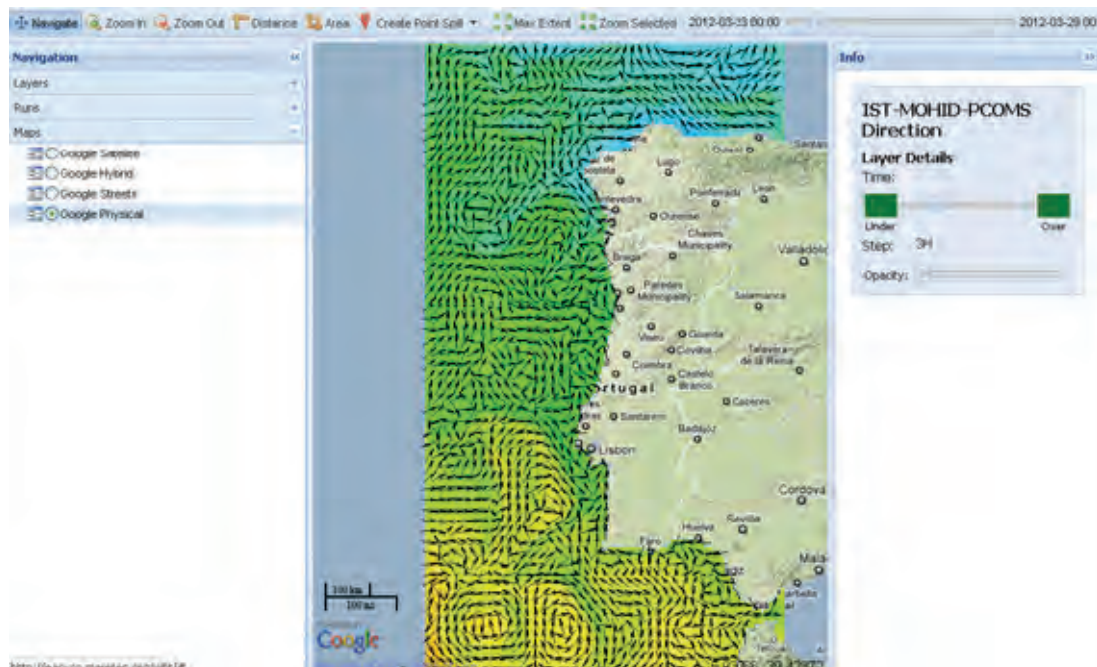


Fig. 3- Example of PCOMS results displayed at the EASYCO web bidirectional tool.

4. CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

The Portuguese Coast Operational Modelling System is presently running in full operational mode, producing daily hydrodynamic and ecological results for the Western Iberia Coast. PCOMS results are exported to a web-based information system for real-time dissemination to the public, providing information on the state of the ocean and prediction to all society.

The operational system structure is prepared to be used in an operational environment where products and services can be providing on request, for hindcast or forecast situation.

Although, some model improvements are ongoing, namely the inclusion of the river discharges along the coast and the increase in the model spatial resolution near the coast.

Acknowledgements

This work is partially supported by EASYCO Project, financed by the Atlantic Area Transnational Programme of the European Commission (EC), priority 2, through the European Regional Development Fund (ERDF), contract nr. 2008-1/002. Some of the application tools were developed in the frame of the ARCOPOL Project (contract nr. 2008-1/061) and ARCOPOLplus Project (contract nr. 2011-1/150).

REFERENCES

- Campuzano, F.J., Fernandes, R., Leitão, P.C., viegas, C., de Pablo, H., and Neves, R., (2012). Implementing local operational models based on an offline downscaling technique: The Tagus estuary case. *Book of abstracts of the 21H Jornadas*.
- Kenov, I. A. ,Garcia, A. C., Neves, R. (2012). Residence time of water in the Mondego Estuary (Portugal). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, in press.
- Le Traon, P.-Y., Larnicol, G., Guinehut, S., Pouliquen, S., Bentamy, A., Roemmich, D., Donlon, C. , Roquet, H. , Jacobs, G., Griffin, D., Bonjean, F., Hoepffner, N., and Breivik, L.-A. (2009). Data assembly and processing for operational oceanography: 10 years of achievements. *Oceanography*, 22(3), 56–69.
- Mateus M., Riflet, G., Chambel, P., Fernandes, L., Fernandes, R., Juliano, M., Campuzano, F., de Pablo, H., and Neves, R. (2012). An operational model for the West Iberian coast: products and services. *Ocean Science Discussion*, 9, 1651–1689.
- Trancoso, A. R., 2012. *Operational Modelling as a Tool in Wind Power Forecast and Meteorological Warnings*. PhD Thesis, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 146p.
- Zhuang, S.Y., Fu, W.W., and She, J. (2011). A pre-operational three Dimensional variational data assimilation system in the North/Baltic Sea. *Ocean Science*, 7, 771-781.

Sistema integrado de apoio meteo-oceanográfico aos portos dos Açores

F. V. Reis (1), R. D. Tomé (1), A. T. Simões (1), A. S. Valente (1),
M. C. Rodrigues (2) e E. B. Azevedo (1)

- (1) Centro de Estudos do Clima, Meteorologia e Mudanças Globais da Universidade dos Açores. Rua Capitão Rua Capitão João de Ávila. 9700-042 Angra do Heroísmo. Terceira. Açores. edubrito@uac.pt
(2) Portos dos Açores, SA. – Direcção Geral da Terceira e Graciosa, Zona Portuária do Cabo da Praia, 9760 Praia da Vitória.

Resumo: Pese embora a óbvia dependência do Arquipélago do Açores face às condições do estado do mar, só a partir do ano de 2005 foi possível dotar a região de equipamentos e ferramentas que, progressivamente, têm permitido um apoio à operacionalidade dos seus portos, bem como ao desenvolvimento de uma primeira climatologia da agitação marítima que condiciona estas importantes infra-estruturas. Este esforço complementa a rede de marégrafos do IH que de há longa data caracterizam o regime das marés observado na região. Em simultâneo têm sido desenvolvidos esforços no sentido de dotar o Porto da Praia da Vitória de uma estrutura de apoio à investigação de temas relacionados com a operação portuária. Na presente comunicação é feita, de forma integrada, uma caracterização de todo o sistema e dos produtos desenvolvidos, bem como são identificadas as respectivas potencialidades face à nova estrutura de gestão dos Portos dos Açores.

Palavras chave: portos açores, agitação marítima, operação portuária.

1. INTRODUÇÃO

Os projectos CLIMAAT e CLIMARCOST (Azevedo *et al.* 2008), desenvolvidos no âmbito das Iniciativas Comunitárias Interreg_IIIB, Açores Madeira e Canárias (MAC/2.3/A3; 03/MAC/2.3/A5; 05/MAC/2.3/A1), tiveram como objectivo o aprofundamento da cooperação técnica e científica no sentido do desenvolvimento e adopção de metodologias e de tecnologias específicas para o estudo e acompanhamento da meteorologia e do clima das regiões insulares da Macaronésia, e da sua envolvente, a uma escala compatível com a generalidade dos fins aplicados. Mais recentemente, e no âmbito do projecto MacSIMAR (PCT_MAC/1/A089), foi considerado como objectivo a atingir a integração de todo o esforço desenvolvido em fases anteriores na estratégia Europeia de investigação marinha e marítima para o mar.

De entre as diversas iniciativas desenvolvidas pelos diferentes parceiros, e no âmbito dos referidos projectos, foi possível dotar o Arquipélago dos Açores de uma rede de acompanhamento das condições da agitação marítima em tempo q/real, bem como desenvolver as capacidades em modelação numérica conducentes à disponibilização pública de previsões do estado do tempo e do mar com uma resolução mais adequada à realidade insular.

Estas iniciativas, para além de gerarem um considerável acervo científico em dados, têm permitido a disponibilização de informação de natureza operacional e climatológica de utilização generalizada pelas entidades que dela necessitam. De entre estas entidades, e no que diz respeito à

informação que incide sobre o ambiente marinho e costeiro, destacam-se as relacionadas com a navegação e segurança no mar, com o projecto e execução de infra-estruturas marítimas, bem como com as relacionadas com a operação e gestão portuárias.

2. REDE DE ESTAÇÕES ONDÓGRAFO DA RAA

Iniciada em 2005, a rede de monitorização da agitação marítima da RAA é composta actualmente por seis estações ondógrafo da marca Datawell MK_III que, de Sta. Maria às Flores (Tabela I e figura 1), registam e transmitem em tempo quase-real informação relevante para diferentes fins aplicados (cf. Barrera *et al.* 2008).

A gestão científica e operacional de toda a rede está a cargo do Centro de Estudos do Clima, Meteorologia e Mudanças Globais (C_CMMG) da Universidade dos Açores, cuja actividade, neste domínio, é suportada pela Direcção Regional dos Transportes Aéreos e Marítimos (DRTAM) da RAA, enquanto que os meios operacionais e de manutenção estão a cargo da empresa Portos dos Açores, SA.

Para além de integrarem a rede dos parceiros dos projectos acima referidos, o conjunto de estações ondógrafo da RAA, registadas na WMO com os códigos de 6202400 a 6202405, fazem parte da rede nacional de monitorização da agitação marítima gerida pelo IH, e integram as redes dos consórcios internacionais IBI_ROOS e IOWAGA.

Estação	Latitude	Longitude	Profundidade de amarração	Modelo Dataswell
Flores	39° 22.11'	-31° 9.80'	80 m	MK III (0.7 m)
Terceira	38° 45.05'	-27° 00.62'	100 m	MK III (0.7 m)
Faial/Pico	38° 35.26'	-28° 32.26'	110 m	MK III (0.9 m)
Graciosa	39° 05.21'	-27° 57.73'	97 m	MK III (0.7 m)
S. Miguel	37° 43.53'	-25° 43.28'	90 m	MK III (0.7 m)
Sta. Maria	36° 55.21'	-25° 10.02'	119 m	MK III (0.7 m)

Tabela I – localização e características de fundeamento das estações ondógrafo da RAA.



Figura 1 – localização das estações ondógrafo (o mapa não está à escala).

Os dados observados pelas bóias ondógrafo, constituídos na sua origem por séries temporais de deslocamentos verticais (elevações) e horizontais segundo os eixos N-S e E-W, são calculados a partir das medições das três componentes da aceleração do movimento da superfície livre do mar face às respectivas componentes do campo magnético terrestre.

Em condições normais a aquisição de dados é efectuada de três em três horas, durante períodos de 30 minutos. Em condições de temporal, ou seja, quando a altura significativa excede 5 metros, os períodos de aquisição são apenas espaçados de pequenos intervalos necessários ao processamento dos dados. Todos os registos são processados tendo em vista a obtenção dos parâmetros oceanográficos relevantes obtidos quer pelo método directo quer pelo método espectral. As estações ondógrafo também disponibilizam a temperatura de superfície da água do mar em graus centígrados.

A transmissão dos dados das bóias para terra é feita via rádio, em VHF, sendo depois encaminhados via Web, por ADSL, para os servidores do C_CMMG. A organização da informação é feita em base de dados, sendo susceptível de consulta mediante chave de acesso através de uma interface específica com o endereço <http://www.ccmng.angra.uac.pt/>.

Os diferentes blocos de informação podem ser consultados através de critérios de selecção por unidade ondógrafo, por tipo de dados e por intervalo de calendário, bem como descarregados para ficheiros autónomos em formato ASCII ou CSV.

Os dados estão organizados nos seguintes blocos de informação:

- dados dos 10 minutos

- dados do *system file* da MKIII (formato do fabricante)
- dados dos espectros (*spectrum files*)
- *rawdata*
- dados em tempo q/real em formato KMZ (*Google Earth*)

A informação produzida pela rede pode ter um objectivo estritamente operacional, fornecendo dados sobre o estado do mar em tempo q/real através da página web www.climaat.angra.uac.pt, e da sua evolução nas últimas 24 horas, bem como pode servir para elaboração da climatologia da agitação marítima necessária para vários fins (cf. Figura 2, em Esteves *et al.* 2009), designadamente para o estabelecimento dos parâmetros de projecto necessários para as infra-estruturas portuárias.

A informação produzida também é utilizada para outros objectivos de natureza científica, designadamente para efeitos de calibração de dados de detecção remota (cf. Pontes *et al.*, 2010; 2011), de modelos da agitação marítima (cf. Guilherme *et al.* 2009; Santos *et al.* 2009), avaliação da energia das ondas (cf. Pontes *et al.* 2010; Izan *et al.* 2011), avaliação do risco em operações portuárias (cf. Santos *et al.* 2010a; Neves *et al.* 2011;), erosão costeira, transporte de sedimentos, caracterização dos ecossistemas marinhos, etc..

Por outro lado, a possibilidade do acompanhamento em tempo q/real do estado do mar em situações mais complicadas do estado do tempo, tem permitido uma gestão da manobra e operação portuária em condições de maior segurança, bem como uma melhor gestão das operações de acautelamento e segurança em obras portuárias em curso.

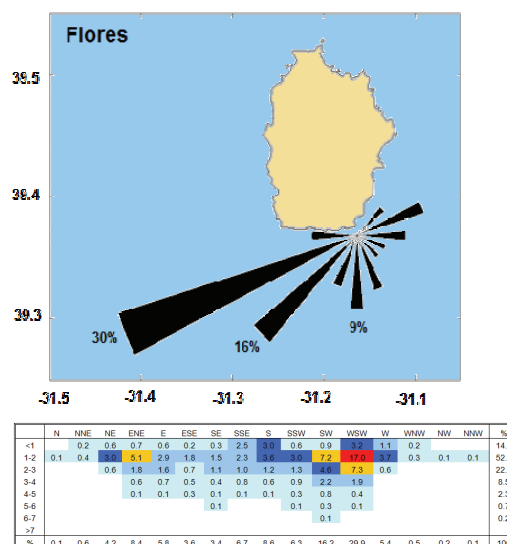


Figura 2 – Pormenor da climatologia da agitação marítima para o porto das Lajes na ilha das Flores em Esteves *et al.*, 2009.

3. PREVISÕES DO ESTADO DO TEMPO E DO MAR

Também no âmbito dos projectos acima referidos o C_CMMG disponibiliza diariamente, através da sua

página <http://www.climaat.angra.uac.pt/>, e para vários domínios espaciais da região dos Açores, os resultados de vários modelos de previsão do estado do tempo e do estado do mar. Na previsão do estado do tempo, e em colaboração com parceiros da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, são corridos duas vezes ao dia os modelos de mesoscala MM5 (Penssylvania State University/National Center for Atmospheric Research) e WRF (Weather Research and Forecasting do National Center for Atmospheric Research).

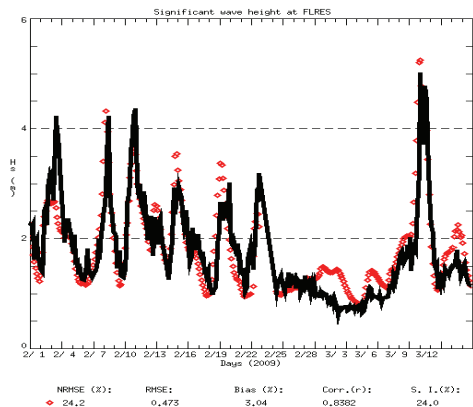


Figura 3 – Testes de validação da nova geração do WAVEWATCH III com recurso aos dados da bóia das Flores (Fabrice Ardhuin - IFREMER – NOAA/NCEP- CCMMG.) .

No domínio da agitação marítima recorre-se ao modelo WAVEWATCH III com uma previsão a 72 horas da agitação marítima para vários domínios espaciais que abrangem o Atlântico Norte e, em particular, os diferentes grupos do Arquipélago dos Açores. O modelo é actualizado todas as 12 horas e é forçado com as previsões do vento aos 10m obtidas com o modelo atmosférico de mesoscala MM5. Tendo em vista a sua validação, as previsões efectuadas são periodicamente comparadas com as medições feitas pelas bóias ondógrafo (cf. figura 3).

4. RADAR DE BANDA X

A introdução de um radar de banda X no Porto da Praia da Vitória (Figura 4) para a monitorização das condições do estado do mar na zona periférica à barra do porto, a par da monitorização da agitação marítima com recurso à bóia ondógrafo, teve como objectivo testar estas tecnologias no sentido de as vir a utilizar com economia de meios e, eventualmente, com vantagem em relação às técnicas baseadas em estações fundeadas. A tecnologia adoptada é a disponibilizada pela WaMos® (Wave and Surface Current Monitoring System), que trata um sinal de radar FURUNO equipado com uma antena de 6 pés. O perímetro de rotação da antena é de 360 graus, muito embora se tenha aplicado uma máscara de protecção ao sinal no sector correspondente à zona portuária e de terra.

De facto, para além da enorme vantagem que só por si constitui a circunstância de, com este equipamento e metodologias, ser possível fazer observações espaciais horizontais do estado do mar numa zona periférica mais alargada, a qual, no caso concreto, se estende a cerca de uma milha náutica fora da embocadura do porto, acresce também o facto de ser um equipamento que fica instalado em terra, o que não só facilita o seu acesso e manutenção, como o protege da adversidade a que estão sujeitos os equipamentos fundeados, sobretudo em situações de mau tempo, precisamente aquelas em que é fundamental que as observações não sejam interrompidas.



Figura 4 – Torre e instalações do radar de banda X no porto da Praia da Vitória para a monitorização da agitação marítima periférica.

As recentes metodologias de monitorização da agitação marítima com recurso a tecnologias radar têm sido adoptadas em diferentes enquadramentos costeiros. A interacção entre o sinal radar e a superfície do mar é assumida por ser uma dispersão do tipo Bragg onde os ecos proporcionados pela ondulação, responsáveis pelos sinais de retorno, são susceptíveis de serem interpretados matematicamente e incorporados em modelos hidrodinâmicos.

No caso do radar do Porto da Praia da Vitória, os valores observados com esta tecnologia têm sido confrontados com os registados na bóia ondógrafo fundeada ao largo do mesmo porto.

5. PORTO DA PRAIA DA VITÓRIA

Atendendo às características do Porto da Praia da Vitória na Ilha Terceira (figura 5), designadamente as relacionadas com a sua dimensão, configuração, batimetria e “limpeza” da sua bacia, quando associadas à configuração e recorte das infra-estruturas portuárias existentes, bem como às características das suas margens, faz deste porto um excelente laboratório natural para qualquer estudo que se relacione, quer com aspectos hidrodinâmicos, quer com aspectos operacionais, de manobra e de gestão portuária, quer ainda com aspectos que se relacionem com a gestão ambiental ou de situações de emergência. De facto, desde o início das iniciativas de que faz referência esta comunicação,

esta infra-estrutura portuária tem sido utilizada, quer como plataforma logística para as operações de mar, quer para o teste das novas tecnologias de observação por radar, quer ainda no âmbito de vários estudos de capacidade de operação face a diferentes cenários de agitação marítima (cf. Santos *et al.* 2010a, 2010b; Neves *et al.* 2010; Guilherme *et al.* 2009;).

Nesta perspectiva, e com o intuito de dotar a baía portuária com meios de observação que permitem desenvolver e apoiar os estudos para lá planeados, encontram-se em funcionamento os seguintes equipamentos: uma bóia ondógrafo; um radar de banda X, uma estação meteorológica e três marégrafos de pressão. Para além destes sensores foi adquirido um sensor ADCP para o canal de acesso ao porto, o qual ainda se encontra em fase de instalação.

Da mesma forma, e no âmbito de vários estudos, têm sido testados modelos numéricos de alta resolução para águas pouco profundas no interior da baía portuária da Praia da Vitória, os quais, incluído funções de transferência de vento e das condições da agitação exterior, permitem um acompanhamento do seu comportamento face aos fenómenos observados.

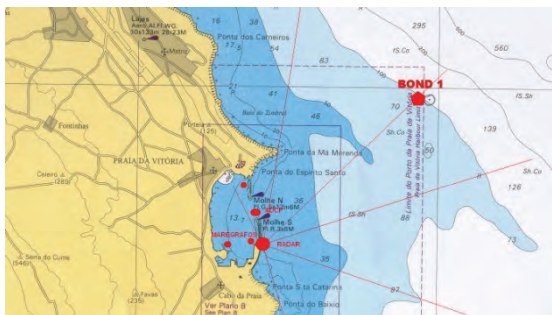


Figura 5 – Porto da Praia da Vitória e respectivo dispositivo de monitorização.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos programas que permitiram o lançamento dos projectos acima referidos, designadamente os financiados pela união Europeia através de fundos FEDER. Os autores também agradecem o apoio da Direcção Regional dos Transportes Aéreos e Marítimos da RAA, o qual têm permitido dar continuidade a essas iniciativas. Um particular agradecimento é devido ao Sr. Eng. José Ribeiro Pinto, ex Presidente do Conselho de Administração da APTG (Administração dos Portos da Terceira e Graciosa), pelo apoio prestado e pela visão que sempre teve sobre as potencialidades que o Porto da Praia da Vitória oferece no domínio do desenvolvimento científico relacionado com a segurança e operações portuárias.

REFERÊNCIAS

Ardhuin, Fabrice (2011) – *Hindcast e testes de validação da nova geração do modelo WaveWatch*. IFREMER; NOAA/NCEP; CCMMG.

Azevedo, E.B.; Paulo M.; Gonçalo V., (2008) - "Projectos CLIMAAT e CLIMARCOST" -- WSCRA08- Março de 2008

Barrera C., Azevedo E.B., Rueda M.J., Gelado M.D. and Llinás O. (2008) - Real-time monitoring network in the Macaronesian region as a contribution to the Coastal Ocean Observations Panel (COOP). *Journal of Operational Oceanography*. Vol. 1. Issue 1: 59-69 .

Esteves R., Valente A.; Costa M.; Reis F.; Azevedo E. B. (2009) – Dados Direccionais de Agitação Marítima nos Açores - 6.^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária – PIANC.

Guilherme, L.; Santos, J. A.; Fortes, C. J. E. M.; Simões, A. (2009): “Validação da metodologia utilizada para a previsão da agitação marítima implementada no projecto MOIA”, *Congresso de Métodos Numéricos en Ingenieria*, Barcelona.

Izan Le Crom, Hector C. Bermejo, Arthur Pecher, Eduardo B. Azevedo, Francisco V. Reis – (2011) Incident wave climate at the OWC Pico plant: Validation of a feed-forward based propagation method (ANN) and a numerical simulation (SWAN) with measured data. *9th European Wave and Tidal energy Conference Series*. University of Southampton.

Neves, D. R.; Santos, J. A.; Fortes, C. J. E. M.; Reis, M. T.; Rodrigues, S.; Simões, A.; Azevedo, E. B. (2010): “Avaliação do risco para a navegação em dois portos portugueses” *Proc. IV SEMENGO, Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica*, 3 a 5 de Novembro, Rio Grande, Brasil.

Pontes T., Bruck M. M., Azevedo E., Lehener S. (2011) – “Study of Sea-State Variability and Wave Groupiness Using TerraSAR-X Synthetic Aperture Radar Data” – *proceedings of 9th European Wave and Tidal energy Conference Series*. University of Southampton.

Pontes M.T., Azevedo E.B., Bruck, M., Lehener S. (2010) – “Use of Spectral Remote Wave Data for Wave Energy Resource Characterization” Instituto hidrográfico. *1^{as} jornadas de Engenharia Hidrográfica*, Lisboa Junho de 2010.

Santos, J.A; Rodrigues S., Pinheiro, L., Neves D.R., Fortes C. J., Reis M.T., Simões, A., Azevedo, E.B. (2010a) – “Managing Wave-Induced Risks in Port Operations” – *ICCCM10 - International Conference on Coastal Conservation and Management in Atlantic and Mediterranean*. Estoril, Portugal.

Santos, J. A.; Guilherme, L.; Fortes, C. J. E. M.; Pinheiro, L. V.; Simões, A. (2009): “Coupling Numerical Models for Wave Propagation in the MOIA Package”, *Journal of Coastal Research*, SI56, 544-548.

North Portugal – Galician network for meteorological and oceanographic operational monitoring. RAIA and RAIA.co projects.

A. Almécija (1) e RAIA Group.

(1) Centro Tecnológico del Mar – Fundación CETMAR. aalmecija@cetmar.org

Abstract: RAIA and RAIA.co projects aim at developing a cross-border oceanographic observatory for the NW coast of the Iberian Peninsula, comprising Galicia and the North of Portugal. Thanks to these projects, meteorological and oceanographic data are gathered now and transmitted in real time from several points of the Galician coast. Buoys are equipped with sensors measuring meteorological and oceanographic variables. Depending on the locations, this includes air temperature, wind, humidity, salinity, sea water temperature, currents, waves or chlorophyll. Data acquired by the buoys can already be accessed freely through the RAIA web page. This article is an overview of RAIA-RAIA.co buoy network and its management.

Keywords: real-time data, oceanographic stations, buoy mooring system NW Iberian Peninsula

1. INTRODUCTION

The economic importance of the coastal activities (fishing and aquiculture, maritime transport, leisure and sports, etc.) in the Iberian Margin justifies the implementation of a cross-border oceanographic observatory in order to monitor physicochemical and biological variables.

Monitoring and providing real time data allow, on one hand, to study oceanographic phenomena in long time data series and, on the other hand, to develop better prediction models, check their performance and design particular tools or applications for specific users.

RAIA and RAIA.co projects are supported by POCTEP (Programa Operativo de Cooperación Transfronteriza España-Portugal) through the European Regional Development funds.

2. THE OBSERVATORY

RAIA – RAIA.co Observatory is formed by a combination of coastal buoys and coastal stations. During the project, it was scheduled to install 5 new buoys along the NW Iberian coast, 2 in Portugal and 3 in Galicia. Other pre-existing stations – were also planned to be part of the observatory. The location of the stations and buoys is shown in figure 1.

In addition to the new RAIA buoys, other data from already existing ocean observation networks in the region have been incorporated to the interface where data are available, aiming at gathering the most complete information. These networks are the (External and Coastal) Measurement Networks of Puertos del Estado (Spain) and the Buoys Network of the Instituto Hidrográfico (Portugal).

In order to guarantee a homogeneous observatory, partners of the project reached an agreement about the instrumentation to be used in the buoys and stations.

Buoys are equipped with a meteorological station, an ADCP to measure currents, a multiparameter water quality probe and 3 CTD in the water column (surface, middle and bottom). But due to particular requirements of each buoy or station, it was finally necessary to change some instruments in specific stations.

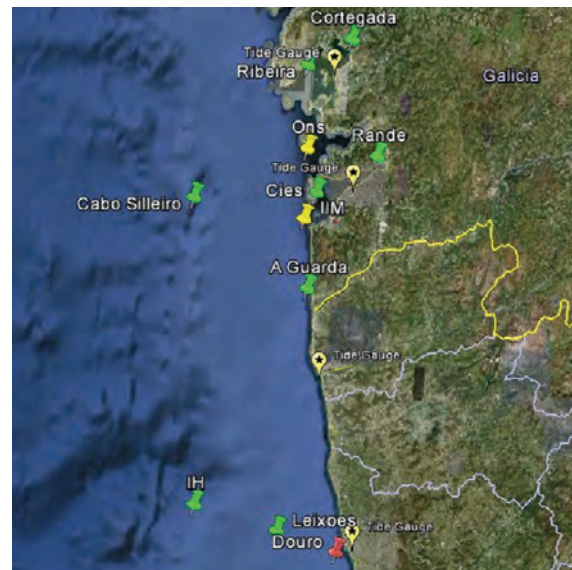


Fig. 1. RAIA – RAIA.co Observatory buoys and stations: in green, actually operating stations, in red future stations and in yellow crashed buoys.

The meteorological instruments are a wind monitor, (R. M. Young model 05106), an electronic compass (R. M. Young model 32500) and a temperature and humidity probe (VAISALA HMP 45 AC).

For the oceanographic instrumentation, chosen CTD are SBE 37 IMP. The ADCP are from Teledyne RD Instruments (WHM300-I). The primary choice for the water quality probe was a Hydrolab DS5X, but due to several problems with its performance and breakdowns this choice is being reconsidered.

Based on these instrumentation requirements, each partner could choose among the different

commercial buoys in the market (Oceanor for the Instituto Hidrográfico or OSIL for the IIM) or a new design developed especially for the Observatory (INEGI and GOFUVI).

3. SELF-DESIGNED BOUYS

The development of a self-designed buoy was one of the principal aims for Galician partners (Meteogalicia, Intecmar and CETMAR). This development was mainly carried out by GOFUVI Group from Vigo University. A large flat round steel buoy with a gantry for meteorological instrumentation was designed. According to this design, three buoys were built to be installed at the entrance of the Ría de Vigo and Ría de Pontevedra and Miño River estuary.

Additionally, there are two pre-existing stations fixed to singular structures also integrated into the RAIA-RAIA.co Observatory. One of them is fixed to one of the pillars of the Rande Bridge (Ría de Vigo) and the other one in an experimental bed in Arousa Ría.

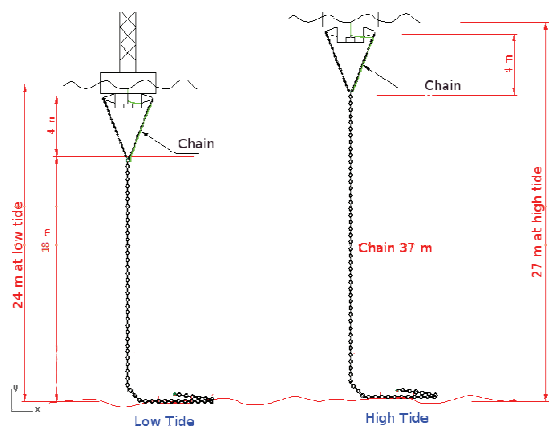


Fig. 2. Diagram of one point mooring in high and low tide.

Choosing the right type of mooring for the buoys has been one of the main problems found along the project. The moorings generally consist in a concrete weight with a steel chain. Different types of moorings have been tested: with one, two and three mooring gears. A bigger number of points do not decrease the probability of the mooring breakage.

Electronics in the buoys and stations are also self-designed ones. The chosen data logger was a CR1000 by Campbell Scientific and the program was also developed for the RAIA-RAIA.co. Different sampling periods are defined for each instrument, data are processed and stored in the logger and sent as stated in the procedures. Defining the sampling strategy is important in order to optimize the power consumption and to avoid possible communication errors with the instrumentation and, in consequence, data failures or misses.

4. MAINTENANCE AND IMPROVEMENTS

Ensuring an adequate maintenance of the observational network is essential to guarantee its good performance and sustainability. Optimizing the economical and technical resources to perform such maintenance requires a thorough plan.

This plan includes routine visits to the buoys, every 2-3 months during winter and more frequently in spring and summer because of the fouling, one of the main problems affecting oceanographic probes. Planning the maintenance visits involves an important effort due to the large number of factors to be considered, such as weather and maritime conditions, ship availability and human resources. A system of stocks management of supplies and spare parts is also necessary.



Fig. 3. Mooring maneuver of one of the buoys.

The particular work conditions on the buoys make preferable to advance as much work as it is possible in order to decrease the operations to perform on the sea. Based on the experience acquired during the first stages RAIA project and aiming at reducing work on field, a “plug and play” system has been developed. It is important that all stations have similar size as well as standardized electronics and instrumentation.

Reducing the risk of collisions is also an important issue. All the legal signaling requirements are installed and most of the improvements suggested by local authorities fulfilled. To minimize the risk of missing one buoy, two different position systems have been developed: one by SMS and a redundant one by Iridium in most of the stations. In addition,

an emergency plan has been stated, involving all the institutions in the management of these buoys.

Stations moored to fixed structures, with their particular conditions, have proven to be easier to maintain and mean less potential risks.

Thinking in facilitating future maintenance, different types of developments are being designed and tested in the sphere of RAI A-RAIA.co Observatory, such as searching cheaper probes, an AUV capable to monitor environmental measurements and low-cost and self-designed wave sensors.

To strengthen the RAI A-RAIA.co Observatory, an oceanographic calibration laboratory has been set-up in Vigo, to avoid dependence of suppliers and manufacturers and to achieve a comprehensive management of instrumentation.

5. DATA

Data processed and stored in the data logger are sent to the server every ten minutes. Due to the small distance between the RAI A-RAIA.co buoys and land, it is possible to use GPRS technology.

Once the data has been received, an automatic data validation procedure is performed before a manual one to guarantee the quality of the data.

Having real time data available is one of the main aims of RAI A and RAI A.co projects. Data are published on the RAI A project web page (www.observatorioraia.org) and on some of the web pages of RAI A-RAIA.co partners.

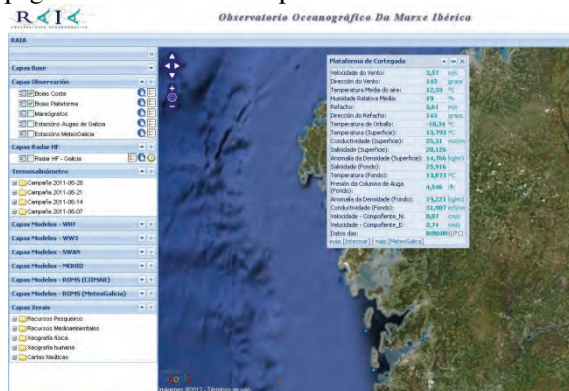


Fig. 4. Detail of real-time data visualization on www.observatorioraia.org.

6. CONCLUSIONS

The economic and technical sustainability of the observatory is vital to guarantee its own future. In order to minimize costs, there are many working lines in which improve the RAI A-RAIA.co Observatory operation.

The standardization of buoys and stations, not only in the field of instrumentation but also regarding to dimensions and external design facilitates the on-field work and reduces costs.

“Plug and play” systems for electronics, instrumentation and communication allow testing

the performance of each buoy component separately and reduce the working time on the buoy.

On the field of communications, reducing the energetic costs of current technology and improving its bandwidth will be a short-term demand to be accomplished.

The development of new probes, more solid and with less maintenance requirements is also an essential line to work in. Antifouling systems for probes are one their main weaknesses, especially in this region, and they are expected to be improved.

It is clear that the future of ocean observatories will be only guaranteed if their maintenance costs are reduced, including the number of necessary field visits. The experience gathered so far reveals that stations located in fixed structures are easier and less costly to maintain.

Acknowledgements

To all RAI A and RAI A.co partners: Meteogalicia, Intecmar, IIM-CSIC, IEO, GOFUVI, CIMAR, Instituto Hidrográfico da Marinha, Universidade de Aveiro, INEGI, Faculdade de Engenharia e Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, INESC Porto and CETMAR.

The support and advice of Puertos del Estado (Spanish Harbors Authority) and Autoridad Portuaria de Vigo (Vigo Harbor) is gratefully acknowledged.

RAI A project has been funded by the "Programa Operativo de Cooperación Transfronteriza España-Portugal" (POCTEP), project n°: 0313_RAIA_1_E. RAI A.co project has been funded by the "Programa Operativo de Cooperación Transfronteriza España-Portugal (POCTEP)", project n°: 0520-RAIA-CO-1-E.

Colaboração APRAM – IH: um contributo importante na monitorização do meio marinho na Região Autónoma da Madeira

C. Correia (1) e C. Ventura Soares (2)

- (1) APRAM - Administração dos Portos da Região Autónoma da Madeira, S.A., Gare Marítima da Madeira, Molhe da Pontinha-Porto do Funchal, 9004-518 Funchal; ceciliacorreia@apram.pt
 (2) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 49, 1249-093 Lisboa

Resumo: A monitorização do meio marinho nas águas da Região Autónoma da Madeira (RAM) tem sido feita, de um modo sistemático, através de marégrafos e boias ondógrafo operados conjuntamente pela Administração de Portos da Região Autónoma da Madeira (APRAM S.A.) e pelo Instituto Hidrográfico (IH). Esta parceria tem permitido recolher dados de grande valia para a Região, bem como alimentar as previsões de marés e a climatologia da agitação marítima por parte do IH.

Este artigo descreve a colaboração entre as duas entidades bem como refere a participação da APRAM S.A. em projetos cofinanciados por fundos comunitários, que viabilizaram a extensão da rede de boias ondógrafo ao Porto Santo e à costa norte da Ilha da Madeira, e dotaram a RAM com uma rede de boias de deteção de hidrocarbonetos e meteo-oceanográficas.

Pretende-se, no futuro, manter esta colaboração da APRAM S.A. com o IH, bem como com outros parceiros dos Açores e das Canárias, alargando-a às autoridades regionais com competências na área do ambiente e incluindo as capacidades de ciência marinha existentes em instituições da região, de modo a promover a criação de sinergias e a sustentabilidade ambiental do meio marinho.

Palavras chave: climatologia, agitação marítima, marés, boias de monitorização

1. INTRODUÇÃO

A monitorização do meio marinho é uma atividade fundamental para o conhecimento dos mares e oceanos. Os mecanismos de gestão e as tomadas de decisão subsequentes dela beneficiam grandemente, pelo que implicam uma atividade sistemática e abrangente.

A Administração dos Portos da Região Autónoma da Madeira (APRAM, S.A.) tem tido, desde sempre, no âmbito das suas responsabilidades de preservação do ambiente marinho nas suas áreas de jurisdição, uma postura pró-ativa. Nesse contexto, tem promovido com outras entidades ações concretas de monitorização sistemática, o que tem beneficiado a Região Autónoma da Madeira (RAM), dado que lhe permite dispor de um acervo importante de dados técnico-científicos do meio marinho. Estes são de reconhecida utilidade para a região em áreas como a economia, o ambiente ou o conhecimento científico em geral.

O Instituto Hidrográfico (IH) tem vindo a desenvolver, desde os anos 80 do século XX, uma estratégia de conhecimento do meio marinho, que passa pela sua monitorização sistemática, em especial das variáveis físico-químicas e hidrodinâmicas. Assim, o estabelecimento de redes permanentes de observação de ondas, marés e correntes, bem como de parâmetros físico-químicos da água, tem sido uma realidade cada vez mais alargada a todo o território nacional.

É neste contexto que se pretende descrever a colaboração entre a APRAM, S.A. e o IH, nos últimos 20 anos, avaliando e tirando as ilações

necessárias para perspetivar essa colaboração para o futuro.

2. ANOS 80 E 90

O primeiro documento que alude à necessidade da recolha sistematizada de dados da agitação marítima que permitisse dispor de uma climatologia para a zona costeira da RAM, foi enviado à extinta Direção Regional de Portos (organismo que antecedeu a APRAM, S.A.) em 1989, pela empresa WW-Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, Lda, tendo em conta o desenvolvimento das infraestruturas marítimas que se perspetivavam na RAM.

A Direção Regional de Portos, envolvida que estava nos estudos preparatórios dessas obras marítimas assumiu, desde então a necessidade de obtenção desses dados, não apenas para fins climatológicos como também para o apoio à sua atividade operacional. O IH, por seu lado, manifestara já o interesse em melhorar a obtenção de dados para previsão de marés e o estabelecimento de uma melhor climatologia das ondas. Estavam então criadas as condições para aproveitar as sinergias resultantes de uma parceria entre as duas entidades.

Do início da colaboração resultou o fundeamento da primeira boia ondógrafo ao largo do Funchal, propriedade do IH, ainda no ano 1989. Tratava-se de uma boia *Datavell* não direcional. Só em 1996 esta boia foi substituída por uma outra boia direcional, libertando a então fundeada para aquisição de dados ao largo do Caniçal (que começou a operar nesse ano), alargando a observação à zona leste da ilha da Madeira. Deste modo, a RAM ficou dotada com

duas estações ondógrafo e uma estação maregráfica (mareógrafo AOTT Bozun), que já operava de um modo permanente no porto do Funchal desde 1976 (a primeira estação maregráfica foi instalada em 1962). Esta colaboração foi reforçada em 1997 através da celebração de um contrato de “Colaboração e cooperação na agitação marítima”,

especificando o IH como proprietário do equipamento e responsável pela recolha, processamento e armazenamento dos dados, e a APRAM, S.A. pela disponibilização dos meios necessários à manutenção do equipamento.

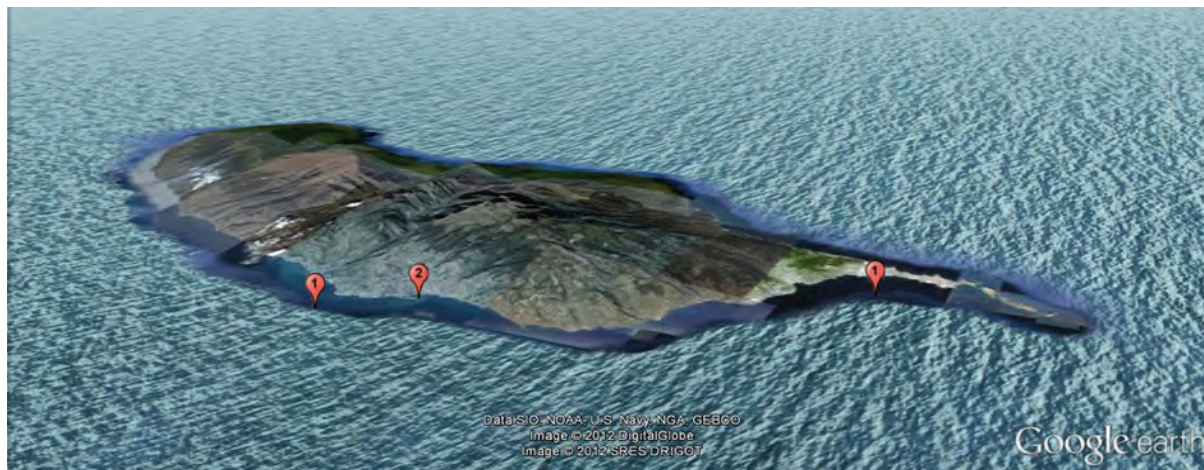


Fig. 1- Rede de boias ondógrafo (1) e mareógrafo (2) existente no final dos anos 90.



Fig. 2- Mareógrafo AOTT Bozum de tambor vertical (1976) e mareógrafo AOTT R20 (2007) instalados no Funchal.

3. PRIMEIRA DÉCADA DO SÉC. XXI

A partir da primeira década deste século verificou-se a necessidade de cada vez mais se conhecer outros parâmetros do meio marinho, associada especialmente aos requisitos colocados pelo normativo nacional entrado em vigor na área do ambiente. Essa necessidade de informação credível permitiu aumentar a já sólida parceria existente entre o IH e a APRAM S.A., potenciando uma maior intervenção desta na obtenção de outros parâmetros do meio marinho. A APRAM S.A., através de projetos cofinanciados pela União Europeia, optou pela sua participação em parcerias com os Açores (Universidade e Portos dos Açores) e as Canárias (Instituto Canário de Ciências Marinhas – ICCM e Universidade de Las Palmas), nomeadamente através dos projetos ALERMAC, o CLIMARCOST e, mais recentemente, o MACSIMAR, promovendo a expansão dos sistemas de recolha de dados, em quantidade, qualidade e diversidade. Descrever-se-ão agora, brevemente, esses projetos.

3.1. ALERMAC

Entre 2000 e 2006 a participação da APRAM S.A. no projeto ALERMAC, financiado no âmbito do programa comunitário INTERREG IIIB, propiciou a aquisição de equipamento científico ao ICCM: duas boias de deteção da presença de hidrocarbonetos e uma boia meteo-oceanográfica. Esta última permitiu a recolha de dados que até então só eram possíveis de obter de forma pontual, tais como:

- Temperatura da água;
- Temperatura do ar;
- Velocidade e direção do vento;
- Pressão atmosférica;
- Humidade relativa;
- Radiação solar;
- Direção e intensidade da corrente;
- Clorofila;
- Deteção de hidrocarbonetos.

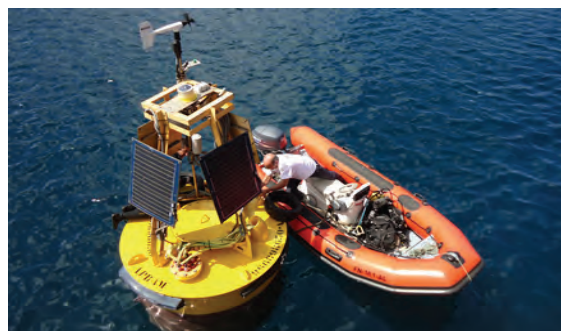


Fig. 3- Trabalhos de manutenção na boia meteo-oceanográfica



Fig. 4- Boia ondógrafo, Datawell MKIII.

As boias de detecção da presença de hidrocarbonetos foram inicialmente fundeadas dentro das zonas portuárias do Funchal e do Caniçal. Atualmente, a do Funchal foi transferida para o terminal de combustíveis dos Socorridos. A bóia meteo-oceanográfica está fundeada a 112 metros de profundidade, no terminal de combustíveis do Porto do Caniçal, funcionando como um importante elemento de apoio à operação portuária naquele terminal, transmitindo informação meteorológica mais precisa e localizada.

3.2. CLIMARCOST

Com a rede de boias mais diversificada, seguindo a sugestão do IH no alargamento da rede de boias ondógrafo e de marégrafos na região, a APRAM envolve-se no projeto CLIMARCOST, também do programa comunitário INTERREG IIIB, com o objetivo de adquirir mais equipamento e de dotar os

seus quadros de um nível de conhecimento mais aprofundado. Assim, foi adquirido o seguinte equipamento:

- a. Sistema Sutron constituído por um marégrafo primário Aquatrack (sensor acústico), marégrafo secundário Druck (sensor de pressão), sensor de direção e velocidade do vento, sensor de pressão atmosférica e sensor de temperatura do ar;
- b. 4 boias ondógrafo *Datawell* MKIII, permitindo o alargamento da rede de boias até à costa norte da ilha, ao largo do Porto Moniz (a fundear durante 2012) e à ilha do Porto Santo (fundeada em 2011);

Este projeto permitiu que o IH transferisse *know-how* para o pessoal técnico da APRAM, S.A., nomeadamente competências na operação e manutenção das estações ondógrafo, que passaram assim para a sua responsabilidade.

Por forma a refletir esta transferência de competências, em 2008 foi celebrado um novo protocolo entre a APRAM, S.A. e o IH, que definia ainda a titularidade dos equipamentos (agora da APRAM, S.A.) e contemplava o crescimento da rede de boias ondógrafo e marégrafos, bem como as implicações associadas a um avolumar das necessidades de tratamento dos dados (responsabilidade do IH).

Para além das boias ondógrafo e do marégrafo do Caniçal (propriedade da APRAM S.A.) a que dá apoio, o IH mantém em funcionamento dois marégrafos próprios no Funchal (Cais dos Contentores, em funcionamento desde 2003, e Marina, instalado em 2012).

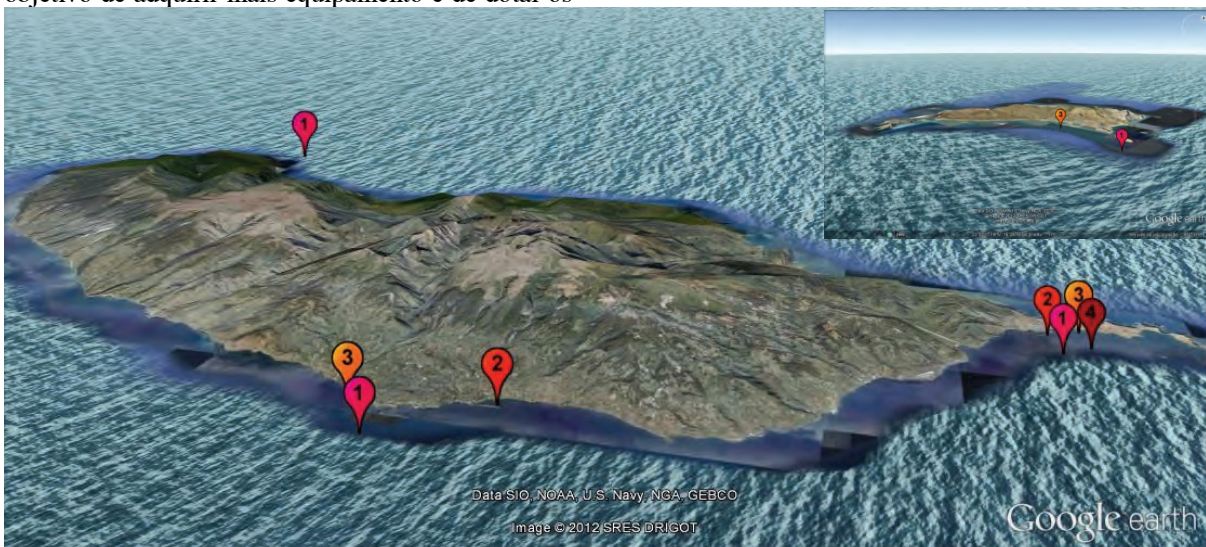


Fig. 5- Rede de boias ondógrafo (1) / marégrafos (2) / boias de hidrocarbonetos (3) e boia meteo-oceanográfica (4) existente na R.A.M.

3.3. MACSIMAR

Mais recentemente, e através do programa intercomunitário PCT-MAC 2007/2013, no âmbito do projeto MACSIMAR, a APRAM, S.A. desenvolveu a sua base de dados técnico-científicos,

permitindo uma conveniente gestão dos dados adquiridos pelas boias ondógrafo. Com este projeto pretende-se também a expansão da base de dados, integrando os dados recolhidos pelo restante equipamento oceanográfico existente nesta entidade.

Este projeto permitiu ainda a aquisição de uma terceira boia de deteção de presença de hidrocarbonetos, que foi fundeada no Porto Santo.

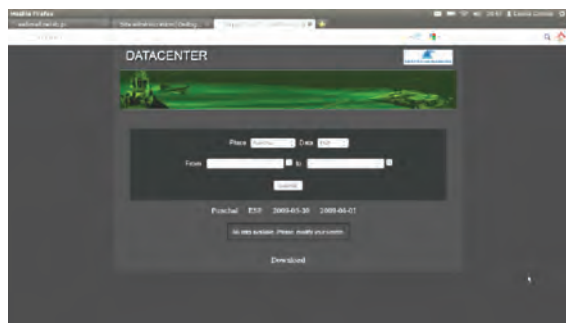


Fig. 6 – Base de dados da climatologia das ondas desenvolvida no âmbito do projeto MACSIMAR

3.4. Sistema de comunicações

Para as boias ondógrafo foi implementado na RAM o mesmo sistema de comunicações e transmissão de dados desenvolvido pelo IH para o resto do país. Este sistema de comunicações, centrado numa estação recetora, habitualmente próxima da posição de fundeamento da boia, é constituído por um recetor que recebe e descodifica os dados e por um computador que controla a aquisição e a gravação dos dados. Para além do programa de aquisição, a estação recetora tem instalado um *software* que realiza um controlo dos dados e o seu processamento em tempo real, através do qual são calculados os parâmetros mais representativos da agitação marítima.

Os dados são posteriormente transmitidos pela Internet, para o IH, sendo então sujeitos a um controlo de qualidade mais elaborado, processados e armazenados numa base de dados a que a APRAM S.A. pode aceder sem restrições.

Permite a disponibilização de informação on-line através do site do IH, onde é possível consultar a seguinte informação:

- Altura significativa;
- Altura máxima;
- Período médio;
- Período máximo;
- Direção média (de pico);
- Temperatura da água.



Fig. 7 – Informação disponibilizada on-line dos dados recolhidos pelas boias ondógrafo existentes na RAM.

4. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

A colaboração entre a APRAM S.A. e o IH sempre se pautou pela combinação de interesses comuns, seguindo um princípio de racionalização de recursos e aproveitamento de sinergias entre as duas entidades.

A atual rede de sistemas de observação do meio marinho, presente na RAM, é disso prova, havendo que garantir que se mantenham as condições que permitam a sua continuidade.

Em termos futuros importa alargar o âmbito de utilização da informação obtida pelos presentes sistemas de observação, de modo a que:

- a APRAM S.A. seja dotada do maior número possível de dados, que lhe permitam assumir as responsabilidades que detém no ambiente marinho na sua área de jurisdição;
- A RAM tenha ao seu dispor sistemas de monitorização que contribuam para a implementação da Diretiva-quadro da Água e da Diretiva-quadro “Estratégia Marinha” no arquipélago (potencial colaboração com as entidades regionais do ambiente);
- Promova o desenvolvimento das capacidades científicas regionais na área das ciências do Mar (potencial colaboração com instituições científicas regionais), aproveitando as sinergias existentes na RAM e promovendo a sustentabilidade ambiental do meio marinho;
- Contribua para um melhor conhecimento do meio marinho na RAM e, conseqüentemente, para uma melhor monitorização a nível nacional, no âmbito do programa MONIZEE conduzido pelo IH.

Agradecimentos

Agradece-se às secções de Marés e Agitação Marítima da Divisão de Oceanografia do IH, a prestação da informação histórica referenciada neste artigo. Agradece-se ainda ao serviço de pilotagem, eletricidade e marítimos da APRAM, S.A. e às equipas de campo e processamento do IH, pelo seu contributo na monitorização do meio marinho na RAM.

Operational oceanographic scheme in Galicia (NW Spain)

A. Venâncio (1), P. Costa (1), E. Pérez (1), B. Gómez (1) e V. Pérez-Muñuzuri(1)

- (1) MeteoGalicia, Consellería de Medio Ambiente, Santiago de Compostela, Spain.
(anabela.venancio@meteo galicia.es)

Resumo: Uma indústria, altamente produtiva, de exploração de marisco e de aquacultura encontra-se localizada nas diversas rias da costa oeste da Galiza. O crescimento, qualidade e mortalidade dos bivalves são afectados por: fatores antropogénicos, episódios de grande run-off e eventuais acidentes de poluição. Uma grande parte das actividades económicas desenvolvidas na região como: operações offshore, navegação, gestão costeira e o turismo encontram-se dependentes das condições oceanográficas, podendo estas vir a beneficiar de modelos numéricos de alta resolução.

É neste contexto que a MeteoGalicia desenvolveu um sistema operacional oceanográfico. O sistema de previsão utiliza 4 modelos: hidrodinâmico ROMS e MOHID, atmosférico WRF e o hidrológico SWAT; os quais são executados diariamente pela MeteoGalicia.

Os modelos foram validados utilizando as medidas das bóias oceanográficas de Puertos del Estado, MeteoGalicia e INTECMAR, no âmbito do projecto RAIÁ, medidas de satélite OSTIA SST e perfis de CTDs, obtidos semanalmente pelo INTECMAR.

Palavras chave: Oceanografia, Modelação, Operacional, ROMS, MOHID

1. INTRODUCTION

A very productive aquaculture and shellfishing industry is located in several embayment's in the western coast of Galicia. The growth, quality and mortality of these bivalves are affected by possible pollution incidents, anthropogenic discharges and high river run-off events. Offshore operations, navigation, coastal management, tourism activities are also critically dependent on the prevailing oceanographic conditions and can benefit too from high-resolution local ocean models.

In this context, MeteoGalicia has developed an operational oceanographic system. The forecast scheme involves four models, all of them running daily at MeteoGalicia office: hydrodynamic ROMS and MOHID models, atmospheric WRF model and hydrological SWAT model.

2. OPERATIONAL MODELING SYSTEM

The operational scheme involves the coupling of four models, all of them running daily at MeteoGalicia office, each one of them covering different scales.

ROMS (Regional Ocean Modeling System) model (Shchepetkin and McWilliams, 2005) covers the Northern Iberian Peninsula with a horizontal spatial resolution of 2 km and vertical discretization with 41 levels. The model is nested to Mercator global model that runs with $1/6^\circ$ of horizontal resolution, (Costa *et al.*, 2012). ROMS numerical output supplies initial and open boundary conditions for the high resolution near-shore model that runs at local scale, the MOHID (Water Modeling System) model developed by MARETEC (Marine and Environmental Technology Research Center). The MOHID is use to model the main Galician coast embayment called Rias: Arousa, Vigo and Artabro

and runs at horizontal spatial resolution of 300m, with 35, 27 and 25 vertical levels respectively. WRF (advanced Weather Research and Forecasting) atmospheric model provides atmospheric forcing to both ROMS and MOHID and runs twice a day (00 and 12 UTC) on different resolution domains. Sea level pressure, winds, surface air temperature, surface specific humidity and radiation hourly values are extracted from the domains 12 km and 4km for the regional and local hydrodynamic models respectively.

The rivers in Galicia region play an important role in the coastal processes (Alvarez-Salgado *et al.*, 1996), so it was decided to introduce its effects in the models. Flow measurements at the mouth of the rivers are very difficult to acquire, so the alternative is to use an hydrological tool which would give also flow forecasts for the coming days. SWAT (Soil water Assessment Tool) model, developed by Agricultural Research Service and Texas A&M University, was selected. Daily average flow and temperature of the main rivers, Minho, Verdugo, Lerez, Ullma, Ulla, Tambre, Eume are used for feed both hydrodynamic models. For the Arousa domain, more ten tributaries of interest are also simulated.

The Portuguese river Douro daily flow is introduced in the ROMS domain using measures from SNIRH - Portuguese Information System for Water Resources.

This operational system predicts everyday the water level, velocities, temperature, and salinity fields. Also the models are published on a dedicated threads server and results are available for free in the official MeteoGalicia web page (<http://www.meteo galicia.es/>) and can be used for research or commercial proposes.

3. CALIBRATION AND VALIDATION

The models were calibrated and validated comparing the model results with measures obtained by Puertos del Estado buoys, Ostia SST and, in the framework of the RAI A project, also with measured data coming from oceanographic buoys moored by MeteoGalicia and INTECMAR and CTDs profiles collected weekly by INTECMAR.

Besides a systematic quantitative and qualitative validation it is also performed to check the quality of the results.

4. RESULTS

Results are shown for two particular periods, in which a strong upwelling and high run-off events occurred, corresponding to a rainy month in winter (December 2009) and an upwelling month in summer (August 2010).

These periods have a special interest because of its impact in the ecosystem, the quantity of nutrients available or salinity falls due fresh water plumes affect the biological production, (Haynes *et al.*, 1993; Peliz *et al.* 2002; Álvarez-Salgado *et al.*, 2003). Also allows to evaluate the behaviour of the models under extreme conditions.

A strong episode of upwelling occurred in the Western Iberia Shelf in August 2010. The sea surface temperature (SST) forecasted by ROMS was compared against OSTIA satellite data. The average magnitude of the difference between the forecast and observations (BIAS), the root mean square error (RMSE, the quadratic scoring rule which measures the average magnitude of the error), were calculated showing good results. The BIAS shows values between -1°C and 1°C, (Fig 1).

The ROMS results seem to overestimates the SST, near the coast.

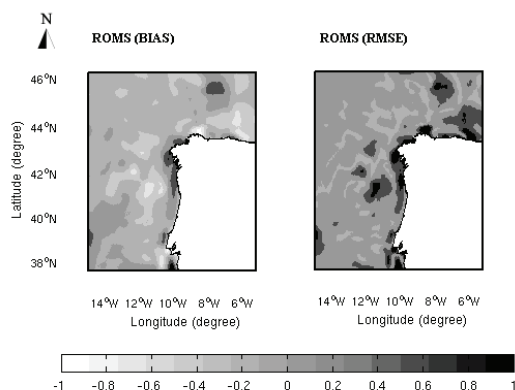
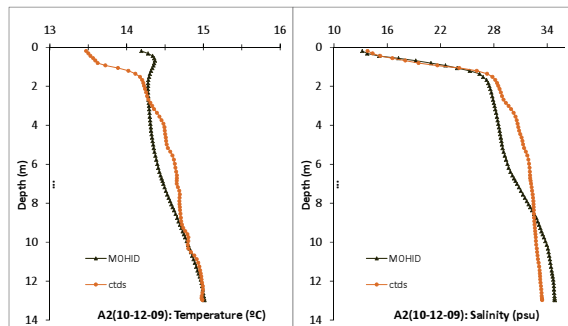
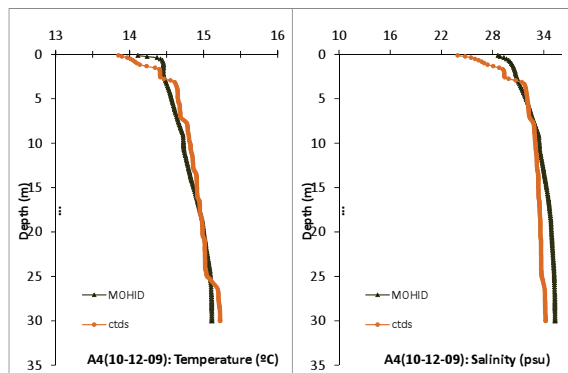


Fig. 1. Horizontal distribution of the statistical parameter BIAS and RMSE for sea surface temperature in August 2010.

For December de 2009, the MOHID results were compared with the measures of ctd profiles available in some points of interest, in which occur an important decrease in salinity (Fig 2).



a)



b)

Fig. 2. Salinity and temperature comparison between MOHID model results and CTD profiles for 2 points in ria Arousa: a) A2 (lon -8.9°, lat 42.61° ; b) A4 (lon -8.91°, lat 42.55°)

Comparisons showed a good agreement, however there are still some issues with model salinity and temperature forecast that sometimes overestimates the value inside the Rias.

5. CONCLUSIONS

An operational oceanographic modelling system it is under continuous development and improvement for the North West of the Iberian Peninsula, and for the principal Rias with a special interest from the economic point of view.

In general, the results of the hydrodynamic models show a good agreement with measured data. However in some particular areas of the domains and extreme events the models still have more difficulties to reproduce the phenomena.

Acknowledgments

The work developed to reach this objective was made in the framework of the RAI A project (<http://www.observatorioraia.org/>). The objective of this project is the development of an ocean observatory composed of a cross-frontier infrastructure of an extensive network of ocean observations and an operational oceanography system. Authors want to thank projects GIS-OCEANO and EASYCO for their support to this research.

REFERENCES

- Alvarez-Salgado, X.A., G. Rosón, F.F. Pérez and Y. Pazos (1996). Nitrogen cyclin in an estuarine upwelling system, the Ria de Arousa (NW Spain). Short-time-scale patterns of hydrodynamic and biogeochemical circulation. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* (Ser 135): 259-273.
- Alvarez-Salgado, X.A., F.G. Figueiras, F.F. Pérez, S. Groom, E. Nogueira, A.V. Borges, L. Chou, G.C. Castro, G. Moncoiffé, A.F. Rios, A.E.J. Miller, M. Frankignoulle, G. Savidge and R. Wollast (2003). The Portugal coast counter current off NW Spain: new insights on its biogeochemical variability. *Progress in Oceanography*, 56: 281-321.
- Costa, P., Gómez, B., Venâncio, A., Pérez, E., Muñuzuri, V., (2012). Using the Regional Ocean Modeling System (ROMS) to improve the sea surface temperature from MERCATOR Ocean System. *Advanced in Spanish Physical Oceanography. Sci. Mar.* 76SI. (manuscript accepted for publication).
- Haynes, R., E.D., Barton and I. Pilling (1993). Development persistence and variability of upwelling filaments off the Atlantic Coast of the Iberian Peninsula. *Journal of Geophysical Research*. 98(12), 22681-22692.
- Peliz, A., T. Rosa, A.M.P. Santos and J. Pissara. - 2002. Jets, eddies, and counterflows in the western Iberian upwelling system. *Journal of Marine Systems*, 35: 61-77.
- Shechetkin, A.F., and J.C. McWilliams (2005). The Regional Ocean Modeling System: A split-explicit, free-surface, topography following coordinates ocean model. *Ocean Modelling*, 9: 347-404.

Implementing local operational models based on an offline downscaling technique: The Tagus estuary case

F. J. Campuzano (1), R. Fernandes (1), P. C. Leitão (2), C. Viegas (1), H. de Pablo (1)
e R. Neves (1)

(1) Maretec – Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa. campuzanofj.maretec@ist.utl.pt
(2) HIDROMOD, Modelação em Engenharia, Lda. Rua Rui Teles Palhinha 4, 1º. 2740-278 Porto Salvo

Abstract: Reliable and consistent boundary conditions have been a permanent difficulty for coastal modellers. Presently, any coastal or estuary model located in the Portuguese continental zone is able to receive open boundary conditions from the hydro-biogeochemical Portuguese Coast Operational Model System (PCOMS), replacing the previously used climatological profiles.

The described technique produce modelling results for a desired area used as open boundary conditions in delayed mode (offline), allowing the local model to run independently, saving running time and improving results. This downscaling technique is applied to several estuaries in the Portuguese coast, including the Tagus estuary.

The Tagus 3D operational model aims to provide answer to different local services, including the assessment of estuarine mouth water quality monitoring, and to provide coastal and estuarine integrated boundary conditions to more refined models, replicating the mentioned technique. The water quality forecast for beaches around the estuary and for the Guia outfall area are applications implemented following this technique.

Keywords: Tagus Estuary, Hydrodynamics, Ecological, Operational Modelling, Mohid, Downscaling

1. INTRODUCTION

In order to achieve satisfactory coastal forecasts, oceanographic processes at the different scales should be included. In the coastal transition zones where open ocean conditions meet continental and estuarine conditions it is necessary to apply an integrated approach. In addition, operational modelling requires that model forecasts are available with adequate time for being analysed and taken into account by coastal managers and decision makers.

In order to ensure the integration of the oceanographic processes at the different scales and obtaining forecasts at a reasonable time, it has been designed a window downscaling technique. In this paper, the technique and its application to the Tagus estuary is discussed.

2. STUDY AREA

The Tagus River is the longest river of Iberian Peninsula, around 1000 km long, and its estuary, covering an area of 320 km², is the largest in Portugal and one of the largest in Europe. More than 2.5 million people live at both estuarine margins composing the Lisbon metropolitan area, which includes Lisbon, the Portuguese capital, summing around 25% of the country population.

Morphologically, Tagus estuary can be divided in three main areas, from the coast, a straight and narrow W-E oriented seawater inlet channel about 6 km long, 2 km wide and reaching maximum depths

around 45 m; a shallow inner bay 25 km long, 15 km wide with a SW-NE orientation ; and the northern part of the estuary composed mainly of mudflats, salt marshes and shallow channels that cover a third part of the total area and where the main rivers discharge.

The main source of fresh water into the estuary is the Tagus River, with flow rates varying typically between 50 and 2000 m³s⁻¹, showing a strong seasonality though is also controlled by dam releases. Sorraia and Trancão, the other two estuarine tributaries, present a mean discharge of 39 m³s⁻¹ and 6 m³s⁻¹, respectively.

The studied estuary is a semi-diurnal mesotidal estuary, varying from 1 m neap tides to almost 4 m spring tides. The tidal excursion is almost 80 km landward of Lisbon, with a mean residence time of about 25 days (Braunschweig *et al.*, 2003). The combined effects of low average depth, strong tidal currents, and low input of river water make the Tagus a globally well-mixed estuary, with stratification being rare and occurring only in specific situations such as neap tides or after heavy rains.

3. THE TAGUS MOUTH OPERATIONAL MODEL

The Tagus Mouth operational model runs the Mohid numerical model (<http://www.mohid.com/>) in full 3D baroclinic mode with a variable horizontal

resolution ranging from 2 km to 300 m around the estuary mouth. The vertical discretisation consists in 50 vertical levels with a resolution close to 1 m near the surface.

Currently, in order to improve the model results of the Tagus Mouth model, its open ocean boundary receives hydrodynamic and ecological forcing from the 3D model PCOMS (Portuguese Coast Operational Model System) (Figure 1).

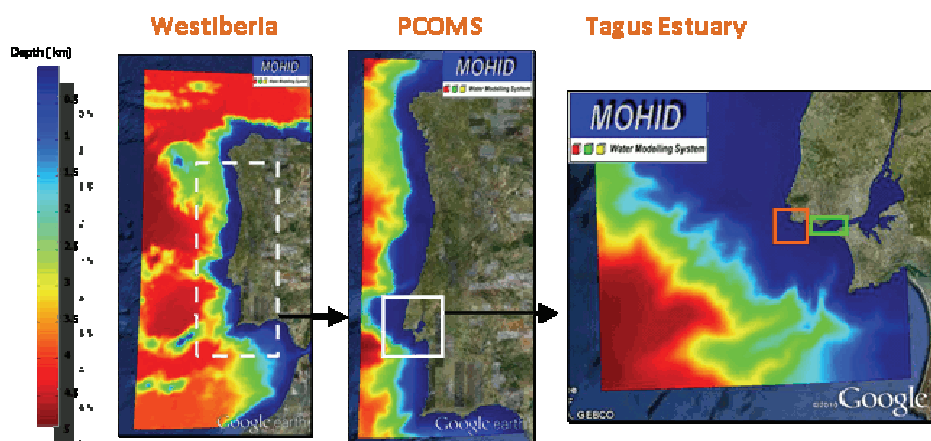


Fig. 1. Downscaling scheme set for the Tagus mouth where a first domain (Left) provide tidal conditions to the PCOMS model (centre) that supply hydrodynamical and bio-geochemical boundary conditions to the Tagus Mouth model (Right). This model provides also boundary conditions to even more refined local models i.e. the Estoril coast (green box) and the Guia outfall (orange box).

In the atmospheric interface, the model is forced by atmospheric results obtained from a 3 km resolution WRF model application performed by the IST Meteorological team (Trancoso, 2012).

In the estuarine area, the model receives hourly river flow measurements of the Tagus River from the hydrometric station of Almourol, located upstream of the tidal signal and part of the National Hydrological Monitoring System. Water properties for the Tagus River discharge come from climatological analysis. For Sorraia and Trancão rivers, flow and water properties are both obtained from climatological data. Other 15 discharges related with urban waste water treatment plants are included in the model.

4. OPERATIONAL RUNNING TOOL

In order to manage the operational procedures, the Maretec team at the Instituto Superior Técnico developed a software for automatization of models simulations that pre-process the input files needed by the model, execute the Mohid model using the configured files and finally store, graph and distribute the model results via opendap, smartphone and publishing on WebPages (Figure 2).

At the pre-processing phase, ART (Automatic Running Tool) software adapts the different data

sources to the model domain i.e. results from atmospheric models (i.e. MM5, WRF), global circulation model results (i.e. Mercator-Ocean), meteorological or flow monitoring stations, etc.

ART software tool allows running models in a cascade scheme, where downstream models are waiting a signal indicating that the immediate upstream model have finished running, and triggers the following model simulation. Thus reducing the computational time,

as the different models can run in separate machines.

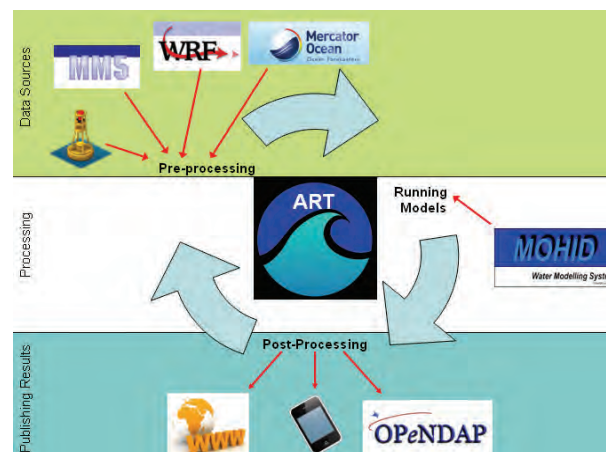


Fig. 2. General scheme of the Automatic Running Tool (ART).

5. DOWNSCALLING TECHNIQUE

Typical downscaling techniques, consists on running simultaneously nested models being the running time defined by the most downstream model, usually the one with smaller time step and thus the slower model. In order to surpass this difficulty, a delayed mode (offline) technique has been designed to provide boundary conditions to the local models at the open ocean boundaries. The Window Downscaling Technique consists in saving

a window of model results from the PCOMS model (Mateus *et al.*, 2012; Pinto *et al.*, in this volume) with a high temporal resolution able to represent the main processes coming from the open ocean (i.e. the tide signal). The spatial domain of the results window must be larger than the local domain receiving the boundary conditions. Afterwards, in delayed mode the local model would be implemented as a nested model of the results window. The described technique allows the local model to run independently, saving running time and reducing redundancy, while improving results. This technique also does not increase the running time of the upstream models and allow running several downstream models at the same time. The window downscaling technique is implemented in several estuaries in the Portuguese coast, including the Tagus estuary, which is also able to provide boundary conditions to even more refined local models (Figure 3).

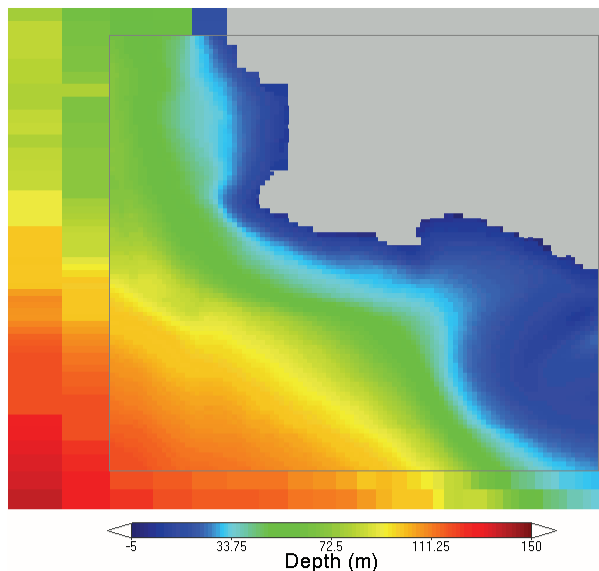


Fig. 3. Bathymetry of the window from the Tagus Operational Model that provides boundary conditions to the Operational Guia Model with 200 m resolution (area inside the grey square).

6. ACTIVITIES THAT BENEFIT FROM THE TAGUS MOUTH OPERATIONAL MODEL

The Tagus Mouth Operational model aims to give answer to different services at local level, including the Estoril coast water quality monitoring and to provide integrated conditions to more refined models i.e. monitoring and forecast for the Guia outfall model (Figure 3) and for the bathing water quality in the influence area of Estoril Coast. Actually, this model is able to provide boundary conditions to any model included in this domain using the window downscaling technique.

3.1. Beach faecal pollution

Most of the beaches at the Estoril coast are crossed by temporary freshwater streams in their way to the estuary. These waterlines are able to modify the bathing water quality as they transport waters from mixed, urban and rural, origins. In order to evaluate the contribution of these streams on bathing water quality after rainfall events, a monitoring program funded by the water company SANEST SA was established. On a daily basis, the Tagus 3D model results are used as boundary conditions to simulate local hydrodynamics at very high resolution (30 m). Streams discharges are simulated following a lagrangian approach to forecast bathing waters quality. As a final product, in the scope of LENVIS project (LENVIS: Localised Environmental & Health Information Services lenvis.eu), an alert and forecast system for bathing water quality was implemented and operational since 2011 (Figure 4).

Beach Contamination Risk Levels Day Forecasted: 17/03/2012			
Time Period	Carcavelos	Torre	Santo Amaro
00:00 - 03:00	Bad Quality	Sufficient Quality	Excellent Quality
03:00 - 06:00	Sufficient Quality	Excellent Quality	Excellent Quality
06:00 - 09:00	Sufficient Quality	Excellent Quality	Excellent Quality
09:00 - 12:00	Sufficient Quality	Excellent Quality	Excellent Quality
12:00 - 15:00	Excellent Quality	Excellent Quality	Excellent Quality
15:00 - 18:00	Excellent Quality	Excellent Quality	Excellent Quality
18:00 - 21:00	Excellent Quality	Excellent Quality	Excellent Quality
21:00 - 00:00	Sufficient Quality	Excellent Quality	Excellent Quality

Legend	Bad Quality	Sufficient Quality	Excellent Quality
Contamination probability	>5%	11%-5%	<1%

Fig. 4. Forecast of beach contamination risk levels for Carcavelos, Torre and Santo Amaro bathing waters.

3.2. Monitoring of Guia submarine outfall

The Mohid model has been used in this project to assist the management of a coastal area under the influence of a submarine outfall. Since the beginning of this project in 1997, funded by the water company SANEST SA, a combined monitoring and modelling approach has been used in an ongoing effort to study the transport and dispersion of the submarine outfall plume. The Tagus Mouth model provides boundary conditions to the operational Guia model, a refined local model in the area where the Guia outfall is located (Figure 3). This model consists in a regular grid with 200 m resolution and a lagrangian input of the submarine outfall, providing both real-time estimates and 3-day forecast for the hydrodynamic and water quality in the study area.

As an outcome, the combination of open ocean boundary conditions from the PCOMS model, the estuarine plume conditions from the Tagus Mouth and the local outfall conditions result in the

improvement of the model results and predictions (Figure 5).

7. CONCLUSIONS

The integration of processes occurring at different scales in coastal numerical modelling improves the local models results and predictions. The application of the window downscaling technique, supported by the trigger feature, allows a significant reduction of computational time needed to run simultaneous models and produce forecasts in a reasonable time from oceanic scale models to local scale models. As a consequence, model results are delivered earlier to the different local model end-users.

A point to be highlighted is the versatility of the methodologies and tools used by this technique, that could be applied to any estuary or coastal area as there is no limitation of windows created by a model.



Fig. 5. Location of the monitoring stations (blue marks) around the outfall diffuser (yellow lines) and phosphate values obtained through downscaling models to the Guia 200m model (green line) compared with the Tagus Mouth model (blue line) and observed values (orange dots) at the middle of the water column.

8. FUTURE WORK

In the near future, a webpage including the model results forecast and automatic validations will be made public. The Tagus Mouth model will eventually provide conditions for the Envitejo

project. This project, set up by the Tagus hydrographical region administration (ARH-Tejo), and the water treatment companies SIMTEJO and SIMARSUL, aims to implement water monitoring and modelling tools to provide observed data and forecasts.

The results from the Tagus Mouth model are planned to be incorporated into the PCOMS model to improve the quality of the Portuguese coast hydrodynamics and water quality forecast, in a sort of two-way nesting being designed at this moment.

Acknowledgements

This work is partially supported by EASYCO Project, financed by the Atlantic Area Transnational Programme of the European Commission (EC), priority 2, through the European Regional Development Fund (ERDF), contract nr. 2008-1/002. The work referring to the Beach faecal pollution has been partially funded by the Lenvis project (FP7-ICT-2007/2/ 223925) financed by FP7 CE. The authors would also like to thank the continuous support to the water company SANEST SA for the continuous support and funding of the Tagus estuary modelling.

REFERENCES

- Braunschweig, F., Martins, F., Leitão, P., and Neves, R. (2003). A methodology to estimate renewal time scales in estuaries: the Tagus Estuary case. *Ocean Dynamics*, 53, 137–145.
- Mateus M., Riflet, G., Chambel, P., Fernandes, L., Fernandes, R., Juliano, M., Campuzano, F., de Pablo, H., and Neves, R. (2012). An operational model for the West Iberian coast: products and services. *Ocean Science Discussion*, 9, 1651–1689.
- Pinto L., Campuzano F.J., Fernandes R., Fernandes L. and Neves R. (2012). An operational model for the Portuguese coast. *Book of abstracts of the 21H Jornadas (This volume)*.
- Trancoso A. R. (2012). *Operational Modelling as a tool in wind power forecasts and meteorological warnings*. PhD Thesis on Environmental Engineering, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, April, 146 p. (<http://meteo.ist.utl.pt/publicacoes/>)

The Nazaré Canyon observatory (W Portugal) – Findings and challenges

J. Vitorino (1) e I. Martins (1)

(1) Instituto Hidrográfico, Portugal joao.vitorino@hidrografico.pt

Abstract: The Nazaré Canyon that cuts the western Portuguese margin is the largest European submarine canyon, having a major impact on the oceanographic and sedimentary conditions of the global area it intersects. Since 2002 this canyon is being continuously monitored by Instituto Hidrográfico (IH). With the support of European funding (EUROSTRATAFORM, HERMES, HERMIONE projects), IH has maintained a permanent array of currentmeter moorings and conducted multidisciplinary surveys on a regular basis, providing observations in the complete area of influence of the canyon.

Recently, this effort was extended with real-time monitoring capacities (MONICAN project), forming the basis of a Nazaré Canyon Observatory, with the implementation of the MONICAN real-time system. Numerical models with data assimilation were also implemented at IH to provide operational forecasts for the Nazaré Canyon area.

Near future perspectives and challenges are now being discussed such as, the installation of permanent HF radar system, the extension of real-time monitoring to the canyon bottom, by interfacing near-bottom equipment with the MONICAN multi parametric buoys through acoustic modems and the using of these platforms as docking stations for deep water AUVs.

Short term developments in numerical modelling includes the assimilation of HF radar data in circulation models and the establishing of an integrated observational strategy leading to operational forecasting of the oceanographic conditions in the area of influence of the canyon.

Keywords: Nazaré Canyon, Real-time observatory, operational forecasting, MONICAN.

1. INTRODUCTION

The Nazaré Canyon is the largest submarine canyon of the European margin. It cuts the complete Western Portuguese margin, from waters depths of 5000m to a few hundreds of meter from shore, interacting with the shelf and slope circulation and leading to major impacts on the oceanographic and sedimentary conditions of that area. Despite its importance, until recently very little was known about the oceanographic processes that dominates this complex environment.

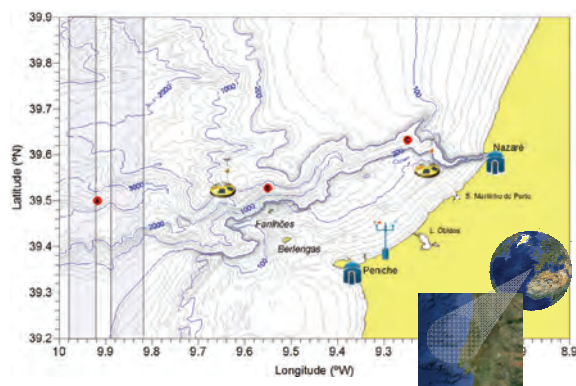


Fig. 1. Multiparametric Buoy, Meteorologic station, Tide gouge station; mooring.

2. TAKING THE PULSE OF THE CANYON

A program of monitoring of this canyon is being conducted since 2002 by Instituto Hidrográfico, with 3 permanent currentmeter moorings along the canyon axis (A, B, C in figure 1) and regular multidisciplinary surveys. The observations were conducted in the framework of European projects EUROSTRATAFORM (FP5), HERMES (FP6) and HERMIONE (FP7, ongoing) and provided some of the first insights on the energetic processes that take place in the Nazaré Canyon and their impacts on the surrounding environment.

They revealed, for example, the occurrence every year, of several high turbidity flushing events, in association with major storms. Large amounts of sediments are injected at the canyon head and flush across the upper canyon section (figure 2), being exported to abyssal depths over 3000m. In the upper part of the water column, to depths of about 300m, the canyon circulation is largely correlated with the (wind-driven) shelf circulation that impinges on the canyon topography. Below, the interaction of the high salinity Mediterranean Water cores (which influence more expressively the layer between 600m and 1300m depth) with the canyon topography seems to drive the deep sub-inertial canyon circulation, leading to rather persistent near bottom residual currents that were observed at mooring C (flowing in the up-canyon direction) and mooring B (in the down-canyon direction), and are depicted in

figure 3. Large bottom intensification of the internal tidal currents occurs inside the canyon and concurs to promote a sustained erosive environment in some areas of the canyon.

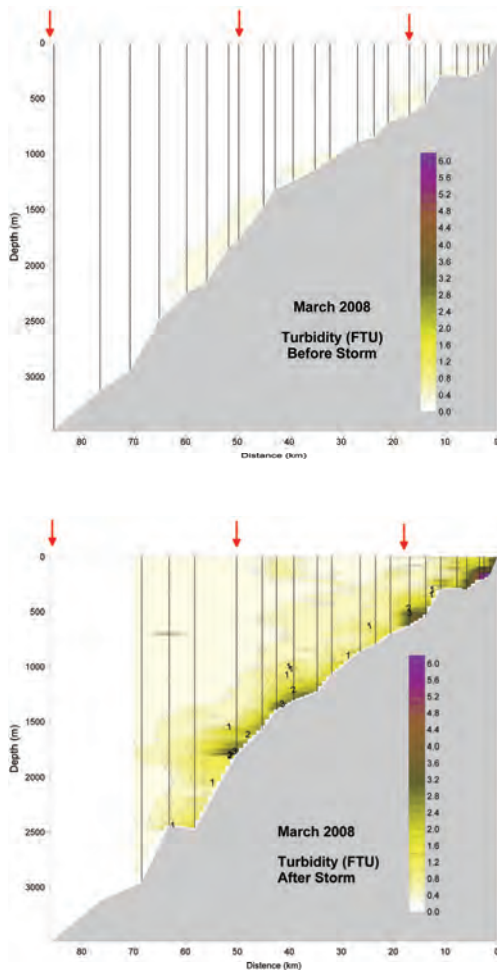


Fig. 2. Flushing event representation on the Nazare Canyon during a storm on March 2008. Red arrows represent, from right to left, moorings A, B and C.

3. REAL-TIME MONITORING OF CANYON CONDITIONS

The importance of Nazare Canyon as an exceptional laboratory for the study of both the nearshore and deep-ocean environment led, in 2008, to the building of real-time monitoring capacities in the framework of project MONICAN (MONitoring of Nazare CANYon). The project was financed through the European EEA Grants program and extended from 2008 to 2011. Its central goal was the implementation of a real-time monitoring system which integrates an array of one coastal meteorological station, two coastal tide gauge stations and two meteo-oceanographic Oceanor WAVESCAN buoys.

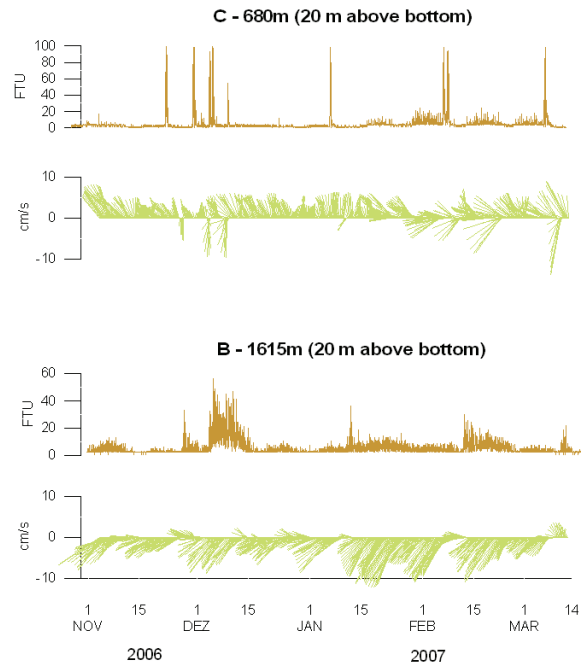


Fig. 3. Time series of turbidity and current speed from Nov 2006 to March 2007, for the two moorings C and B.

One of the buoys (deep buoy) 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 of the canyon, by 80m depth (fig 1). The buoys have several options regarding sensors and equipment. The core sensor is a solid state inertial motion sensor and they are also equipped with a mast that supports standard meteorological sensors and communication antennae. Concerning to the oceanographic parameters, both buoys are equipped with a downward looking acoustic Doppler profiler, installed at 7m depth, which provides current data in the first 100m of the water column. Both ADCPs are configured for self recording and in addition, current speed and direction and velocity error are sent in real time for a total of 7 ADCP bins. The buoys provide also water quality parameters such as chlorophyll-a, turbidity, dissolved oxygen and oil spill warning.



Fig. 4. Deep water MONICAN buoy.

Each MONICAN buoy transmits hourly the measured data to IH, using satellite communications (INMARSAT). The buoys are also equipped with a GPS (Global Positioning System) antenna, and the position data is included in the measurements set transmitted hourly to the onshore receiving station.

4. NUMERICAL MODELS WITH DATA ASSIMILATION

A second major goal of the MONICAN project was the development and implementation of numerical models for the simulation and operational forecasting of the main oceanographic processes that take place in the Nazare Canyon area.

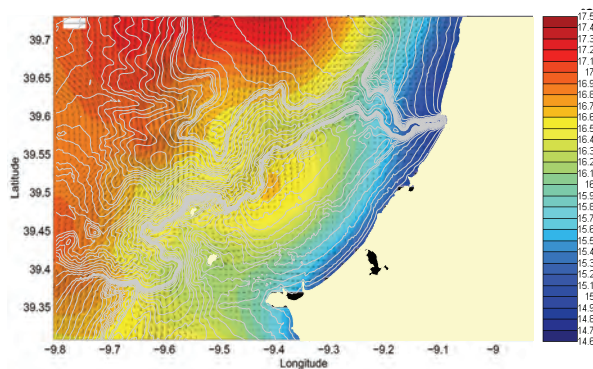


Fig 5. HOPS Temperature and Current – Surface (17 April 2011)
Reference vector = 20 cm/s, frequency=3

Models for the forecast of wave conditions in that area are now run operationally at IH and the results disseminated through IH web page. Other models implemented in the framework of MONICAN aim to simulate the nearshore circulation promoted by waves and currents in the area under the influence of the canyon.

A particularly important set of models that are being implemented are those aiming to simulate and forecast the circulation promoted in the global area of influence of the canyon by the wind forcing and the influence of the oceanic dynamics. One of the models used at IH is the Harvard Ocean Prediction System (HOPS). This model integrates a data assimilation scheme that allows the use observations of the oceanographic conditions in the area to generate forecasts consistent with the real coastal ocean evolution. This is a fundamental tool to improve our understanding of the processes associated with the canyon and also to extend in space and time the information collected from sparse platforms or non-synoptic observations.

In a recent application, the HOPS model was run with wind forcing conditions and assimilation of data collected from 29 March to 16 April 2011, to build dynamically interpolated fields for 17 April 2011. The assimilation used a set of CTD profiles collected during a cruise onboard NRP Almirante Gago Coutinho, complemented with satellite sea surface temperature measurements and time series of temperature measured in the upper 200m depth by the deep MONICAN buoy. The model results were compared with the time series of currents measured in mooring B (1600m depth).

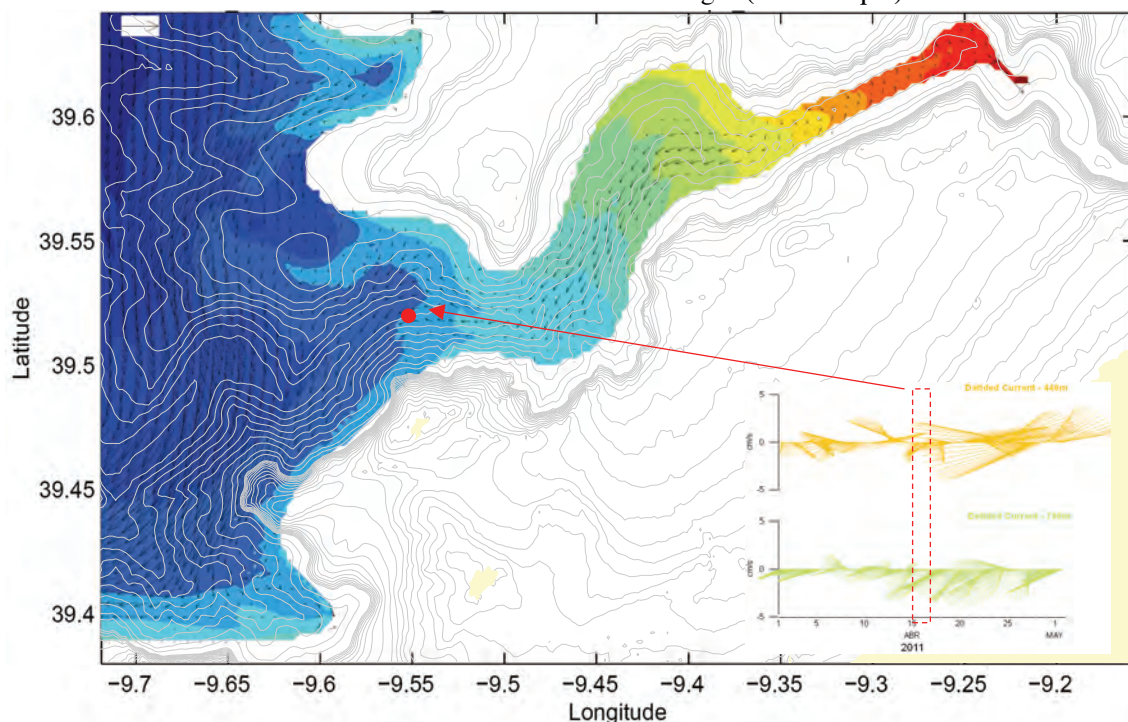


Fig 6. HOPS Temperature and Current – 400m depth (17 April 2011) Reference vector = 10 cm/s, frequency=2. Insert Time series of current speed; at 440m and 700 measured in April 2011

The results provide significant insight on the modifications of shelf circulation by the canyon, on the role of MW circulation in promoting a down canyon deep circulation or on the importance, for the deep slope areas far from the canyon mouth, of the mixing processes that occur inside the canyon

5. FUTURE DEVELOPMENTS

The expected future developments of the real-time monitoring capacities installed in the Nazaré Canyon area include the installation of a permanent HF radar system, which will allow the monitoring of surface currents in a large area offshore Nazaré-Peniche. First tests of this system were conducted in September-December 2011, in the framework of SIMOC project.

It is also envisioned to extend the real-time monitoring capacities to the canyon bottom. This will required the interfacing of near-bottom equipment (currentmeters, bottom ADCPs) with the MONICAN buoys through acoustic modems (Figure 8). Among other aspects, the real time transmission of near bottom measures can greatly improve the understanding of processes such as the high turbidity fluxes observed in this canyon, namely by allowing planning short observations cruises during the periods when the process is active.

Additional capacities for monitoring the deep-sea areas can also be provided by the use of the MONICAN platforms as docking stations for deep water AUVs, a possibility presently under evaluation.

Short term developments in numerical modeling includes the assimilation of HF radar data in circulation models and the establishing of an integrated observational strategy leading to operational forecasting of the oceanographic conditions in the area of influence of the canyon.

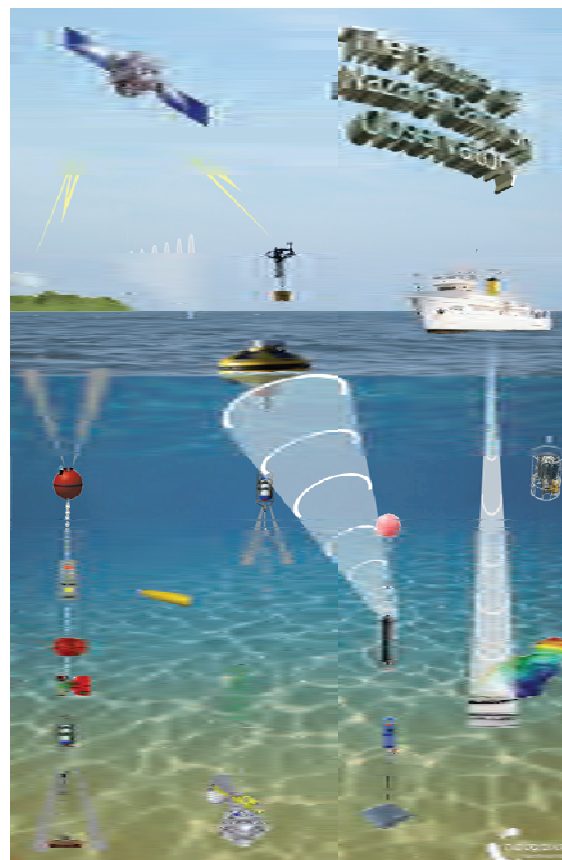


Fig.8. The future of Nazare Canyon Observatory.

Acknowledgments

The authors would like to thank to EEA Grants as financial support to MONICAN project (PT0042 – 2004 - 2009) and to Seventh framework programme ([FP7/2007-2013] [FP7/2007-2011]) as financial support (European Atomic Energy Community’s) of HERMIONE (Hotspot Ecosystem Research and Man’s Impact on European Seas) project (226354).

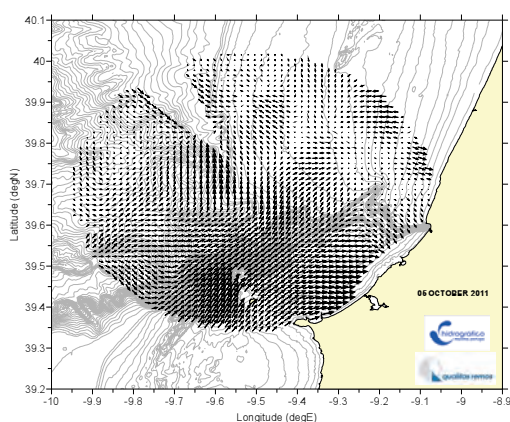


Fig. 7. HF radar surface currents measured in the area offshore Peniche-Nazare during the tests conducted in 2011 (SIMOC project)

Projetos SIMOC e TRADE

Obtenção de dados de corrente de superfície e de agitação marítima remotamente

C. Fernandes (1) e F. Almeida (1)

(1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 49 – 1249-093 Lisboa – Portugal, santos.fernandes@hidrografico.pt

Resumo: O projeto Sistema de Monitorização de Correntes costeiras (SIMOC) que tem como objetivo a aquisição remota de correntes de superfície e de agitação marítima, através de radares HF, decorre entre 2010 e 2012, no âmbito da Divisão de Oceanografia do Instituto Hidrográfico, contemplando três zonas correspondentes a três fases semestrais: Sines, Nazaré e Lisboa. O projeto *Trans-regional RADars for Environmental applications* (TRADE) surge no seguimento do SIMOC e combina o interesse nacional com o espanhol, no sentido de obter uma cobertura Ibérica. Irá desenrolar-se em duas fases: a primeira no Estreito de Gibraltar e Sotavento algarvio / Ilha Cristina; a segunda no Barlavento algarvio. Tem como vantagem ser um sistema de leitura remota, onde todos os equipamentos estão sediados em terra e como desvantagem o uso do espectro electromagnético, com as limitações a ele inerentes.

Palavras chave: Radar HF, Seasonde, CODAR, correntes de superfície, alta-frequência

1. INTRODUÇÃO

Quer o projeto SIMOC, quer o projeto TRADE, têm como objectivo primário a aquisição remota de correntes de superfície e de agitação marítima recorrendo a radares de alta-frequência (HF). O SIMOC decorre já desde 2010 estando o seu término previsto para dezembro de 2012. O TRADE decorrerá ao longo do período de janeiro a dezembro de 2012. Ambos consistem na obtenção de um panorama de superfície de correntes superficiais e de agitação marítima presente numa determinada área, utilizando o espectro electromagnético na banda de HF. Para determinação das correntes é necessário possuir pelo menos duas estações de radar HF. A retrodifusão (reflexão) da radiação pela superfície do mar permite, para cada antena, obter um vector radial de corrente, radialmente em relação à antena, e ao mesmo tempo determinar o estado do mar de acordo com o espectro recebido. Tem como uma das principais vantagens ser um sistema de leitura remota, estando todos os equipamentos sediados em terra e como desvantagem o uso do saturado espectro electromagnético, com as limitações a ele inerentes. Para este desiderato, optou-se pelos radares CODAR Seasonde, maioritariamente por razões operacionais e de configuração.

2. GÉNESE E ENQUADRAMENTO INSTITUCIONAL

Este projeto visa contribuir para a segurança da navegação e para o exercício da autoridade do Estado na monitorização das zonas costeiras e também para o desenvolvimento económico e científico, conforme veremos adiante.

Da missão do IH retira-se que este Instituto tem por missão fundamental assegurar actividades

relacionadas com as ciências e técnicas do mar, tendo em vista a sua aplicação na área militar, e contribuir para o desenvolvimento do País nas áreas científica e de defesa do ambiente marinho. Foi sob estas orientações que surge o projeto SIMOC, virado para a investigação e desenvolvimento mas nunca perdendo o objectivo principal, o desenvolvimento nacional.

Seguindo a mesma linha de pensamento e atuação o IH candidatou-se em 2010, em conjunto com a Universidade de Cádiz (UC) e a instituição espanhola Puertos d'el Estado (PdE), a um novo projeto financiado pelo programa instituído no âmbito do objetivo de cooperação territorial europeia, co-financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), denominado (TRADE). Depois de vários avanços e recuos durante a fase de avaliação, principalmente devido aos problemas financeiros gerais sentidos por toda a Europa, o projeto acabou por ser selecionado para financiamento.

3. A TECNOLOGIA DE BASE

O CODAR é um radar HF cujo funcionamento e aplicação se baseia no facto do comprimento de onda das frequências radar utilizadas ser comparável ao das ondas de gravidade da superfície do mar. Quando o sinal radar atingir uma onda no mar, este é disperso em todas as direcções. Apenas o sinal retrodifundido que regressará à sua origem ao atingir uma onda de gravidade exactamente com metade do comprimento da onda electromagnética transmitida e que se esteja a aproximar, ou afastar, da fonte transmissora ao longo de uma linha radial (*www.codar.com, Abril 2012*), é responsável pela identificação do pico de Bragg. Isto permite-nos concluir que uma frequência radar de 12 MHz

correspondendo a uma onda electromagnética de 25 m de comprimento será retrodifundida por uma onda de gravidade com comprimento de onda de 12.5 m e um período de aproximadamente de 3s. Esta retrodifusão deve-se essencialmente à chamada difusão (ou ressonância) de Bragg ("Bragg Scattering"), que não é mais do que uma retrodifusão que a frequência radar sofre quando incide sobre as ondas da superfície do mar.

3.1. As correntes

Através da retrodifusão produz-se um pico espectral estatisticamente significativo, e cujo desvio em frequência devido ao efeito de doppler será proporcional ao valor da velocidade da corrente perpendicular à radial desta estação. Este cálculo efectuado a partir de duas estações permite determinar as duas componentes do vector velocidade da corrente. Conseguem-se coberturas que variam consoante o tipo de antena e de frequência utilizada. No caso nacional, as antenas estão construídas para operar na zona dos 12 MHz, o que permite alcances da ordem dos 70-90 km, com resolução de cerca de 900 m.

3.2. A agitação marítima

A determinação da agitação marítima é calculada com base nos picos espectrais de segunda ordem, e tem um alcance de cerca de 15 Km em torno de cada uma das estações.

4. SIMOC

Antes do projeto arrancar nos moldes actuais, teve lugar uma experiência piloto, no período de fevereiro a dezembro de 2008, que consistiu na instalação de uma estação no molhe norte do porto de Sines e outra no Farol do Cabo Sardão, ficando a estação de fusão (*combine station*) na Divisão de Oceanografia do IH. O objectivo era o de verificar as mais-valias obtidas por um sistema do género, de modo a obter apoios de instituições com interesse na faixa costeira, e finalmente tomar a decisão de avançar ou não por um projeto de implementação nacional.

O SIMOC, como atualmente se encontra, compreende três fases distintas, caracterizadas pelas zonas de actuação: (1) zona de Sines (Figura 1); (2) zona da Nazaré (Figura 2); (3) zona de Lisboa (Figura 3). Operarão sequencialmente nos três lugares referidos, em períodos de seis meses, a contar de janeiro de 2011.

O projeto visa a caracterização de cada uma das zonas e o desenvolvimento de aplicações de carácter operacional para a Marinha, nomeadamente a melhoria do modelo de deriva superficial do IH que inclui um módulo de derrames de hidrocarbonetos.

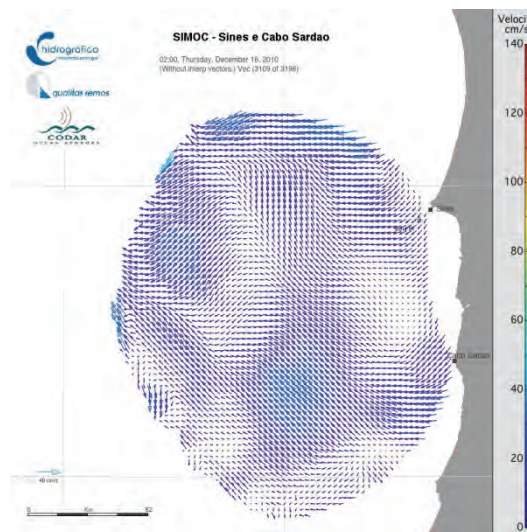


Figura 1 – Mapa de vectores totais – zona Sines

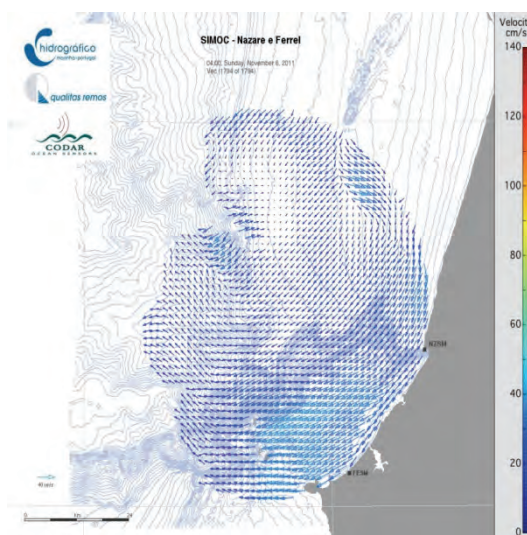


Figura 2 – Mapa de vectores totais – zona Nazaré

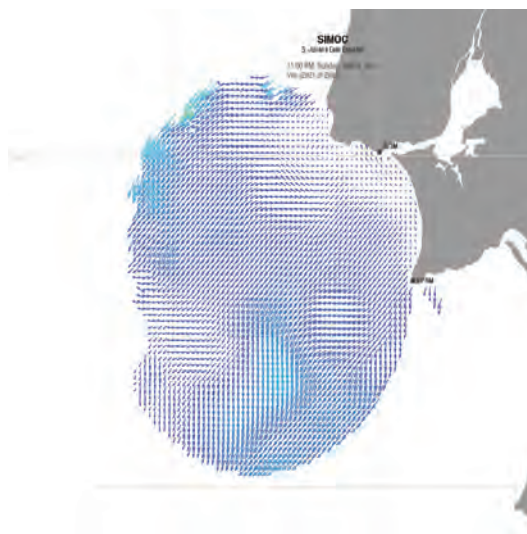


Figura 3 – Mapa de vectores totais – zona Lisboa

A divulgação à comunidade é efetuada através da disponibilização *online* dos dados obtidos. Finalmente o sistema ficará a operar onde for considerado de maior valia para o país e conforme os interesses demonstrados pelas entidades locais.

5. TRADE

Este projeto surge no seguimento do SIMOC e combina o interesse nacional com o espanhol, no sentido de obter uma cobertura ibérica. Este projeto visa especificamente a cobertura do arco Cádiz-Algarve, e do Estreito de Gibraltar. Irá desenrolar-se em duas fases. A primeira, já em fase de aquisição de equipamento no mercado, contemplará as cidades de Punta Tarifa, Punta Carnero e Huelva em Espanha e Vila Real de Santo António em Portugal (Figura 4).

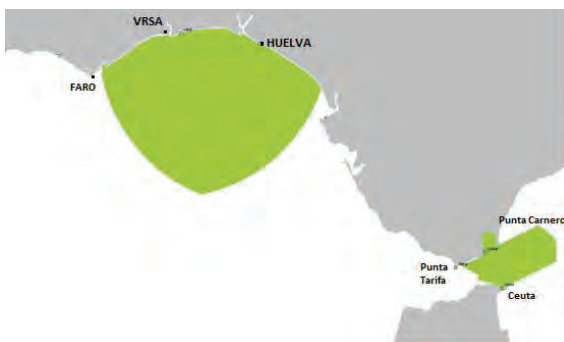


Figura 4 – Cobertura actual – 1ª Fase

A segunda fase permitirá a extensão deste projeto às localidades de Alanzina e Sagres (Figura 5) cobrindo assim toda a faixa costeira algarvia. Para além disso, a estação de Punta Tarifa também verá os seus alcances melhorados ao ser-lhe adicionada uma antena bi-estática (antena recetora que se posiciona longe da emissora com o fim de aproveitar a radiação eletromagnética para além do raio de alcance de uma estação transmissora/recetora simples, transformando uma circunferência de alcances numa elipse de alcances, com os focos em ambas as estações).



Figura 5 – Cobertura final – 2ª Fase

Esta área foi escolhida dado que o corredor marítimo localizado entre o Cabo de São Vicente e o Estreito de Gibraltar é cenário de uma das maiores concentrações do mundo de navios. Muitos destes navios transportam petróleo, produtos tóxicos e químicos. Além disso, na área costeira a que se refere o projeto, existem dois parques nacionais de alto valor ecológico, o parque natural da Ria Formosa e o de Doñana (Espanha). O projeto TRADE aspira a fornecer a infraestrutura tecnológica exigida pela região para evitar riscos e, ao mesmo tempo, melhorar substancialmente a gestão costeira.

6. VALIDAÇÃO

A validação dos dados tem sido efetuada após o término de cada fase do SIMOC, por meio quer de comparação com equipamentos fundeados de leitura de correntes e de agitação, quer com equipamentos derivantes com capacidade de seguimento, como é exemplo a Figura 6, onde se pode ver a confrontação do trajeto calculado pelo sistema com o real (lido pelo *drifter*), a quando de uma experiência na fase piloto do SIMOC em 2008 (Fernandes, 2008).

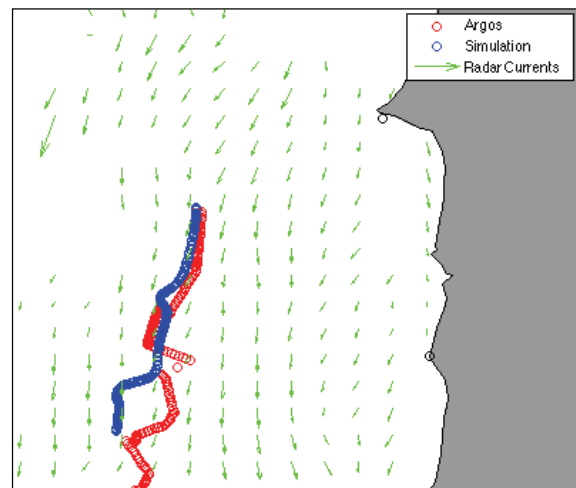


Figura 6 – Trajetória real e trajetória prevista, com recurso a mapas de correntes superficiais

Anteriores trabalhos atestam da fiabilidade do sistema, como sendo os de Paduan *et al.*, 2006, Wright, 2008 e Almeida, 2008, sendo que nos dois primeiros a comparação é feita com *drifters* e o terceiro utilizou o sistema para fazer previsões de correntes a 24 horas comparando-as com as que se vieram a ler nesse período.

7. FUTURO

O objectivo a longo prazo será conseguir a cobertura completa da faixa costeira de Portugal continental e das regiões autónomas. Os produtos em desenvolvimento no âmbito destes dois projectos permitirão um melhor conhecimento do ambiente marinho e uma caracterização das correntes costeiras e agitação marítima, com aplicações em diversas

áreas, nomeadamente atividades piscatórias, de navegação de recreio, prevenção de situações de risco na faixa litoral e fundamentalmente segurança para a navegação em geral. O IH pretende continuar a implementação desta rede de observação, de modo a continuar a contribuir para o conhecimento do nosso litoral. Desta forma, Portugal caminha pioneiramente no sentido de obter uma cobertura nacional de radares HF, indo assim ao encontro dos objetivos dos grandes projetos estruturantes nacionais como o MONIZEE.

REFERÊNCIAS

- Almeida, F. (2008). *The influence of wind, on HF RADAR surface currents forecasts*. Master Thesis, pp. 69, Naval Postgraduate School, Monterey, California.
- Fernandes, C. (2008). The Sines HF Radar Experience: Analysis of the results. *International Conference Littoral 2008*, Venice, Italy, November 2008
- Paduan, J., K. Kim, M. Cook, F. Chavez (2006). Calibration and Validation of Direction-Finding High-Frequency Radar Ocean Surface Current Observations. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 31, 4, 862-875.
- Wright, G. (2008). *Validation of High Frequency Radar used in Ocean Surface Current Mapping via In-situ Drifting Buoys*. Master Thesis, pp. 86, Naval Postgraduate School, Monterey, California.

RAIA.co – Mostrando às pequenas comunidades “Como está o seu Mar”

F. Sansana Silva(1) e A. Jorge da Silva (1)

(1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 49, 1249-093 LISBOA, francisco.silva@hidrografico.pt

Resumo: De forma a corresponder às crescentes solicitações por parte da comunidade, o Instituto Hidrográfico (IH) tem desenvolvido um esforço significativo, no sentido de melhorar o sistema de previsão operacional de agitação marítima e de fornecer produtos específicos, destinados a clientes específicos. O projecto RAIA.co, do qual o IH é parceiro, pretende servir como um veículo de informação meteo-oceanográfica para a região transfronteiriça entre o Norte de Portugal e a Galiza. Dentro deste enquadramento, um dos objectivos do IH é do de fornecer previsões de agitação marítima para algumas áreas de interesse das comunidades locais, associadas a zonas de actividade náutica ou piscatória de escala artesanal.

O desafio desta tarefa é tentar criar produtos que se adequem a clientes com necessidades próprias e que consigam ser disseminados com eficácia, uma vez que uma larga maioria destes utilizadores, baseiam as suas actividades no saber empírico, consultando com pouca frequência os produtos de previsão operacional.

Após uma fase inicial em que foram definidos os produtos iniciais, foi determinado o ponto de partida para um aperfeiçoamento dos produtos finais, em conjugação com os pontos de vista dos utilizadores finais.

Palavras chave: Raia.co, Previsão Operacional, Portugal, Agitação Marítima

1. INTRODUÇÃO

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, quer actividades relacionadas com embarcações de pesca ou de recreio, quer para as actividades económicas e de lazer que se desenvolvem na zona costeira.

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. 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.

Neste sentido, tem sido levado a cabo no IH uma reestruturação do sistema de previsão operacional. Esta reestruturação teve como base a aquisição e implementação de um sistema de computação em paralelo, o que veio aumentar de forma significativa as capacidades computacionais anteriormente disponíveis. Com esta capacidade estabelecida, o trabalho realizado nos últimos meses, pretendia estabelecer uma estrutura computacional mais eficiente, quer em termos de optimização estrutural do sistema de computação, quer em termos de optimização dos modelos matemáticos e das suas configurações. Este novo sistema assenta numa corrida de base global, que através de uma sucessão de várias áreas de crescente resolução, tem como objectivo final

conseguir prever com exactidão a agitação marítima que é observada em escalas espaciais de elevada resolução, nomeadamente em zonas de praia, ou em zonas portuárias.

No decorrer do projecto Raia.co foi estabelecido como um dos objectivos do IH, o desenvolvimento e disseminação de produtos específicos para a zona entre o Norte de Portugal Continental e a Galiza. Estes produtos, baseados no actual sistema de previsão operacional, permitem a distribuição de informação meteo-oceanográfica de alta resolução aos clientes com interesse na área de intervenção do projecto. Um dos desafios apresentados foi a adequação destes produtos aos clientes finais, de forma a valorizar a sua importância para as comunidades locais, dinamizando assim a marca Raia.co.

2. METODOLOGIA

O ponto de partida para este projecto assenta na avaliação das necessidades locais e na identificação de áreas de interesse e grupos de clientes. Esta identificação foi realizada tendo em conta não só a sua importância socioeconómica (proximidade de portos comerciais ou de recreio), mas também a disponibilidade de outras fontes de informação que já disponibilizem produtos similares. Neste processo, foram identificadas quatro áreas de trabalho: a região da Foz do Rio Minho, a região de Viana do Castelo, a região entre o Porto de Leixões e a Foz do Rio Douro e a região entre a Póvoa de Varzim e Vila do Conde. Após a identificação das áreas de interesse foi necessário identificar os diferentes grupos de clientes, com base no tipo de

utilização da informação, forma de disseminação e acesso, e o grau de complexidade exigida. Assim sendo, foram identificados os clientes referentes à navegação de recreio e os clientes pertencentes à frota pesqueira.

As áreas acima referidas foram então introduzidas no sistema de previsão operacional, actualmente implementado no IH, sendo utilizado o modelo SWAN (Simulating WAVes Nearshore) (Booji *et al.*, 1999) como modelo de previsão da agitação marítima. Estas áreas possuem como condição de fronteira as condições de agitação obtidas a partir de uma área de menor resolução, sendo utilizado como forçamento atmosférico os resultados do modelo ALADIN, mantido pelo Instituto de Meteorologia. Estas novas áreas possuem malhas computacionais e batimétricas com resoluções entre os 15 e os 30 metros (Figura 1) e são produzidos resultados com uma resolução temporal de uma hora e uma extensão temporal de setenta e duas horas. Para cada uma das malhas são obtidos os principais parâmetros que caracterizam o regime de agitação marítima: altura significativa, período de pico e a direcção de pico. Além destes parâmetros em formato matricial será também utilizado, numa fase posterior, a informação espectral obtida em alguns pontos de interesse.

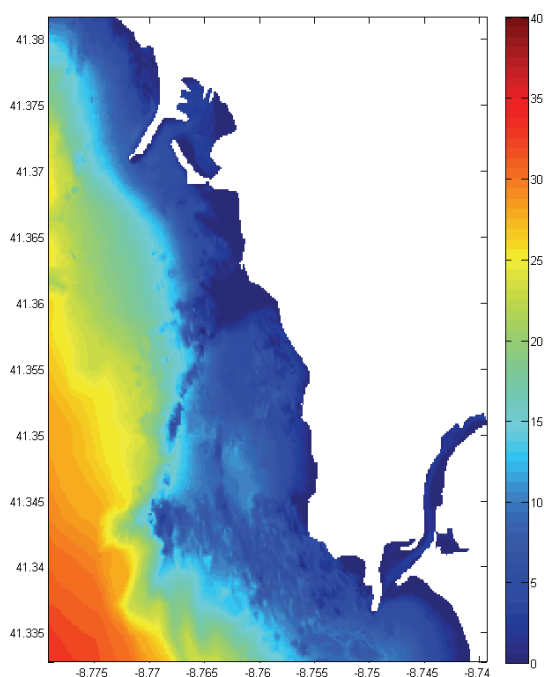


Fig 1. Exemplo das batimetrias utilizadas. Nesta figura está representada a batimetria utilizada para a região entre a Póvoa do Varzim e Vila do Conde, sendo as sondas apresentadas em metros (cores quentes representam maiores profundidades).

3. RESULTADOS

Com base na análise preliminar das áreas de estudo e dos perfis dos utilizadores finais, foram então

definidos, para cada uma das áreas, dois produtos tipo.

Os produtos destinados à náutica de recreio possuem como características base:

- Produtos espacialmente abrangentes
- Maior relevo ao detalhe
- Maior complexidade – Análise espectral
- Disseminação maioritariamente digital

Este grupo de clientes finais é, à partida, consumidor frequente de informação meteorológica, estando por isso mais familiarizado com este tipo de produtos. Interessa-lhes poder prever com alguma antecedência uma saída de mar, podendo assim definir rotas e portos de abrigo alternativos, sabendo antecipadamente as condições previstas para uma área mais abrangente. A disseminação destes produtos assenta essencialmente no acesso por parte dos clientes a um portal Web, onde estará disponível um vasto leque de produtos. Por norma o trabalho de preparação realizado por este tipo de clientes é realizado com alguma metodologia, consultando diversas fontes e analisando diferentes condicionantes. Um exemplo do campo de altura significativa para a região entre a Póvoa do Varzim e Vila do Conde é apresentado na Figura 2.

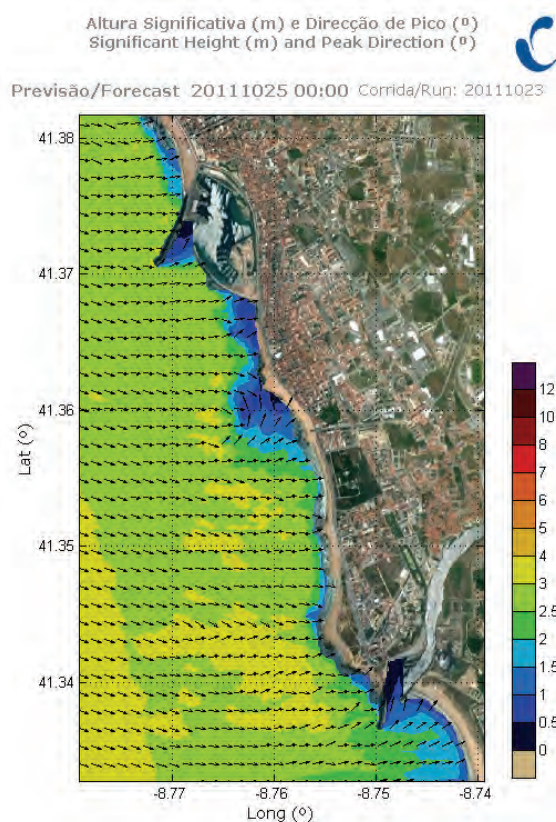


Fig 2. Exemplo dos produtos espaciais. Campo de altura significativa (metros) e direcção de pico para a região entre a Póvoa do Varzim e Vila do Conde.

Por outro lado, os produtos destinados à frota pesqueira são caracterizados por:

- Ênfase à especificidade do local
- Análise pontual e expedita
- Apresentação em formato tabelar
- Realce aos locais onde são realizadas as manobras de maior risco

Os produtos destinados a este grupo de clientes possuem especificidades muito próprias, associadas às práticas dos clientes e às suas necessidades. Por norma o saber empírico de muitos anos de actividade, atribuem a estes utilizadores, um conhecimento bastante extenso das condições de navegabilidade nas suas zonas de acção. Assim sendo, e sabendo à partida que este será um grupo de utilizadores que dificilmente está aberto a mudanças, todos os produtos são otimizados de forma a complementarem a informação que já possuem. A escolha de um formato tabelar, permite uma análise expedita das condições previstas apenas para os pontos mais importantes (Figura 3). Aqui o ênfase está centrado nos pontos que impliquem manobras de maior sensibilidade e para as quais os mestres pesqueiros sabem de antemão as condições limitantes para as realizar, nomeadamente na aproximação aos portos. Este grupo de clientes não é por norma um consumidor frequente de informação meteo-oceanográfica em formato digital e como tal será necessário disseminar a informação em formato físico, recorrendo a pontos de distribuição previamente identificados, tais como as Capitánias ou as Associações de Pescadores.

4. PERSPECTIVAS FUTURAS

Neste momento, após a identificação das áreas de interesse e identificados os clientes finais dos produtos é necessário operacionalizar a produção e disseminação da informação. No entanto este não será um processo finalizado, uma vez que após a análise das primeiras avaliações dos clientes, será necessário reavaliar os produtos definidos e possivelmente reajustar alguns aspectos.

Na posse dos produtos já ajustados às necessidades dos clientes será o momento para ampliar e ajustar o sistema. Nesta fase serão avaliadas outras áreas de interesse auxiliares, bem como a possibilidade de se encontrarem novas classes de clientes ou subdividir alguma das já existentes.

A componente de modelação poderá também nesta fase sofrer algumas alterações, na tentativa de melhorar as capacidades de previsão instituídas. Assim será possível alterar as batimetrias utilizadas, sempre que sejam realizados novos levantamentos e melhorar os forçamentos atmosféricos, recorrendo as outras fontes de dados.

REFERÊNCIAS

- Booij, N., Ris, R. e Holthuijsen, L. (1999) A third generation wave model for coastal regions, 1. Model description and validation. *Journal of Geophysical Research*, 104, 7649–7666.

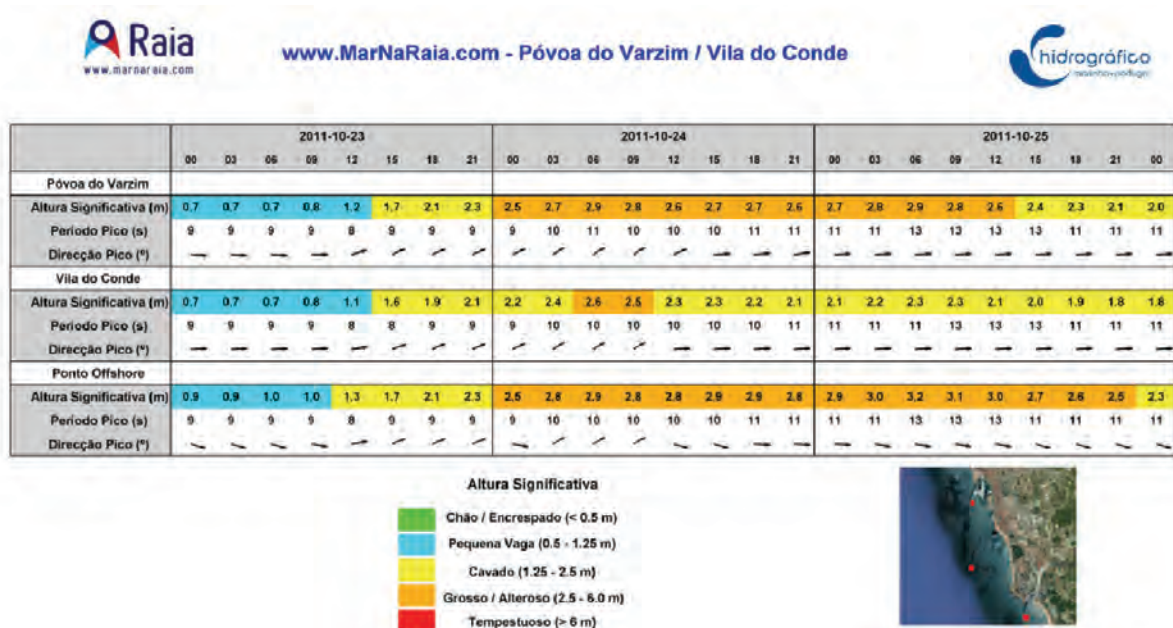


Fig. 3. Exemplo dos produtos tabelares. Tabela com as previsões para três pontos de interesse na região entre a Póvoa do Varzim e Vila do Conde.

Oceanografía Física

Modelling wave-current interactions in 3D with a two way coupling system

M. J. Teles (1), A. Pires-Silva (2) e M. Benoit (3)

- (1) Instituto Superior Técnico, TULisbon, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa. *mjteles@gmail.com*
 (2) Instituto Superior Técnico, TULisbon, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa.
 (3) Saint-Venant Laboratory for Hydraulics (joint research unit between EDF R&D, CETMEF and École des Ponts ParisTech), 6 quai Watier, BP 49, 78401 Chatou, France.

Abstract:

In the past decade a number of theories were developed to get a complete description of the three dimensional effects of wave-current interactions due to its importance on the hydrodynamics of coastal waters.

To analyse this phenomena, a fully coupled system between the three dimensional hydrodynamic model TELEMAC-3D and the spectral wave model TOMAWAC was developed.

The hydrodynamic model TELEMAC 3D was adapted to include the recent formulation proposed by Ardhuin et al. (2008), which is based on the Generalized Lagrangian Mean (GLM) theory. They obtained the so-called glm2z-RANS equations.

In this paper, two types of experiments are shown. Firstly, numerical results using the Longuet-Higgins and Stewart (1962) approach, which is the default formulation on TELEMAC3D, are compared with experimental data from the Large Scale Sediment Transport Facility (LSTF) at Vicksburg, USA. Secondly, and additionally, the 3D coupled system, now with the implementation of the recent formulation of Ardhuin et al. (2008), is validated with an adiabatic shoaling waves test.

Keywords: TELEMAC3D, TOMAWAC, Wave-Current interactions, GLM2Z-RANS

1. INTRODUCTION

The knowledge and understanding of the dynamics of nearshore processes are essential for several applications, namely the design of coastal protections and harbour sheltering structures, the evaluation of sediment transport and coastal erosion, the prediction of the dispersion of pollutants or the assessment of wave power available at a certain spot.

The combined effect of waves and currents in free surface flows has been subject of several studies due to its importance on the hydrodynamics of coastal waters. For this reason and in order to get a complete description of the three dimensional effects of this phenomena, a number of theories were developed.

For many years most of the models were based on the theory proposed by Longuet-Higgins and Stewart (1962), which has introduced the concept of radiation stress. This stress, integrated in depth, is forced in the hydrodynamic model to take into account the effect of waves on currents.

Recently, Ardhuin et al. (2008) developed an approach based on the Generalized Lagrangian Mean (GLM) theory (Andrews and McIntyre, 1978) and they were able to get expressions for the wave forcing terms needed to close the GLM equations. Through a vertical change of coordinate they obtained the so-called glm2z-RANS equations, which are presently used for coupling TELEMAC-3D and TOMAWAC.

The purpose of the work herein reported is twofold. On one hand, it is aimed to test and verify the

coupled system mechanisms. For this, the radiation stress (Longuet-Higgins and Stewart, 1962) is distributed uniformly, along the vertical (2DH) and the numerical simulations were compared with experimental data from the Large Scale Sediment Transport Facility (LSTF) at the US Army Engineer Research and Development Center's Coastal and Hydraulics Laboratory, Vicksburg, USA (Hamilton and Ebersole, 2001). On the other hand, the new formulation of Ardhuin et al. (2008) was implemented in the coupled system and the whole set is subjected to an adiabatic shoaling wave test presented in Bennis et al. (2011).

2. NUMERICAL MODELS

2.1. TOMAWAC

The third generation spectral wave model used in the present work was TOMAWAC v6.p1 (Benoit et al, 1996) which is incorporated in the TELEMAC system, developed at EDF R&D, Chatou, France.

The model uses unstructured grids and solves the conservation of wave action (N) equation in cartesian (x, y) or spherical spatial coordinates (1).

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \dot{x} \frac{\partial N}{\partial x} + \dot{y} \frac{\partial N}{\partial y} + \dot{k}_x \frac{\partial N}{\partial k_x} + \dot{k}_y \frac{\partial N}{\partial k_y} = Q(k_x, k_y, x, y, t) \quad (1)$$

For additional details about the mathematical formulation, please refer to Benoit et al, (1996). The range of applicability of TOMAWAC extends from the ocean scale to shallow waters. A number of source and sink terms (Q) can be taken into account:

wind driven wave generation, wave-wave interaction, energy dissipation by bottom friction, depth-induced breaking and whitecapping. It also accounts for the water depth evolution due to tides and surges.

2.2. TELEMAC 3D

The three dimensional hydrodynamic circulation model used was TELEMAC 3D (Hervouet, 2007). Like TOMAWAC is part of the TELEMAC system and is of open source access. It solves the RANS equations by the finite elements method with the option of computing hydrostatic or non-hydrostatic hypothesis. The advection step is solved with the sigma coordinates. The domain of application of the model ranges from the ocean basin to estuary scales. The model had to be modified to take into account the wave forcing terms in a three dimensional way and consequently the three dimensional effects of waves and current interactions. For that purpose, the recent formulation proposed by Ardhuin et al. (2008) was included in TELEMAC 3D.

$$\frac{\partial \hat{u}}{\partial x} + \frac{\partial \hat{v}}{\partial y} + \frac{\partial \hat{w}}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial \hat{u}}{\partial t} + \hat{u} \frac{\partial \hat{u}}{\partial x} + \hat{v} \frac{\partial \hat{u}}{\partial y} + \hat{w} \frac{\partial \hat{u}}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} - f\hat{v} = \left[f + \left(\frac{\partial \hat{v}}{\partial x} - \frac{\partial \hat{u}}{\partial y} \right) \right] V_s - W_s \frac{\partial J}{\partial z} \quad (3)$$

$$\frac{\partial \hat{v}}{\partial t} + \hat{u} \frac{\partial \hat{v}}{\partial x} + \hat{v} \frac{\partial \hat{v}}{\partial y} + \hat{w} \frac{\partial \hat{v}}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - f\hat{u} = \left[f + \left(\frac{\partial \hat{v}}{\partial x} - \frac{\partial \hat{u}}{\partial y} \right) \right] U_s - W_s \frac{\partial J}{\partial z} \quad (4)$$

Equations (2)-(4) are the continuity and momentum equations but with velocity components that represent the quasi Eulerian velocity (difference between the Lagrangean velocity and the Stokes drift). f represents the Coriolis parameter, p the pressure and ρ the water density.

On the right hand side of equations (3) and (4), the wave forcing terms are represented by means of U_s , V_s and W_s which are the three components of the Stokes drift, and the derivatives of J which is the wave induced pressure.

The depth integrated continuity equation is also modified in order to compensate the source of mass forced by the Stokes drift. The symbol $\bar{(\cdot)}$ denotes the depth integrated variable.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h \bar{v}}{\partial y} = - \frac{\partial h \bar{U}_s}{\partial x} - \frac{\partial h \bar{V}_s}{\partial y} \quad (5)$$

At the free surface, it has to be imposed the flux of momentum released to the ocean due to the bottom induced breaking, whitecapping and interactions with turbulence. At the bottom, the dissipation of waves due to bottom friction has also to be included.

3. ANALYS AND DISCUSSION OF RESULTS

3.1. LSTF experiments

To verify the coupling already done with the standard version of TOMAWAC and TELEMAC3D

v6p1, in which the Longuet-Higgins and Stewart (1962) formulation was used, it was decided to compare the numerical simulations with the measurements of water surface elevations and the three components of the velocity field obtained on a wave basin installed at the Large Scale Sediment Transport Facility (LSTF) at the US Army Engineer Research and Development Center's Coastal and Hydraulics Laboratory. This facility had four wave drivers and a recirculation system that allowed the establishment of longshore uniform currents. The objective is to recreate the wave induced currents due to breaking on a plane beach. The sea state was characterized by a TMA spectrum with $H_{m0} = 0.225$ m and $T_p = 2.5$ s. The waves had a 10° incident angle. The concrete beach had straight and parallel contours with a plane slope of 1:30. The wave drivers were at 0.667 m depth.

The computational domain had dimensions of 30 m x100 m and the mesh was equally spaced with $\Delta x=0.5$ m and $\Delta y=1$ m. The time step was 0.4 s.

TELEMAC3D was configured with 10 horizontal levels along the depth, a Nikuradse roughness of 0.1 mm and vertical and horizontal eddy diffusivity coefficients of $0.0028 \text{ m}^2/\text{s}^{-1}$ and $10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}^{-1}$ respectively. TOMAWAC was forced with a JONSWAP spectrum with an enhancement factor of 3.3 and the same H_{m0} and T_p referred above. The formulation of Battjes and Janssen (1978) was chosen for the representation of induced wave breaking and the standard JONSWAP approach for the bottom friction dissipation (Hasselmann et al., 1973).

Figure 1 presents the cross-shore distribution of the longshore velocity at one third of the depth from the bottom. The coupled system was able to reproduce the main features of this longshore velocity. Close to the beach an underestimation is observed.

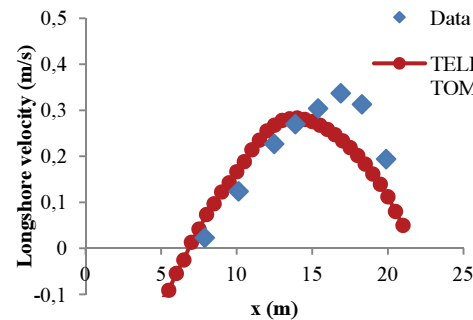


Figure 1 – Longshore velocity comparison between LSTF measurements and the coupled system TELEMAC3D/TOMAWAC using the Longuet-Higgins and Stewart (1962) formulation.

The cross-shore evolution of the significant wave height is depicted in Figure 2. A close agreement is registered and the breaker line can be located at $x=10.0$ m.

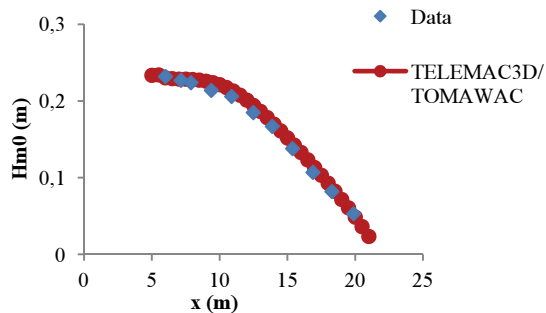


Figure 2 – Significant wave height comparison between LSTF measurements and the coupled system TELEMAC3D/TOMAWAC using the Longuet-Higgins and Stewart (1962) formulation.

Figure 3 shows the mean sea level across a transept normal to the beach. The model simulated the wave set-up quite well, but a slight underestimate of the wave set-down can be identified.

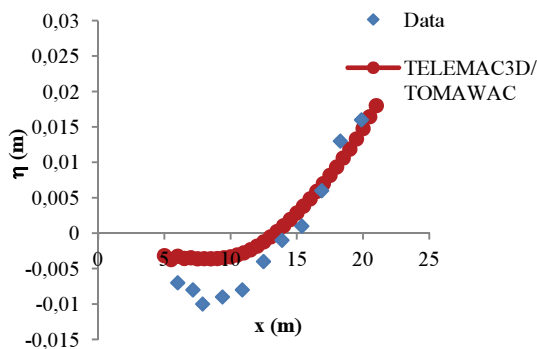


Figure 3 – Mean surface level comparison between LSTF measurements and the coupled system TELEMAC3D/TOMAWAC using the Longuet-Higgins and Stewart (1962) formulation.

It should be noted that this coupling allows to model the wave induced hydrodynamics through the Longuet-Higgins (1962) formulation, based on the radiation stresses concept. Nevertheless, the calculated radiation stresses are depth integrated stresses, and thus the 3D effects of the wave current interaction cannot be properly represented.

3.2. ADIABATIC test

The adiabatic test is related with the second purpose of this work and an enhanced formulation for the 3D aspects of wave-current interaction.

This test corresponds to wave propagation over a submerged breakwater where waves shoal on a slope from 6 m to 4 m depth. The source/ sink terms and viscous effects were not taken into account. The bathymetry had parallel contours and waves were uniform in y direction.

The domain had dimensions of 800 m x 250 m and it was chosen a mesh discretization of $\Delta x = 5$ m and $\Delta y = 25$ m. The time step was 0.1 s.

TELEMAC3D used 10 horizontal planes throughout the vertical and no viscous or dissipation effects were taken into account. TOMAWAC was forced with a JONSWAP spectrum with $H_{m0} = 1.02$ m and $T_p = 5.26$ s, also without any source or sink terms.

One first simple test to check if the coupling was working correctly was to compare the simulation of the mean surface level with the solution given by Longuet Higgins (1967). The later has stated that the mean surface level should be lower in the shallower region. A good approximation to the solution is obtained with the new TELEMAC3D/TOMAWAC coupling (Figure 4).

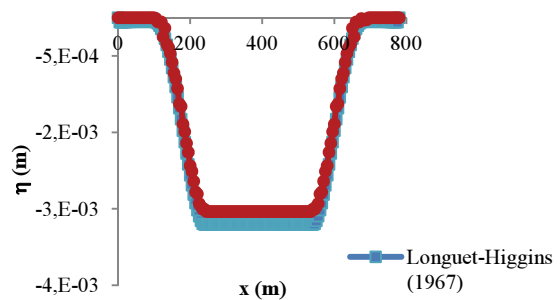


Figure 4 – Mean surface elevation. Comparison between Longuet-Higgins(1967) solution and TELEMAC3D/TOMAWAC coupling.

In the shallower water there is a shoaling phenomenon of the incident waves and so the mass transport induced by waves, and associated with the Stokes drift, increases. It can be seen the enhancement of this variable in the shallower part of the domain in Figure 5, which exhibits the Stokes velocity in x-direction.

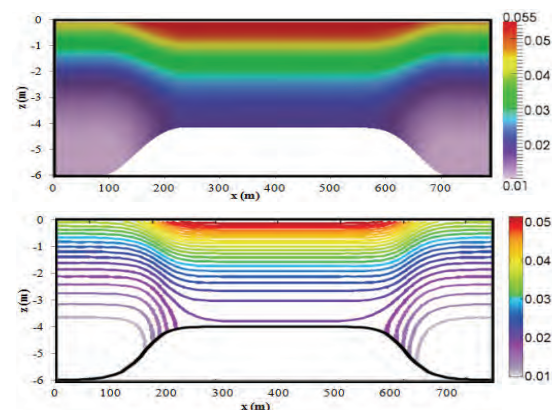


Figure 5 - Comparison of the Stokes velocity in x-direction, (U_s (m/s), between present work (above) and Bennis et al. (2011)(below).

Implemented coupled system reproduces quite well the evolution of Stokes drift along the domain, also calculated by Bennis et al. (2011).

In this experiment, where no dissipation terms or viscous effects are taken into account, the flow is irrotational and the velocity \hat{u} is nearly uniform over

depth. The same behaviour was obtained numerically, as it can be seen from Figure 6.

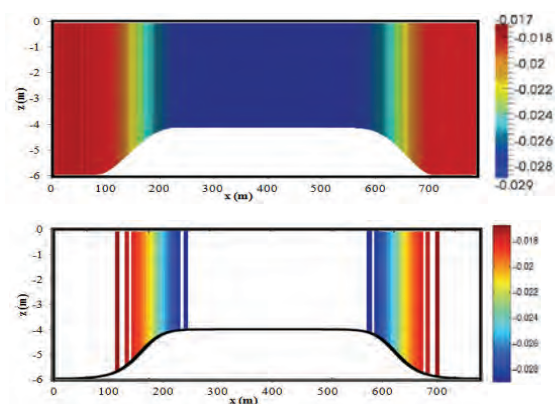


Figure 6 - Comparison of the quasi-eulerian velocity in x -direction, (\hat{u} (m/s), between present work (above) and Bennis et al. (2011)(below).

The results obtained with the coupling of TELEMAC3D and TOMAWAC are close to the ones obtained by Bennis et al. (2011). The new formulation proposed by Arduin et al. (2008) is based on the vortex force formalism, instead on the radiation stress concept, as it is the case of other existing theories. The vortex force representation has the advantage of separating the quasi static and dynamic response components. In the radiation stress formalism this is not evident and it does not include the Langmuir circulations (Lane et al., 2007).

4. CONCLUSIONS

A fully coupled system between the three dimensional hydrodynamic model TELEMAC-3D and the spectral wave model TOMAWAC was developed. The hydrodynamic model TELEMAC 3D was adapted to include the recent formulation proposed by Arduin et al. (2008), which is based on the Generalized Lagrangian Mean (GLM) theory with a vortex force formalism.

With the purpose to verify the standard version of the coupling system TELEMAC3D/TOMAWAC, numerical simulations obtained using the Longuet-Higgins and Stewart (1962) approach were compared with experimental data from the Large Scale Sediment Transport Facility (LSTF). Quite good results were obtained. Nevertheless, the later approach does not take into account the three dimensional effects of wave - current interactions. To achieve this goal, the recent formulation of Arduin et al. (2008) was implemented and the 3D coupled system was validated with an adiabatic shoaling waves test.

Presently, an ongoing work is being developed in order to verify the 3D fully coupled system with the

LSTF experiments, taking into account dissipation terms and viscous effects.

REFERENCES

- Andrews D.G., McIntyre M.E (1978). An exact theory of nonlinear waves on a Lagrangian mean flow. *J. Fluid Mech.*, Vol. 89, 609-646.
- Ardhuin F., Rascle N., Belibassakis K.A. (2008). Explicit wave-averaged primitive equations using a generalized Lagrangian mean. *Ocean Modelling*, Vol. 20(1), 35-60.
- Battjes J.A., Janssen J.P.F.M. (1978). Energy loss and set-up due to breaking of random waves. *Proc. 16th Int. Conf. on Coastal Eng.*, 569-587.
- Bennis A.-C., Arduin F., Dumas F. (2011). On the coupling of wave and three-dimensional circulation models: Choice of theoretical framework, practical implementation and adiabatic tests. *Ocean Modelling*, Vol. 40(3-4), 260-272.
- Benoit M., Marcos F., Becq F. (1996). Development of a third generation shallow water wave model with unstructured spatial meshing. *Proc. 25th Int. Conf. on Coastal Eng. (ICCE'1996)*, 2-6 September, Orlando (Florida, USA), 465-478.
- Hamilton D.G., Ebersole B.A. (2001). Establishing uniform longshore currents in a large-scale sediment transport facility. *Coast. Eng.*, Vol. 42, 199-218.
- Hasselmann K., Barnett T.P., Bouws E., Carlson H., Cartwright D.E., Enke K., Ewing J.A., Gienapp H., Hasselmann D.E., Kruseman P., Meerburg A., Muller P., Olbers D.j., Richter K., Sell W., Walden H. (1973). Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP). *Deutschen Hydrographischen Zeitschrift, Reihe A (8°)*, N°12.
- Hervouet J.-M. (2007). *Hydrodynamics of free surface flows, modelling with the finite element method*. Editions Wiley & Sons. ISBN 978-0-470-03558, 342 pp.
- Lane, E. M., Restrepo, J. M., McWilliams, J. C. (2007). Wave-current interaction: A comparison of radiation-stress and vortex-force representations. *J. Phys. Oceanogr.* 37, 1122-1141.
- Longuet-Higgins, M. S., Stewart, R. W. (1962). Radiation stress and mass transport in gravity waves with application to "surf beats". *J. Fluid Mech.*, 13, 481-504.
- Longuet-Higgins, M. S. (1967). On the wave-induced difference in mean sea level between the two sides of a submerged breakwater. *J. Mar. Res.* 25, 148-153.

Determinação do caudal galgado numa estrutura porosa utilizando um modelo *Smoothed Particle Hydrodynamics*

E. Didier (1, 2), M. G. Neves (1) e M.T. Reis (1)

(1) NPE/DHA, LNEC, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, edidier@lneec.pt, gneves@lneec.pt, treis@lneec.pt

(2) MARETEC, IST, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa

Resumo: A interacção entre uma onda, em condição de tempestade, e um quebra-mar de taludes, Zeebrugge na Bélgica, é estudada usando um modelo numérico SPH – *Smoothed Particle Hydrodynamics*. O quebra-mar foi monitorizado, o que permitiu medir a elevação de superfície livre e o galgamento da estrutura. O caso apresentado no presente trabalho corresponde à tempestade de 8 de Novembro de 2001. Verifica-se que os resultados obtidos pelo modelo numérico SPH e as medições no protótipo são da mesma ordem de grandeza.

Palavras chave: Engenharia Costeira, *Smoothed Particle Hydrodynamics*, quebra-mar de Zeebrugge, galgamento

1. INTRODUÇÃO

As obras marítimas intervêm na protecção da linha de costa, zonas portuárias e estruturas existentes nas suas imediações. O estudo da resposta hidrodinâmica destas estruturas de protecção costeira é, por isso, importante para assegurar a sua funcionalidade. O estudo da resposta hidrodinâmica das estruturas, quando sofrem a interacção da onda, é uma tarefa complexa devido à não linearidade dos fenómenos envolvidos, tais como a rebentação de ondas e o galgamento. No estudo destes fenómenos é usual o recurso a formulações semi-empíricas e a modelos físicos. Com o desenvolvimento dos métodos de cálculo numérico e do poder de cálculo dos computadores, tem-se recorrido a modelos numéricos, mais ou menos sofisticados, que permitem modelar escoamentos com superfície livre com apreciável precisão.

O modelo numérico SPH desenvolvido e utilizado no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) é baseado numa formulação puramente Lagrangeana e permite modelar escoamentos com grande deformação da superfície livre (rebentação e galgamento). É um método sem malha, onde o fluido é representado por volumes elementares de água sendo considerados, conceptualmente, como partículas fluidas. As equações de Navier-Stokes são resolvidas para cada partícula fluida e as trajectórias das partículas são calculadas ao longo do tempo.

No presente trabalho, apresenta-se o modelo numérico SPH desenvolvido no LNEC e a aplicação deste modelo à determinação do volume galgado no quebra-mar de taludes de Zeebrugge, na Bélgica, que foi objecto de numerosos estudos no âmbito do projecto CLASH (<http://www.clash.ugent.be/>). Os resultados do modelo numérico são comparados com as medições obtidas no protótipo para a tempestade de 8 de Novembro de 2001, no que diz respeito aos maiores volumes galgados registados durante este evento.

2. MODELO SPH

2.1. Princípio fundamental

O princípio fundamental dos métodos SPH consiste em aproximar um escalar, uma função ou um tensor usando a teoria dos integrais de interpolação que não necessita de malha. O integral de interpolação de uma função $f(r)$ é dado por:

$$f(r) = \int f(r')W(r-r',h)dr' \quad (1)$$

onde W é uma função analítica, o *kernel*, e h a dimensão do suporte desta função, denominado de *smoothing length*, que controla a dimensão do domínio de influência do *kernel*. Numericamente, a função $f(r)$ é conhecida apenas em pontos discretos, as partículas, e os integrais de interpolação são aproximados por um somatório. A aproximação da função f na partícula a à posição r_a é dada por:

$$f(r_a) \approx \sum_b m_b \frac{f_b}{\rho_b} W_{ab} \quad (2)$$

onde f_b é o valor da função f na partícula b em r_b , $W_{ab}=W(r_a-r_b, h)$ é o valor da função de interpolação, m_b a massa e ρ_b a massa volúmica da partícula b .

As derivadas da função f são calculadas analiticamente, derivando o *kernel*, o que constitui uma das vantagens do método SPH: o *kernel* de interpolação pode ser diferenciado sem necessitar de uma malha espacial. Numericamente, o *kernel* é uma função com um suporte compacto dentro duma região circular em 2D determinada por um raio de $2h$. O parâmetro h tem uma dimensão superior à separação inicial das partículas, do , e toma classicamente o valor $2^{1/2}do$. A função de interpolação é normalmente máxima no seu centro, dando assim uma contribuição predominante à partícula a .

Nas simulações numéricas realizadas no presente estudo é utilizado o *kernel quadratic*, por ter a particularidade de não ter ponto de inflexão nas suas primeira e segunda derivadas no intervalo de definição da função. Este *kernel* é definido por:

$$W(q, h) = \frac{3}{2\pi h^2} \left(\frac{q^2}{4} - q - 1 \right), \text{ para } 0 \leq q \leq 2 \quad (3)$$

onde $q = (r_a - r_b) / h$.

2.2. Modelo numérico SPH

O método SPH, que não necessita de malha, permite modelar as trajetórias das partículas do fluido que interagem entre si segundo as equações de Navier-Stokes escritas no formalismo SPH, ou seja, escritas com base na teoria dos integrais de interpolação que usam *kernels* de interpolação, de acordo com a equação (1). Um dos modelos SPH que se encontra actualmente em desenvolvimento é o modelo *free-ware* SPHysics que permite modelar escoamentos com superfície livre (Crespo, 2008; SPHysics code, 2009).

O modelo numérico SPH utilizado e desenvolvido no LNEC é baseado no código SPHysics, na sua versão 1.4 (SPHysics code, 2009), inspirado na formulação proposta por Monaghan (1994). Neste modelo, é utilizada a técnica de fluido pouco compressível: a pressão é calculada através de uma equação de estado, que relaciona a pressão no fluido com a massa volúmica.

As equações SPH são baseadas na formulação Lagrangeana da equação de conservação da quantidade de movimento e de continuidade:

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla P + \Pi + g \quad (4)$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} = -\text{div}(v) \quad (5)$$

onde t é o tempo, Π representa os termos viscosos, $g = (0, 0, -9.81) \text{ m.s}^{-2}$ é a aceleração da gravidade, v , P e ρ são, respectivamente, a velocidade, a pressão e a massa volúmica.

Na formulação SPH *standard* (Monaghan, 1994), na qual o fluido é considerado pouco compressível, a pressão é directamente calculada a partir da massa volúmica do fluido:

$$P = B \left[\left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^\gamma - 1 \right], \text{ com } B = \frac{c_0^2 \rho_0}{\gamma} \quad (6)$$

sendo $\gamma=7$, ρ_0 a massa específica de referência e c_0 a velocidade do som. Por razões de ordem numérica, é normalmente considerado um valor de velocidade do som menor que o seu valor real, o que permite aumentar o passo de tempo.

O modelo numérico SPH utilizado no LNEC é uma versão alterada do modelo SPHysics, para modelação específica de propagação de ondas e de interacção entre ondas e estruturas costeiras.

No modelo numérico, a integração no tempo é realizada utilizando o algoritmo *predictor-corrector* com o passo de tempo controlado automaticamente respeitando as condições de estabilidade numérica. O modelo *Sub-Particle Scale* de turbulência, derivado dos métodos de *Large Eddy Simulation*, é utilizado para modelar os efeitos ligados à turbulência. A condição de fronteira repulsiva é utilizada, ou seja, é imposto uma força de repulsão nas partículas que constituem a fronteira sólida do domínio computacional.

Várias análises do modelo numérico permitiram definir as melhores opções do programa a adoptar para modelar escoamentos com superfície livre (Didier e Neves, 2009a, 2009b, 2010; Didier *et al.*, 2011).

A geração das ondas é efectuada através de um batedor pistão com absorção dinâmica das ondas. Esta técnica permite dispor de um canal de onda semi-infinito, permitindo realizar simulações numéricas para intervalos de tempo suficientemente grandes para calcular parâmetros estatísticos relevantes (Didier e Neves, 2012).

3. QUEBRA-MAR DE ZEEBRUGGE

3.1. Descrição do quebra-mar de Zeebrugge

No âmbito do projecto CLASH (2004), o quebra-mar de Zeebrugge foi monitorizado para analisar a interacção entre onda e quebra-mar e medir o volume galgado. Um corte transversal do quebra-mar é apresentado na Figura 1, na qual se pode identificar o reservatório de medição do volume galgado. Um equipamento adequado (bóia) permitiu também medir a elevação da superfície livre e o nível da água médio em frente ao quebra-mar, a 150.0m do coroamento da superestrutura.

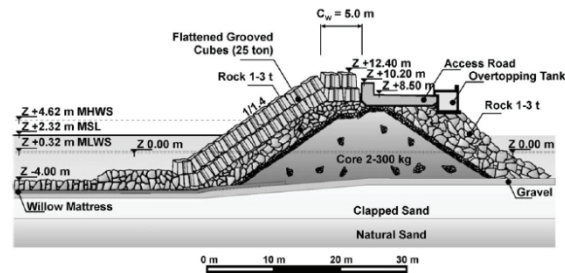


Fig. 1. Secção do quebra-mar de Zeebrugge.

O quebra-mar de Zeebrugge é um quebra-mar de taludes com o manto principal protegido com blocos cúbicos Antifer de 25 toneladas, dispostos em duas camadas, num talude a 1:1.4, rematado superiormente com uma berma de coroamento de 5.00m de largura à cota +12.40m (Z), sendo Z o nível de referência. A superestrutura tem o seu coroamento situado à cota +10.20m (Z) e a zona protegida, à cota +8.50m (Z), serve de estrada de acesso.

Os níveis de maré são de +0.32m (Z) e +4.62m (Z) para baixa-mar e preia-mar, respectivamente (Troch *et al.*, 2004).

3.2. Caso de estudo

O caso analisado no presente estudo corresponde à tempestade de 8 de Novembro de 2001, para a qual $H_s=3.31\text{m}$ e $T_p=10.28\text{s}$, respectivamente a altura de onda significativa e o período de pico (definidos a partir da série temporal de elevação de superfície livre na bóia) e o nível médio do mar igual a $+5.01\text{m}$ (Z). As medições foram realizadas durante 2h e foram registadas 1134 ondas, das quais apenas 29 induziram galgamento (Troch *et al.*, 2004). Analisando a série temporal do volume galgado durante as duas horas do registo, verifica-se que os maiores volumes galgados são da ordem de 0.2 a $0.3\text{m}^3/\text{m}/\text{onda}$.

4. RESULTADOS

Para aplicar o modelo SPH ao caso de estudo, foram realizadas algumas simplificações e aproximações: i) a batimetria é similar à medida em frente ao quebra-mar de Zeebrugge; no entanto, o fundo é considerado impermeável, assim como as camadas de enrocamento subjacentes às duas camadas de blocos cúbicos Antifer; ii) os blocos cúbicos têm dimensões um pouco inferiores às dos blocos do quebra-mar real para tomar em conta a porosidade do quebra-mar; no modelo numérico, sendo bidimensional, as duas camadas são colocadas regularmente uma em cima da outra, o que não corresponde à configuração adoptada *in situ*; iii) as ondas incidentes no modelo numérico são regulares, sendo irregulares nas medições de campo.

Como foi indicado anteriormente, a elevação de superfície livre é medida em frente ao quebra-mar numa bóia localizada a 150.0m do coroamento do quebra-mar e o regime de agitação para a tempestade considerada é caracterizado por $H_s=3.31\text{m}$ e $T_p=10.28\text{s}$. Como no modelo numérico são geradas ondas incidentes regulares, é necessário definir as características equivalentes da elevação de superfície livre no local da bóia (resultado da sobreposição das ondas incidente e reflectida). Assim, são realizadas seis simulações numéricas, com várias alturas de onda incidentes regulares de 4.00 , 5.00 , 6.00 , 6.50 , 6.80 e 7.20m junto ao batedor que correspondem a uma altura de onda (incidente e reflectida), H , na posição da bóia, de 3.00 , 3.85 , 4.75 , 5.65 , 5.90 e 6.30m (Tabela 1). O primeiro valor de H , 3.00m , corresponde a um valor similar ao H_s , determinado na bóia. O penúltimo valor de H , 5.90m , corresponde ao valor H_{max} , determinado como sendo $\sim 1.8H_s$ (Goda, 2000). O valor H_{max} é de facto definido por Goda (2000) como sendo o valor mais provável de altura máxima de onda regular equivalente para um registo de onda irregular, o que não significa que não podem existir ondas com altura maior. Como o galgamento de estruturas marítimas é fortemente condicionado pela elevação de superfície livre em frente ao quebra-mar, considera-se aqui, para a tempestade de 8 de

Novembro de 2001, que a altura de onda máxima (onda incidente e reflectida) é de $1.8H_s$, ou seja, 5.90m na posição da bóia, à qual corresponde uma altura de onda regular incidente de 6.80m .

O domínio computacional é constituído por 41902 partículas. A distância inicial entre partículas é de 0.20m . As partículas são inicialmente distribuídas conforme uma grelha cartesiana regular. O batedor está situado a uma distância de 180.50m do coroamento da superestrutura. A profundidade ao pé do batedor é de 12.20m , considerando o nível de água medido de $+5.01\text{m}$ (Z). O domínio computacional nas proximidades do quebra-mar pode ser visto na Figura 4 na qual se identifica o fundo, as duas camadas de blocos cúbicos e o muro-cortina.

A análise dos resultados é realizada a partir do instante onde se verifica que a interacção entre a onda incidente e reflectida é periódica, ou seja a partir do tempo $t=50.0\text{s}$. Na Figura 2 apresenta-se a série temporal de elevação de superfície livre na bóia para uma onda incidente de 6.00m . Verifica-se que neste regime de onda a altura de onda total é de 4.75m na posição da bóia.

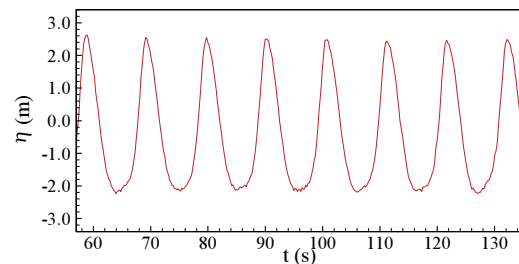


Fig. 2. Série temporal da elevação de superfície livre na bóia, 150.0m em frente ao quebra-mar (onda incidente de 6.00m).

O volume galgado por onda é calculado a partir do volume galgado correspondente a 10 ondas. A série temporal do volume galgado para uma onda incidente de 6.00m de altura é apresentada na Figura 3. Verifica-se que o volume galgado por onda não é constante, mesmo se a onda incidente é regular, devido aos fenómenos aleatórios associados ao complexo fenómeno de rebentação da onda, da interacção com os blocos da estrutura e da interacção entre as ondas incidente e reflectida.

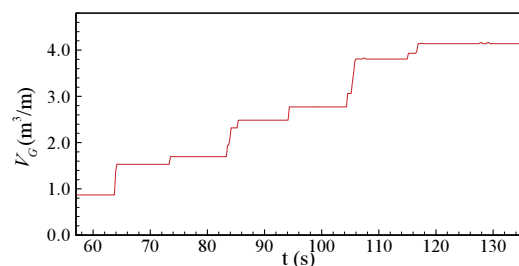


Fig. 3. Série temporal do volume galgado (onda incidente de 6.00m).

Na Tabela 1 apresenta-se o volume galgado por onda, assim como a altura de onda incidente e a altura de onda na posição da bóia para as 6

condições de onda incidente simuladas. Verifica-se galgamento a partir de uma altura de onda incidente de 6.00m, que corresponde a uma altura de onda de 4.75m na bóia, com um volume galgado por onda de 0.446m³/m/onda. O volume galgado calculado para as ondas incidentes superiores a 6.00m de altura é inferior ao obtido para a onda incidente de 6.00m, mas a ordem de grandeza é similar. Para a onda incidente de 6.80m de altura, com $H_{max}=5.90m$, o volume galgado é de 0.270m³/m/onda.

Altura onda incidente (m)	Altura de onda total na bóia (m)	Volume galgado (m ³ /m) por onda
4.00	3.00	0
5.00	3.85	0
6.00	4.75	0.446
6.50	5.65	0.230
6.80	5.90	0.270
7.20	6.30	0.327

Tab. 1. Altura da onda incidente, elevação de superfície livre na bóia e volume galgado por onda.

Os resultados numéricos de volume galgado, na Tabela 1, são comparados com o estimado a partir da série temporal do volume galgado medido no projecto CLASH, considerando apenas os maiores volumes galgados registados, com um valor de 0.2-0.3m³/m/onda. Verifica-se que o modelo numérico SPH permite estimar a ordem de grandeza do volume galgado devido às maiores ondas. Em particular, o volume galgado calculado para a onda com H_{max} (valor mais provável de altura máxima de onda regular), igual a 0.270m³/m/onda, é similar ao estimado no protótipo, entre 0.2 e 0.3m³/m/onda. A Figura 4 apresenta dois instantes da interacção entre a onda de 6.00m de altura e o quebra-mar: a interacção entre a onda incidente e reflectida (em cima) e o galgamento do quebra-mar (em baixo).

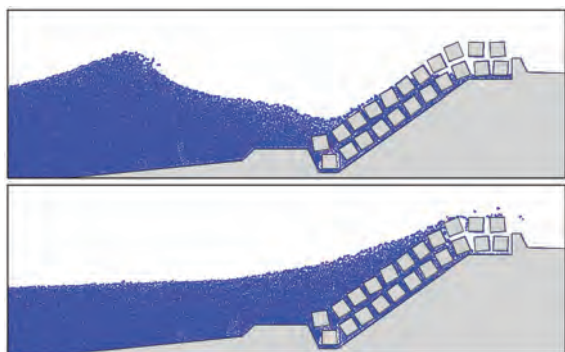


Fig. 4. Interacção da onda incidente de 6.00m com o quebra-mar.

Como conclusão, a versão actual do modelo SPH permite estimar correctamente a ordem de grandeza dos maiores volumes galgados por onda num quebra-mar de taludes complexo, considerando o valor mais provável da altura de onda máxima na posição da bóia, $H_{max}=1.8H_s$, baseada na altura significativa, H_s , da série temporal de elevação de superfície livre medida em frente ao quebra-mar.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece à Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) o financiamento da bolsa SFRH/BPD/37901/2007. Os autores agradecem à FCT o financiamento concedido através do projecto PTDC/ECM/114109/2009, "SPACE – Desenvolvimento e validação de um modelo *Smoothed Particle Hydrodynamic* para aplicações a estruturas costeiras".

REFERÊNCIAS

- CLASH (2004), *Crest Level Assessment of coastal Structures by full-scale monitoring, neural network prediction and Hazard analysis on permissible wave overtopping*. Disponível em: <http://www.clash.ugent.be/>
- Crespo, A.J.C. (2008). *Application of the Smoothed Particle Hydrodynamics model SPPhysics to free-surface hydrodynamics*, Tese de Doutoramento, Universidade de Vigo, Espanha.
- Didier, E., Neves, M.G. (2009a). Wave overtopping of a typical coastal structure of the Portuguese coast using a SPH model, *Journal of Coastal Research*, SI 56, 496-500.
- Didier, E., Neves, M.G. (2009b). Coastal flow simulation using SPH: Wave overtopping on an impermeable coastal structure, *4th International SPHERIC workshop*, Nantes, França, 357-364.
- Didier, E., Neves, M.G. (2010). Study of wave interaction with coastal structures using a SPH numerical model, *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 10(4), 435-455.
- Didier, E., Martins, R., Neves, M.G., Vasco, J.R.G. (2011). Interaction between wave and coastal structure: validation of two Lagrangian numerical models with experimental results, *MARINE 2011*, Lisboa, Portugal.
- Didier E., Neves M.G. (2012). A semi-infinite numerical wave flume using Smoothed Particle Hydrodynamics, *International Journal of Offshore and Polar Engineering*. (em public.).
- Goda, Y. (2000). *Random seas and design of maritime structures*, 2nd edition, Advanced Series on Ocean Engineering.
- Monaghan, J.J. (1994). Simulating free surface flows with SPH, *Journal of Computational Physics*, 110, 399-406.
- SPPhysics code - versão 1.4 (2009). Disponível em: <http://wiki.manchester.ac.uk/sphysics>
- Troch, P., Geeraerts, J., Van de Walle, B., De Rouck, J., Van Damme, L., Allsop, W., Franco, L. (2004). Full-scale wave overtopping measurements on the Zeebrugge rubble mound breakwater, *Coastal Engineering*, 51, 609-628.

Comparação de técnicas de absorção passiva de ondas com avaliação da agitação incidente e refletida em canal

J. M. Paixão Conde (1, 2, 3), R. Capitão (2), M. G. Neves (2) e C. J. Fortes (2)

- (1) DEMI, FCT, UNL, Campus de Caparica, 2829 - 516 Caparica. jpc@fct.unl.pt.
 (2) NPE/DHA, LNEC, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa.
 (3) IDMEC, IST, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa.

Resumo: Neste artigo é aplicado o método de separação de ondas incidentes e refletidas de Mansard e Funke (1980), para fundo horizontal, considerando duas técnicas de absorção passiva das reflexões das ondas implementadas na extremidade do canal oposta ao bater. Assim, consideraram-se séries temporais de elevação da superfície livre provenientes de simulações físicas efetuadas no canal de ondas irregulares COI3 do LNEC e efetuaram-se ensaios para diversas condições de agitação regular com períodos de onda de 1.1, 1.5, 2.0 e 2.5 s e alturas de onda de 8 e 10 cm, considerando duas técnicas de absorção passiva, *i.e.*, utilizando tijolos ou tapetes porosos colocados no chão do canal nas imediações da parede oposta ao gerador de ondas. Os coeficientes de reflexão obtidos para estas soluções, usando o referido método, foram comparados com os obtidos considerando uma parede vertical na extremidade do canal.

Palavras chave: ondas incidentes, ondas refletidas, separação, absorção passiva, canal.

1. INTRODUÇÃO

O tema da separação da agitação total em agitação incidente e em agitação refletida em canais e tanques tem sido tratado em várias comunicações, como, por exemplo, em Sousa *et al.* (2011), em que são descritos e comparados os métodos de separação mais utilizados em canais de ondas irregulares de laboratórios de hidráulica marítima. Nesse trabalho, foram usados vários métodos de separação de ondas incidentes e refletidas, nomeadamente os de Mansard e Funke (1980), quer para fundo horizontal quer inclinado, considerando três sondas, e foi verificada a exatidão teórica desses métodos quando aplicados a um conjunto de simulações simples, numéricas e físicas, embora para condições invariáveis de absorção passiva de reflexão.

A separação da agitação total em agitação incidente e refletida é fundamental para o conhecimento dos coeficientes de reflexão de uma estrutura marítima ou de uma praia, assim como é relevante em ensaios de campo ou laboratoriais e mesmo em simulação numérica. Por exemplo, pode ser útil para avaliar: a) a resposta de determinada estrutura à ação de ondas incidentes com características predefinidas; b) a agitação incidente através da agitação medida em frente da obra, em ensaios de galgamentos e estabilidade; c) as características dissipativas dos enrocamentos utilizados em canais de ondas experimentais; d) as características dissipativas de técnicas de absorção numérica, correntemente utilizadas em simulação numérica computacional envolvendo propagação de ondas, etc..

No presente estudo, aplica-se o método de separação de Mansard e Funke para fundo horizontal, considerando a utilização de três sondas. Para a

implementação deste método foi usado um programa em MATLAB (Sousa *et al.*, 2011). Este foi aplicado a três casos de modelação física, correspondentes a características refletivas (ou dissipativas) diferentes de um canal de ondas: parede refletiva, parede porosa e tapetes porosos.

2. MÉTODOS DE SEPARAÇÃO DE AGITAÇÃO INCIDENTE E REFLETIDA

Sousa *et al.* (2011) descrevem alguns dos métodos de separação de ondas existentes, bem como aplicações dos mesmos. A título de exemplo, podem-se citar os métodos de Goda e Suzuki (1976), Mansard e Funke (1980) e Baquerizo (1995), aplicados no domínio da frequência, e os de Frigaard e Brorsen (1995) e de Baldock e Simmonds (1999), aplicados no domínio do tempo. Mansard e Funke (1980) propõem a utilização de três sondas e um método de mínimos quadrados para separar a agitação incidente e a refletida. Esta técnica permite ultrapassar algumas das limitações dos métodos que recorrem apenas a duas sondas, como é o caso do método de Goda e Suzuki (1976). Baquerizo (1995) modificou o método de Mansard e Funke de forma a considerar fundos com profundidade variável.

De acordo com Mansard e Funke (1980), o seu método apresenta algumas limitações no que diz respeito ao espaçamento das sondas (Fig. 1): a distância x_{12} não pode ser igual a $L/2$ (sendo L o comprimento de onda da onda incidente) ou a múltiplos de $L/2$; e x_{13} não pode ser um múltiplo de x_{12} . Estes autores recomendam: $x_{12}=L/10$; $L/6 < x_{13} < L/3$; $x_{13} \neq L/5$; $x_{13} \neq 3L/10$; e que a distância à estrutura refletiva seja superior a L . Outra limitação deste método (e de todos os outros aqui mencionados) é o pressuposto de que a energia das

ondas re-refletidas pelo gerador de ondas é pequena quando comparada com a energia das ondas incidentes.

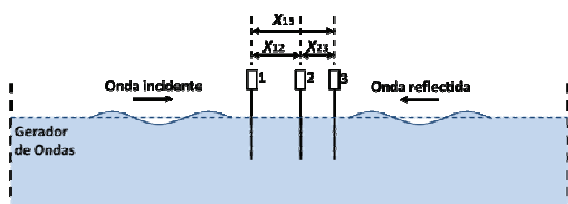


Fig. 1. Esquema do posicionamento das sondas.

Sousa *et al.* (2011) aplicaram o método de Mansard e Funke (1980) para fundo horizontal a ondas regulares geradas numericamente a partir da teoria linear das ondas e constataram que, para estas condições, as distâncias de posicionamento das sondas podem ser superiores ou inferiores às sugeridas por Mansard e Funke ($0.05L < x_{12} < 0.58L$ e entre $0.14L < x_{13} < 0.66L$) podendo x_{12} ser igual, maior ou menor que x_{23} . No entanto, estas distâncias não deverão ser superiores a L .

3. ENSAIOS EM MODELO FÍSICO

Os testes experimentais efetuados para este trabalho foram realizados no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) no canal de ondas COI3, equipado com um gerador de ondas irregular (Fig. 2). O comprimento útil do canal é de 32.57 m pois o bateror encontra-se a 5.9 m da sua extremidade.



Fig. 2. Vistas do canal de ondas utilizado nos ensaios experimentais.

O canal tem geometria peculiar. O perfil longitudinal do fundo é mostrado de forma simplificada na Fig. 3, para uma profundidade de água $d=0.3$ m na origem do sistema de coordenadas (sendo y a coordenada vertical e x a coordenada horizontal). Este perfil consiste em duas zonas de inclinação constante (1:1 e 1:22), até $x=0$, depois uma zona de profundidade constante, a seguir uma rampa de inclinação constante (1:20) e, por fim, uma zona com um perfil de enrocamento com declive 1:2.

O canal é convergente em planta (Fig. 4) desde $x=-12.5$ m até $x=-1.75$ m, tendo o restante canal largura constante.

Tal como referido, foram efetuados ensaios para diversas condições de agitação regular, com períodos de onda de 1.1, 1.5, 2.0 e 2.5 s e alturas de onda de 8 e 10 cm.

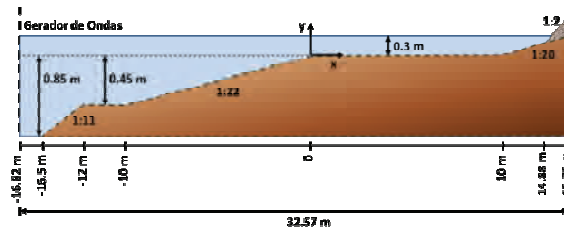


Fig. 3. Perfil do fundo do canal dos ensaios.

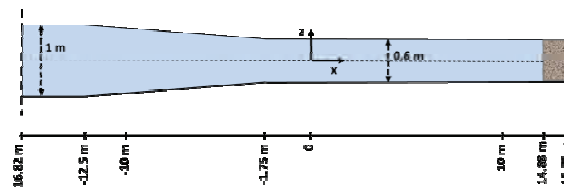


Fig. 4. Planta do canal dos ensaios.

Foi colocada uma sonda resistiva a 6 m do bateror para a caracterização das condições de agitação em todos os ensaios, Fig. 5a. A função desta sonda é a de verificar que as características principais das ondas geradas pelo bateror são as pretendidas em cada ensaio.

Para possibilitar a medição da elevação da superfície livre ao longo do canal de ondas, dispôs-se de oito sondas resistivas, separadas de 20 cm entre si, Fig. 5b, agrupadas e solidárias a uma estrutura móvel. Esta estrutura pode ser colocada em diferentes posições de modo a registar valores em vários pontos ao longo do canal. A frequência de aquisição para todas as sondas foi de 25 Hz.

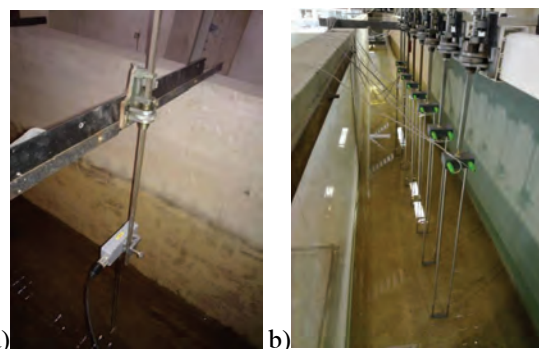


Fig. 5. a) Sonda junto ao bateror; b) Conjunto de 8 sondas.

Foram efetuados ensaios em três situações distintas: 1) utilizando uma parede vertical, totalmente refletiva, colocada com a sua face frontal em $x=10$ m (Fig. 6a); 2) utilizando uma parede porosa construída com tijolos furados, de dimensões $30 \times 20 \times 11$ cm, colocada com a sua face frontal em $x=12.36$ m e com o alinhamento dos furos colinear com a propagação das ondas (Fig. 6b); 3) utilizando 2 tapetes porosos colocados na praia de dissipação do canal, no fundo, desde $x=12.3$ m até ao início do talude de enrocamento (Fig. 6c).

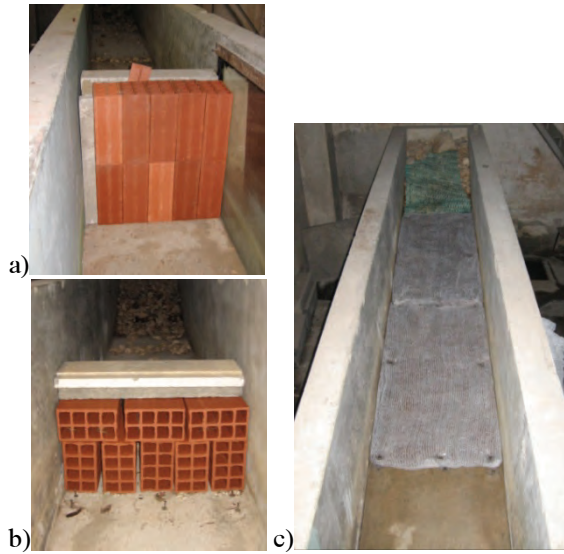


Fig. 6. a) Parede vertical totalmente refletiva; b) Parede vertical porosa; c) Praia atapetada porosa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela I apresenta as características das ondas regulares testadas para fundo horizontal e os valores-limite das distâncias entre sondas preconizados por Mansard e Funke (1980). A tabela II apresenta o posicionamento das 8 sondas de nível, do tipo resistivo, utilizadas na zona do canal com fundo horizontal. Respeitando os impedimentos e limites sugeridos por Mansard e Funke e o espaçamento das sondas existente, considerou-se para distância x_{ij} entre as sondas “i” e “j”: $x_{12}=0.4$ m para todos os ensaios; $x_{13}=0.6$ m para os ensaios com ondas de períodos 1.1, 1.5 e 2.0 s; e $x_{13}=1.0$ m para ensaios com ondas de período 2.5 s.

Atendendo a que o gerador de ondas do canal COI3 ainda não tem disponível um sistema de absorção dinâmica funcional, e para evitar o efeito indesejável das re-reflexões do batedor nos registos das elevações da superfície livre, optou-se por considerar registos com duração máxima de 100 s.

Tabela I. Características dos ensaios com ondas regulares e frações dos comprimentos de onda associados.

T (s)	H (m)	d (m)	L (m)	d/L	L/10	L/6	L/3	L/2	L/5	0.3L
1.1	0.08	0.3	1.57	0.191	0.157	0.262	0.523	0.785	0.314	0.471
1.1	0.10	0.3	1.57	0.191	0.157	0.262	0.523	0.785	0.314	0.471
1.5	0.08	0.3	2.34	0.128	0.234	0.390	0.780	1.170	0.468	0.702
1.5	0.10	0.3	2.34	0.128	0.234	0.390	0.780	1.170	0.468	0.702
2.0	0.08	0.3	3.26	0.092	0.326	0.543	1.087	1.630	0.652	0.978
2.0	0.10	0.3	3.26	0.092	0.326	0.543	1.087	1.630	0.652	0.978
2.5	0.08	0.3	4.15	0.072	0.415	0.692	1.383	2.075	0.830	1.245
2.5	0.10	0.3	4.15	0.072	0.415	0.692	1.383	2.075	0.830	1.245

Tabela II. Posicionamento ao longo do canal das 8 sondas de nível utilizadas.

sonda	1	2	3	4	5	6	7	8
x (m)	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4

As tabelas III, IV e V apresentam os resultados da aplicação do método aos dados obtidos nos ensaios com parede vertical totalmente refletiva, parede

vertical porosa e praia com tapetes porosos, respetivamente. Nestas tabelas apresentam-se: o coeficiente de reflexão global ($r0$), dado pela raiz quadrada do cociente entre momentos de ordem zero dos espectros refletido e incidente, o coeficiente de reflexão de pico (rp), cociente entre as ordenadas máximas dos espectros refletido e incidente, os períodos de pico das ondas incidente e refletida (Tpi e Tpr) e também as alturas significativas das ondas incidente e refletida (Hip e Hrp).

Uma vez que as oito sondas de nível permitem cinco posicionamentos distintos para as ondas com T igual a 1.1, 1.5 e 2.0 s e três posicionamentos para a $T=2.5$ s, nas tabelas III, IV e V apresentam-se os valores médio e desvio padrão para cada um dos ensaios de nome genérico “TxyHwz”, em que “Txy” significa período de onda de “xy” segundos e “Hwz” significa altura de onda de “wz” centímetros.

Tabela III. Parede vertical totalmente refletiva.

Onda	r0	rp	Tpi	Tpr	Hi	Hr	Hip	Hrp	
T11H08	0.872	0.872	1.099	1.099	0.061	0.054	0.061	0.053	Média
	0.009	0.009	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	D. P.
T11H10	0.912	0.911	1.099	1.099	0.045	0.041	0.045	0.041	Média
	0.007	0.007	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	D. P.
T15H08	0.855	0.851	1.493	1.493	0.081	0.069	0.077	0.066	Média
	0.007	0.017	0.000	0.000	0.003	0.002	0.002	0.002	D. P.
T20H08	0.868	0.898	2.000	2.000	0.075	0.065	0.068	0.061	Média
	0.013	0.017	0.000	0.000	0.004	0.003	0.004	0.003	D. P.

Tabela IV. Parede vertical porosa.

Onda	r0	rp	Tpi	Tpr	Hi	Hr	Hip	Hrp	
T11H08	0.304	0.303	1.099	1.099	0.117	0.036	0.117	0.035	Média
	0.036	0.036	0.000	0.000	0.004	0.004	0.004	0.004	D. P.
T11H10	0.295	0.291	1.099	1.099	0.128	0.038	0.127	0.037	Média
	0.022	0.022	0.000	0.000	0.003	0.002	0.003	0.002	D. P.
T15H08	0.271	0.217	1.493	1.493	0.113	0.031	0.107	0.023	Média
	0.056	0.022	0.000	0.000	0.002	0.007	0.002	0.003	D. P.
T15H10	0.256	0.215	1.493	1.493	0.132	0.034	0.124	0.027	Média
	0.028	0.028	0.000	0.000	0.002	0.004	0.004	0.003	D. P.
T20H08	0.274	0.178	2.000	0.867	0.127	0.035	0.106	0.019	Média
	0.047	0.028	0.000	0.183	0.004	0.005	0.007	0.002	D. P.
T20H10	0.268	0.130	2.000	0.667	0.127	0.034	0.102	0.013	Média
	0.044	0.019	0.000	0.000	0.004	0.004	0.006	0.002	D. P.
T25H08	0.331	0.395	2.500	2.500	0.108	0.036	0.076	0.030	Média
	0.011	0.012	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	D. P.
T25H10	0.363	0.092	1.250	2.500	0.126	0.046	0.083	0.008	Média
	0.013	0.012	0.000	0.000	0.002	0.001	0.001	0.001	D. P.

Da análise das tabelas anteriores, verifica-se que para as ondas mais curtas, a praia porosa revela grande eficiência face à parede porosa (e.g., ensaio T11H08, tabelas IV e V).

Claramente, a situação de parede vertical totalmente refletiva produz (como esperado) maiores valores de reflexão; porém, estes estão aquém do valor teórico unitário. Esta diferença poderá dever-se à não existência de absorção dinâmica do batedor, o qual, como se referiu, produz, para além das ondas incidentes, também ondas re-refletidas, indesejáveis. Verifica-se também que o efeito da rebentação, que ocorre no troço horizontal do canal para as ondas T20H10 e T25H10, poderá influenciar

negativamente os resultados do método, que não é válido nessas condições.

Tabela V. Praia de tapetes porosos e fundo horizontal.

Onda	r_0	r_p	T_{pi}	T_{pr}	H_i	H_r	H_{ip}	H_{rp}	
T11H08	0.065	0.059	1.099	1.099	0.095	0.006	0.094	0.006	Média
	0.010	0.013	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	D. P.
T11H10	0.052	0.044	1.099	1.099	0.118	0.006	0.118	0.005	Média
	0.014	0.018	0.000	0.000	0.002	0.002	0.002	0.002	D. P.
T15H08	0.148	0.060	1.493	0.752	0.104	0.015	0.098	0.006	Média
	0.026	0.031	0.000	0.000	0.002	0.003	0.003	0.003	D. P.
T15H10	0.156	0.043	1.493	0.752	0.131	0.020	0.126	0.005	Média
	0.022	0.014	0.000	0.000	0.001	0.003	0.001	0.002	D. P.
T20H08	0.162	0.062	2.000	0.667	0.113	0.018	0.096	0.006	Média
	0.021	0.006	0.000	0.000	0.001	0.002	0.003	0.001	D. P.
T20H10	0.220	0.068	2.000	0.667	0.129	0.028	0.100	0.007	Média
	0.017	0.014	0.000	0.000	0.001	0.002	0.004	0.002	D. P.
T25H08	0.304	0.145	2.500	1.250	0.117	0.036	0.084	0.012	Média
	0.004	0.085	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.007	D. P.
T25H10	0.302	0.082	2.500	1.042	0.111	0.034	0.080	0.007	Média
	0.009	0.042	0.000	0.361	0.001	0.001	0.001	0.003	D. P.

Em alguns casos os períodos da onda refletida são frações dos períodos de onda incidente correspondentes, o que se pode dever a uma transferência de energia entre componentes, fazendo com que o período da onda incidente não seja o de maior energia do espectro.

Face aos resultados obtidos neste trabalho, julga-se interessante proceder à comparação dos resultados aqui mostrados com outros provenientes de métodos alternativos (e.g., método de Frigaard e Brorsen, 2005) e/ou outras implementações do mesmo método de Mansard e Funke (1980), quer em fundo horizontal quer em fundo inclinado (Baquerizo, 1995), assim como à utilização de mais do que 3 sondas na aplicação do método de Mansard e Funke (1980), Capitão (2002).

Finalmente, chama-se a atenção para o facto de na reconstituição dos espectros incidente e refletido, os métodos de separação produzirem, fora da zona de frequências de interesse do espectro pretendido, alguns picos daqueles espectros sem qualquer significado físico. Tais picos surgem como consequência de divisões de valores muito pequenos, pelo que, quando se analisam os resultados da reconstrução dos espectros incidente e refletido, deve tomar-se sempre em conta, quer a zona de interesse das frequências presentes no espectro pretendido, quer a ordem de grandeza do seu pico.

Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido no LNEC no âmbito da licença sabática de J. M. Paixão Conde. Os autores agradecem o financiamento da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) através dos projetos HIDRALERTA e DESTAQ e do centro de investigação IDMEC. Agradecem ainda o apoio de Diogo Neves, António Reis e André Martins nalguns dos ensaios experimentais.

REFERÊNCIAS

- Baldock, T.E., Simmonds, D.J. (1999). Separation of incident and reflected waves over sloping bathymetry. *Coast. Eng.*, 38, 167–176.
- Baquerizo, A. (1995). *Reflexión del oleaje en playas. Métodos de evaluación y de predicción*. Tese de doutoramento. Universidade de Cantábria. 180 pp.
- Capitão, R. (2002). *Modelação estocástica numérica e física da agitação marítima*. Tese de doutoramento, Instituto Superior Técnico, Lisboa. 434 pp.
- Frigaard, P., Brorsen, M. (1995). A time-domain method for separating incident and reflected irregular waves. *Coast. Eng.*, 24, 205–215.
- Goda, Y., Suzuki, Y. (1976). Estimation of incident and reflected waves in random wave experiments. *Proc. 15th Coastal Eng. Conf. ASCE*, Honolulu, 828–845.
- Mansard, E. P. D., Funke, E. R. (1980). The measurement of incident and reflected spectra using a least squares method. *Proc. 17th Coastal Eng. Conf. ASCE*, Sidney, 154–172.
- Sousa, G., Neves, M.G., Capitão, R. (2011). Separação de agitação incidente e refletida: Testes comparativos. *Proc. 7^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, AIPCN/PIANC*, 14 pp.

Sistema integrado de simulação de cheias no Estuário do Espírito Santo (Baía de Maputo, Moçambique)

M. S. Malhadas (1), P.C. Leitão (1), J. Ribeiro (1), A. Silva (1), P. Leitão (2) e T. Cota (1)

(1) HIDROMOD, Rua Rui Teles Palhinha n° 4 1°, 2740-278, Porto Salvo. madalena@hidromod.com

(2) IST-Maretec, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa

Resumo: Neste trabalho foi implementado um sistema de modelação integrado para simular o efeito das cheias no Estuário do Espírito Santo/Baía Maputo (Moçambique). O sistema implementado permite sobrepor à escala local a solução de larga escala para simular o efeito de uma onda de cheia considerando como forçamento principal os rios e a maré astronómica. A validação incluiu a comparação dos resultados do modelo com níveis de maré ao longo da Costa de Moçambique, temperatura à superfície obtida com o satélite e perfis verticais de salinidade e temperatura registados através de bóias Argos. Na pequena escala, Baía de Maputo, os níveis e correntes foram validados para diferentes pontos. Dos resultados obtidos conclui-se que o modelo reproduziu bem as variações de nível de maré na larga e pequena escala, observando-se o efeito da onda de cheia gerada pelos Rios Umbeluzi, Tembe e Matola no aumento do nível Estuário do Espírito Santo/Baía de Maputo.

Palavras chave: Modelação, MOHID, Detecção Remota, maré, Cheias, Moçambique (Baía de Maputo)

1. INTRODUÇÃO

Moçambique situa-se na costa Este do continente Africano, entre as latitudes 10°20' - 26°50' S e as longitudes 30°12' - 40°51' (Fig. 1A). A Baía de Maputo localizada no Canal de Moçambique entre as latitudes 25°55' - 10°26' Sul e as longitudes 32°40' - 32°55' Este, é uma baía pouco profunda (profundidade média ~ 3.0 m) e tem uma área de cerca de 1200 km² (40 km de comprimento e 30 km de largura) (Nhapulo, 2000). A comunicação com o Oceano Índico faz-se através do Canal de Moçambique, ficando a embocadura (largura de ~15 km) da baía posicionada do lado oriental (Fig. 1B).

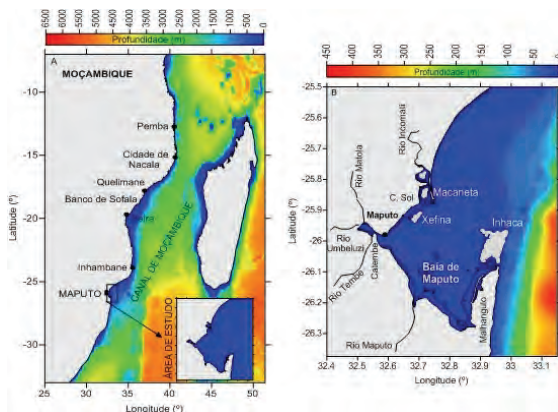


Fig. 1. Localização geográfica de Maputo (A). Baía de Maputo: principais rios afluentes e ilhas (B). O lado oriental da baía é o que corresponde à fronteira com o oceano e o lado ocidental à fronteira com terra.

A topografia é caracterizada por vários bancos de areia e canais com uma orientação Norte/Sul. Os bancos mais importantes são a ilha Inhaca e a península de Machangulo que funcionam como uma barreira natural à protecção das ondas, ventos e correntes oceânicas (Fig. 1B). O Estuário do Espírito Santo é um braço-de-mar na margem ocidental da Baía de Maputo onde desaguam 3 rios: Tembe,

Umbeluzi e Matola. Em situações de cheia existe uma tendência para o aumento do nível no estuário aumentando a probabilidade de inundações nas zonas adjacentes. Este trabalho teve como principal objectivo implementar um sistema integrado de modelos capazes de simular os processos de larga escala e prever o aumento do nível e as zonas susceptíveis de serem inundadas no Estuário do Espírito Santo/Baía de Maputo em condições de cheias extremas.

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho consistiu na implementação de um sistema de modelos encaixados que integram os processos desde a escala oceânica até à escala local, baseado no sistema MOHID (www.mohid.com). Adicionalmente, foi também acoplado off-line, um modelo de bacia (SWAT, <http://swatmodel.tamu.edu/>) que permitiu gerar as ondas de cheia dos rios em Fevereiro de 2000. O sistema de modelação implementado permite simular o aumento do nível e as zonas susceptíveis de serem inundadas no Estuário do Espírito Santo.

A implementação dos modelos numa primeira fase consistiu na recolha de dados de base e numa segunda fase na configuração do nesting.

3.2. Dados de Base

Os dados de base necessários para este trabalho reportam a: i) batimetria (GEBCO e cartas náuticas 16201_M e c-1016-11), ii) topografia (SRTM e levantamentos efectuados em 2011), iii) hidrografia (caudais históricos) e iv) oceanográficos (dados necessários para a validação). Os dados utilizados na validação dos modelos à escala oceânica referem-se a dados de nível (<http://www.gloss-sealevel.org/>), detecção remota (<http://www.remss.com/>) e dados

de bóias Argo (<http://www.argo.ucsd.edu/>). Para a escala local (Baía de Maputo) a validação foi feita tendo como base um conjunto de dados (nível, correntes, salinidade e temperatura) que advém do plano de monitorização levado a cabo pela Universidade Eduardo Mondlane (UEM) e o Instituto das Pescas de Moçambique (Lencart, 2007) desde Março de 2003 a Maio de 2004.

3.1. Modelos encaixados

O modelo implementado para estudar o efeito das cheias inclui 5 níveis diferentes de modelos encaixados (Fig. 2): i) nível 1 que abrange o Oceano Índico, ii) nível 2 a Costa de Maputo, iii) nível 3 a Baía de Maputo, iv) nível 4A a Baía de Maputo e nível 4B inclui a mais o leito de cheia dos rios e v) nível 5 que abrange o Estuário do Espírito Santo.

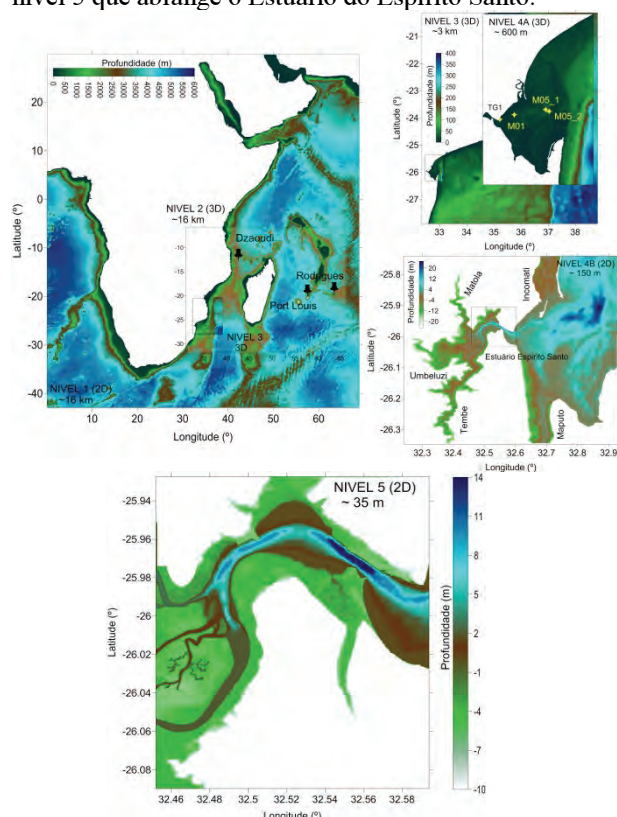


Fig. 2. Modelos encaixados desde a escala oceânica à escala local. O domínio de menor resolução é o Oceano Índico com 16 km e o de maior é o Estuário do Espírito Santo com 35 m.

O modelo de maior nível tem uma resolução espacial de 16x16 km e é forçado pelo modelo global de maré FES2004 em toda a fronteira aberta. O modelo é bidimensional (2-D) assumindo que toda a coluna de água é representada por uma única camada sigma. A sua única função é fornecer as condições de fronteira de oceano aberto para os níveis seguintes até chegar ao domínio de maior resolução, ou seja, o estuário com cerca de 35 m. Os modelos que simulam a circulação à escala oceânica e regional são os modelos de nível 2 (16 km) nível 3 (3km) e nível 4A (600 m) todos tridimensionais com uma discretização vertical composta por camadas sigma até aos 8 m de profundidade e as restantes

cartesianas. O efeito da onda de cheia originada pelos rios afluentes à baía é simulado com o nesting da malha do nível 4B (150 m) a qual inclui o leito de cheia dos rios. O estuário é simulado com o nível 5 cuja malha tem uma resolução de 35 m. Estes dois últimos níveis são bidimensionais com uma única camada sigma na vertical.

3. RESULTADOS

Os resultados obtidos focam-se na validação efectuada à escala oceânica, à escala da baía e ainda nas previsões do nível no estuário para situações extremas de cheia.

3.1. Validação à escala oceânica

3.1.1. Nível de maré

A comparação dos níveis de maré previstos pelo modelo e medidos pela rede de monitorização do GLOSS foi feita para o mês de Junho de 2011 em Dzaoudi, Port Louis e Rodrigues (Fig. 2). Embora existam outras estações de medição de nível de maré, as comparações foram feitas apenas para estes locais porque eram os únicos que tinham dados disponíveis para o período simulado. Os resultados obtidos mostram que o modelo consegue descrever bem a elevação da superfície do mar apresentando coeficientes de correlação (R) superiores a 0.7 (Tabela I). Observa-se uma desigualdade bastante significativa na altura de maré na zona de Dzaoudi relativamente a Rodrigues e Port Louis, devido ao facto de existir uma amplificação da maré no canal de Moçambique (efeito de onda de Kelvin). Esta amplificação das marés ao longo do canal de Moçambique foi observada em trabalhos anteriores (Hoguané, 1999).

Tabela I - Coeficiente de correlação (R) e erro quadrático médio (RMSE) entre as medidas e o modelo para Dzaoudi, Port Louis e Rodrigues. O cálculo das variáveis estatísticas foi efectuado para um período de 1 mês de dados com uma frequência de 10 em 10 minutos.

Estação	R	RMSE
Dzaoudi	0.91	0.37
Port Louis	0.73	0.14
Rodrigues	0.88	0.16

3.1.2. Temperatura à superfície

As previsões do modelo em cada instante (dia e hora) foram comparadas com as imagens de satélite disponíveis para o período de 2 de Junho a 11 de Julho de 2011. Esta validação foi efectuada de um modo sistemático através de um programa que permite ler os dados do satélite e comparar com o formato obtido pelo modelo. Para o período acima referido foi feita uma análise estatística a nível mensal apresentando-se o resultado final em termos de R , *bias* RMSE na Fig. 3. Os resultados obtidos apontam para um R superior a 0.70 evidenciando uma forte correlação positiva entre as previsões do

modelo e as medidas. Esta correlação mostra que, quando a temperatura medida pelo satélite aumenta o modelo consegue prever o mesmo aumento. Globalmente pode-se dizer que o *bias* é muito próximo de 0, com excepção na fronteira superior norte e junto à linha de costa na zona de Maputo, cujos valores são tendencialmente elevados e negativos. Nas zonas em que o *bias* é próximo de 0, significa que não existe enviesamento, e em média, as duas variáveis coincidem. Na fronteira superior norte e ao longo da linha de costa de Maputo, existe um certo viés ou erro sistemático, ou seja, o modelo tende a produzir estimativas sistematicamente desviadas (por excesso) do verdadeiro valor medido. O RMSE é de um modo geral baixo (em média 0.5 °C) o que indica que as previsões do modelo são efectuadas com um grau de precisão elevado. À semelhança do *bias*, as regiões com um erro maior associado (~1.0 - 1.2°C). O aumento do *bias* e RMSE nos mesmos locais referidos anteriormente estão fortemente associados aos campos de correntes superficiais os quais se descrevem na seguinte secção.

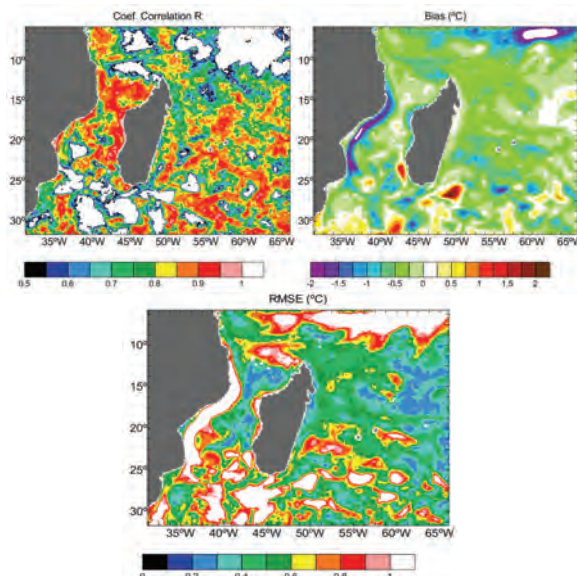


Fig. 3. Coeficiente de correlação, *bias* e erro quadrático médio entre as medidas do satélite e as previsões do modelo para a temperatura à superfície do mar no período de 2 de Junho a 11 de Julho de 2011.

3.1.3. Perfis verticais de salinidade e temperatura

Os perfis verticais de salinidade e temperatura registados através das bóias Argos para o período de 2 de Junho a 11 de Julho de 2011 foram comparados com o modelo no mesmo local e instante (data e hora). À semelhança dos dados de detecção remota as comparações com as bóias Argos também feita de um modo sistemático.

As comparações das bóias e do modelo na vertical foram feitas para profundidades máximas entre 1000 m e 2000 m em vários locais. A título de exemplo mostra-se a comparação obtida para o local 9.81°S - 52.69°E (extremidade sul do Canal de Moçambique, Fig. 4).

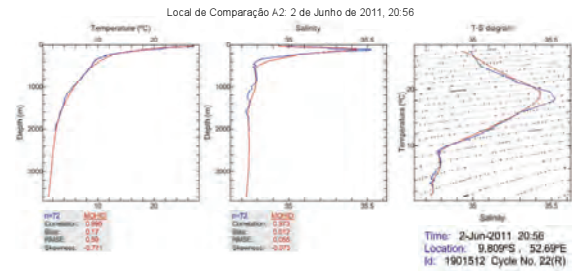


Fig. 4. Perfis verticais de salinidade e temperatura medidos pelas Argos e previstos pelo modelo MOHID para o local 9.81°S, 52.69°E e instante temporal 2 de Junho de 2011, 20:56.

As figuras apresentadas mostram a comparação da salinidade e temperatura na vertical, os diagramas TS e as variáveis estatísticas obtidas (R, *bias* e RMSE). Os resultados mostram que o modelo consegue reproduzir a variabilidade vertical observada nas medidas quer em termos de tendência média quer em termos de grandeza de valor. As correlações obtidas foram elevadas (superiores a 0.90) e os erros baixos evidenciando a fiabilidade das previsões numéricas.

3.1.4. Circulação geral das correntes

O campo de correntes previsto pelo modelo MOHID à superfície ao fim de 2 meses de simulação apresenta-se na Fig. 5. Os resultados obtidos mostram que o modelo consegue reproduzir o padrão geral de correntes descritos na literatura (Lencart, 2007) nomeadamente: Corrente Sul Equatorial (CSE), Corrente Norte de Madagascar (CNM), Corrente Este de Madagascar (CEM), Corrente de Moçambique (CM) e Corrente Central Este Africana (CCEA). Junto à costa surge uma corrente costeira para Norte originada pelos ventos locais a qual não se encontra descrita na literatura. Hogueane (2007) confirma a existência desta corrente com base em observações.

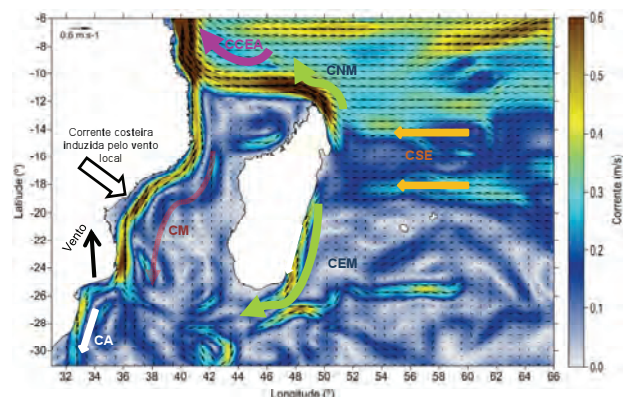


Fig. 5. Campo de correntes em superfície previsto pelo modelo MOHID na Costa de Moçambique.

3.2. Validação à escala da baía de Maputo

3.2.1. Nível de maré

O nível de maré foi analisado através de análise harmónica com o programa T_TIDE (Pawlowicz *et al.*, 2002) às medidas e ao modelo. Os resultados

obtidos apontam para uma predominância semidiurna (M2 e S2) em fase e amplitude

A Fig. 6 compara as elipses de maré obtidas para as observações com as previsões do modelo MOHID para as componentes M2 e S2 na estação MO1 e MO5. As elipses de maré demonstram que as componentes M2 e S2 na estação M01 ocorrem predominantemente no eixo zonal, evidenciando a amplitude dessas componentes nessa direcção (e.g., direcção do escoamento predominantemente na horizontal). Na estação M05 as elipses, ocorrem predominantemente no eixo vertical, ou seja, o escoamento é maioritariamente sobre a direcção meridional.

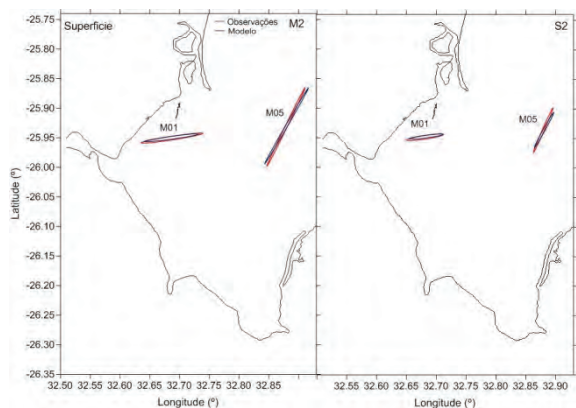


Fig. 6. Elipses de maré das constituintes harmônicas M2 e M3. As observações tiveram como base os dados publicados em Lencart et al, 2010.

3.3. Zonas susceptíveis de ser inundadas

O nível previsto pelo modelo MOHID no Estuário do Espírito Santo para o cenário de referência (maré e caudais médios nos rios afluentes) e cenário 3 (caudais da cheia de 2000 e uma sobrelevação de 0.5 m) apresenta-se na Fig. 7. O nível previsto pelo modelo aponta para um aumento entre 1 e 1.5 m (comparado com a situação de referencia) no delta dos rios e no canal principal do estuário. Os resultados apontam para que as zonas susceptíveis de ser inundadas sejam a zona do delta dos rios, a zona da Matola, a margem sul do estuário, a Machava e Catembe.

4. CONCLUSÕES

A metodologia de modelação apresentada permite sobrepor os processos de larga escala com os de escala local, nomeadamente o aumento do nível no Estuário do Espírito Santo/Baía de Maputo numa situação de cheia. O trabalho de validação feito à escala oceânica e local permite verificar não só a qualidade dos resultados em cada um dos modelos como que a informação entre modelos se está a propagar correctamente através da fronteira aberta dos modelos encaixados. A metodologia apresentada permite apoiar situações de emergência a diferentes escalas (e.g. cheias, derrames de petróleo, busca e salvamento).

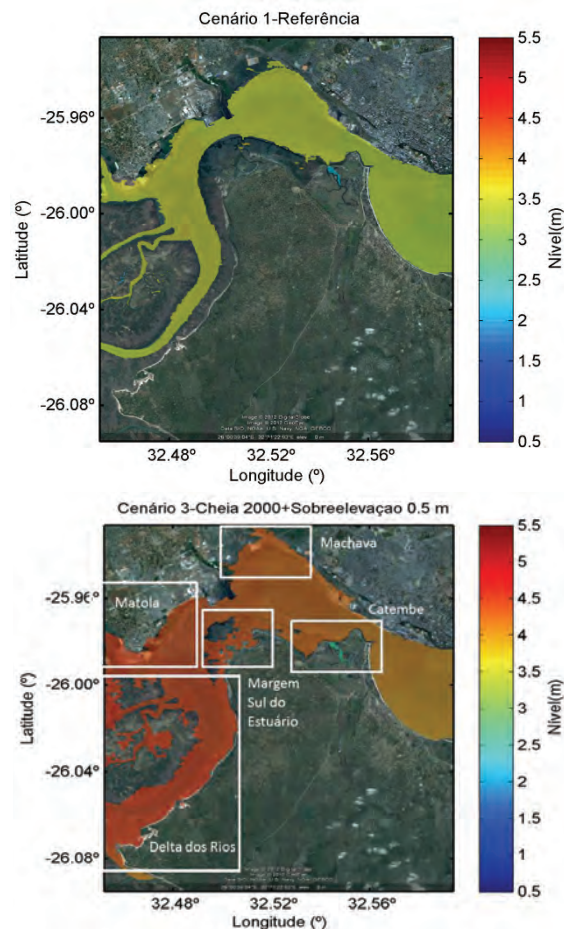


Fig. 7. Nível previsto pelo modelo para a referência (caudais médios e maré) e cenário 3 (caudais de cheia de 2000 e sobrelevação de 0.5 m).

REFERÊNCIAS

- Hoguané, A.M. (1999) - Sea Level Measurement And Analysis. In: *The Western Indian Ocean. National Report :Mozambique.*
- Hoguané, A.M. (2007). Perfil Diagnóstico da Zona Costeira de Moçambique. *Revista de Gestão Costeira Integrada* 7, 1, 69-82.
- Lencart S. J. D. (2007) *Controls on exchange in a subtropical tidal embayment, Maputo Bay.* School of Ocean Sciences. University of Wales, Bangor. Bangor. PhD.
- Lencart S. J.D., Simpson J.H., Hoguané A.M., Harcourt-Baldwin J-L. (2010) Buoyancy-stirring interactions in a subtropical embayment: A synthesis of measurements and model simulations in Maputo Bay. *African Journal of Marine Science.* 32, 1, 97-107.
- Nhapulo, C.I.S. (2000). *Correntes de marés e circulação geral na Baía de Maputo.* Trabalho de licenciatura. Universidade Eduardo Mondlane. Pp. 50.
- Pawlowicz, R., Beardsley, B., Lentz, S. (2002). Classical tidal harmonic analysis with errors in matlab using t-tide. *Computers & Geosciences* 28, 929-937.

Estudo de Ressonância no Terminal XXI do Porto de Sines

C.J.E.M. Fortes (1), M. G. Neves (1), L. Pinheiro (1) e R. Capitão (1)

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

Resumo: Neste artigo, descreve-se o estudo de ressonância efetuado no Terminal XXI do Porto de Sines, com base na análise de dados de campo medidos *in situ*, durante um conjunto representativo de episódios considerados ressonantes, e na determinação dos períodos de oscilação própria da bacia portuária, utilizando o modelo numérico DREAMS (Fortes, 1993). Os dados de campo foram obtidos por um marégrafo, do Instituto Hidrográfico, localizado num ponto do interior da bacia portuária, a partir de Março de 2011. Os resultados do modelo são comparados com os dados medidos no interior da bacia portuária em períodos de ocorrência de fenómenos de ressonância.

Palavras chave: Algarve, costa rochosa, plataforma litoral, ondas, correntes.

1. INTRODUÇÃO

O porto de Sines está situado na costa ocidental Sul de Portugal Continental. A bacia do Terminal de Contentores, ou Terminal XXI, situa-se na zona mais a Sul do porto e é protegida da agitação marítima incidente pelo chamado quebra-mar leste, Fig. 1.



Fig. 1. Porto de Sines. Configuração do Terminal XXI, em fevereiro de 2011. Desenho fornecido pela APS.

Desde fevereiro de 2011, no âmbito do Plano de Expansão do Terminal XXI do porto de Sines, o quebra-mar leste e o cais acostável estão a ser objeto de ampliações de modo a aumentar as atuais capacidades do Terminal XXI. Em fevereiro de 2011, a bacia portuária era abrigada por um quebra-mar com cerca de 1100 m de comprimento. Junto à cabeça do quebra-mar, as profundidades variam entre 18 e 20 m, aproximadamente, enquanto no interior da bacia variam entre 1 e 21 m, aproximadamente. O cais acostável do Terminal XXI tem 380 m de comprimento.

De fevereiro a dezembro de 2011, procedeu-se à realização de um conjunto de obras no cais de acostagem que vista a prolongá-lo para 730 m. Estas obras podem ser visualizadas na Fig. 2.

Ora, esta bacia portuária tem registado alguns episódios de ressonância, tendo sido observados valores excessivos de alturas de onda no seu interior, ao mesmo tempo que se verificava que a agitação marítima no exterior da mesma nem sempre era significativa. Este tipo de fenómenos acarreta

problemas de operacionalidade, nomeadamente relacionados com a interrupção das operações portuárias e a quebra de amarras.

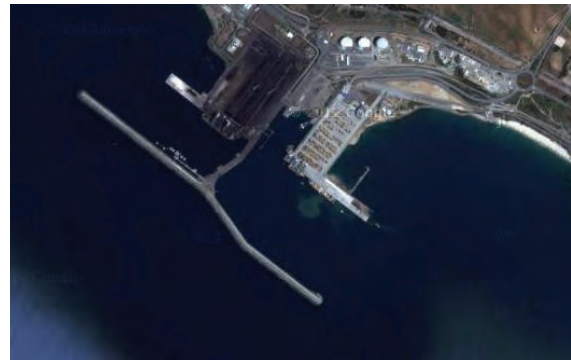


Fig. 2. Porto de Sines. Configuração do Terminal XXI, em Dezembro de 2011. Desenho fornecido pela APS.

Para estudar a resposta desta bacia à ação das ondas longas e melhorar o conhecimento do seu funcionamento ressonante, procedeu-se à análise de dados de campo durante um conjunto representativo de episódios ressonantes e à determinação dos períodos de oscilação própria da bacia, utilizando o modelo numérico DREAMS (Fortes, 1993). Os dados de campo foram obtidos a partir de março de 2011 por um marégrafo do Instituto Hidrográfico localizado num ponto do interior da bacia portuária. O modelo numérico foi aplicado para a situação a que corresponderá um cais acostável de 730 m. Os resultados do modelo são comparados com os dados medidos no interior da bacia portuária em períodos de ocorrência de fenómenos de ressonância.

Nas próximas secções descrevem-se as medições *in situ* e as análises efetuadas para as situações em que ocorreram fenómenos de ressonância no porto. Seguidamente, descreve-se a aplicação do modelo DREAMS para caracterizar as condições de ressonância da bacia. Finalmente, efetua-se uma análise comparativa entre resultados numéricos e medições nas datas em que se verificaram problemas no interior da bacia do Terminal XXI, terminando-se esta comunicação com uma secção de notas finais.

2. MEDIÇÕES IN SITU E ANÁLISE

A partir de março de 2011 foram, no âmbito deste estudo, efetuadas medições da elevação da superfície livre do mar com um marégrafo do Instituto Hidrográfico localizado num ponto do interior da bacia portuária. Também, entre outubro e novembro de 2011 foram registadas na boia-ondógrafo ao largo de Sines diversas situações de temporal. Finalmente, foi efetuado um registo das ocorrências de problemas com navios no interior do terminal, pela *Port Sines Authority* (PSA), a partir de fevereiro de 2011.

No período de 14 de maio a 10 de novembro de 2011 verificou-se que apenas ocorreram problemas nos navios que atracaram no Terminal XXI a partir do início de outubro de 2011. Em todo o mês de outubro e no início do mês de novembro de 2011, ocorreram problemas, tendo sido registada a ocorrência de cabos partidos nos dias:

- o 30 e 31 de outubro;
- o 3, 4, 19 e 20 de novembro.

Ocorreram ainda condições de “navio a mexer devido a ondulação” nos dias:

- o 23, 24, 25, 27, 28, 29 e 30 de outubro.

Por outro lado, entre outubro e novembro de 2011, registou-se, na boia de Sines, a ocorrência de temporais ($H_s > 5$ m) nos dias:

- o 24 e 27 de outubro;
- o 3, 4 e 22 de novembro.

Verificou-se que, embora as direções de agitação dos temporais se situem dentro da gama W-NW, para a qual foi referido haver problemas ressonantes no interior da bacia, apenas o temporal de 3 e 4 de novembro coincidiu com dias em que ocorreram “registo de cabos partidos” e os de 24 e 27 de outubro coincidiram com os dias em que ocorreu “navio a mexer devido a ondulação”.

Nos dias em que houve cabos partidos verificou-se também que, embora as direções associadas aos temporais registados se situem dentro da gama W-NW, as alturas de onda significativas e os períodos de pico variaram bastante de caso para caso, apesar de os períodos de pico máximos serem elevados em praticamente todos os casos. Quanto aos níveis de maré, também se verificaram condições bastante diversas. No entanto, é de destacar que nos dias 3, 4, 19 e 20 de novembro as diferenças de nível entre baixa-mar e preia-mar eram muito reduzidas (inferiores a 1.9 m), enquanto nos restantes dias variaram entre 2.3 m e 3.3 m.

Para as datas em que ocorreram problemas no Terminal XXI, para as quais se dispõe de dados do marégrafo colocado no seu interior, calcularam-se as respetivas condições de agitação (ondas de longo período) e as medidas na bóia ondógrafo direcional (ondas de curto período). Na Fig. 3 apresentam-se os valores da altura de onda significativa de curto e longo período, H_{s_ol} e H_{s_oc} , para estas datas.

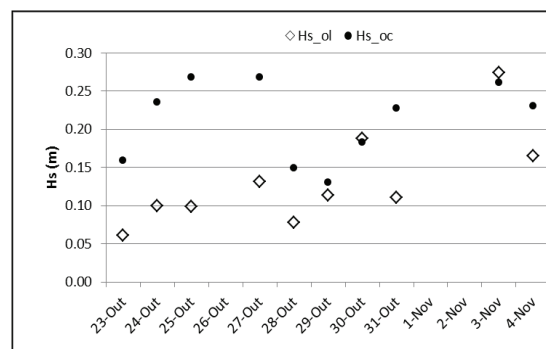


Fig. 3 Porto de Sines. Alturas de onda significativas de ondas longas, H_{s_ol} , e curtas, H_{s_oc} .

Verificou-se que, para os casos analisados, as alturas significativas das ondas longas eram relevantes (entre 0.06 m e a 0.27 m) e os maiores valores registados nem sempre coincidiam com temporais. Também não é visível a existência de uma relação clara entre alturas de onda significativas de ondas longas e curtas.

O período de pico associado às ondas longas encontra-se em duas gamas distintas de frequências (150 s e 159 s e 617 s e 726 s). Analisando as condições em dias sem registo de problemas operativos no Terminal XXI, verificou-se que as alturas de onda significativa relativas à onda curta e longa eram bastante inferiores às registadas nos dias em que houve problemas. No entanto, os valores dos períodos de pico de onda curta e longa estão dentro da gama de valores registados nesses dias de ocorrência de problemas, embora a gama de períodos com energia significativa seja bastante mais reduzida. Verifica-se, portanto, que o mesmo período de pico das ondas pode gerar, ou não, problemas de operação no Terminal XXI consoante a respetiva altura onda significativa.

3. APLICAÇÃO DO MODELO DREAMS

3.1. Introdução

Nesta secção, apresentam-se os cálculos de ressonância efetuados para determinação das curvas de resposta em vários pontos no interior da bacia portuária do Terminal XXI de Sines, para a situação considerada atual em que existe um prolongamento do quebra-mar, com inflexão de 25°, em 400 m e do cais de acostagem para 2 postos de acostagem, com 730 m, Fig. 4. Tal permite avaliar quais os períodos naturais de ressonância desta bacia e se esses períodos correspondem aos observados nos registos efetuados no interior da bacia.

O modelo DREAMS é um modelo matemático para o cálculo da propagação e deformação de ondas regulares em zonas costeiras, Fortes (1993). O modelo pode ser aplicado no estudo, quer da penetração da agitação marítima de período curto num porto, quer da ressonância de uma bacia portuária excitada por ondas de longo período nela

incidentes. É baseado na equação bidimensional de declive suave.

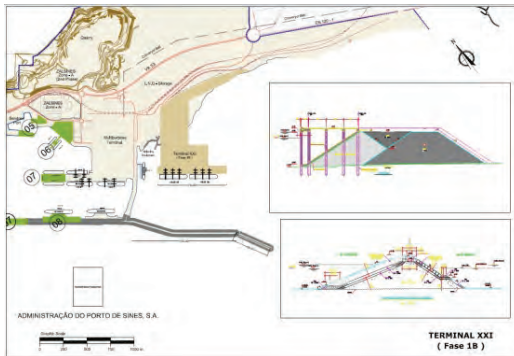


Fig. 4 Porto de Sines. Configuração do Terminal XXI, em Dezembro de 2011. Desenho fornecido pela APS.

3.2. Condições de aplicação

O modelo DREAMS foi aplicado na análise da ressonância no interior da bacia portuária (ver Fig. 4). Para tal, efetuaram-se os seguintes procedimentos:

- Definição do domínio de cálculo e sua discretização por uma malha de elementos finitos com o gerador automático GMALHA, Pinheiro *et al.* (2006);
- Definição dos coeficientes de reflexão ao longo da fronteira do domínio em estudo;
- Cálculos numéricos de propagação de ondas para as condições definidas;
- Determinação das curvas de resposta em vários pontos do domínio de cálculo.

As ondas regulares utilizadas nos cálculos correspondem a:

- Períodos de 20 s a 600 s com intervalos de 5 s;
- Direções de SW (225°), WSW (247.5°) e W (270°).

Os períodos escolhidos englobam a gama das ondas de longo período para as quais se verificaram episódios de ressonância. Foram testados os níveis de maré de +2.0 m (nível médio) e +4.5 m (Z.H.) - nível de preia-mar de águas vivas.

A batimetria da zona de estudo, utilizada na aplicação do modelo matemático, foi obtida com base em elementos fornecidos pela Administração do Porto de Sines (APS), e outras existentes previamente no LNEC, Fig. 5. O domínio de cálculo foi discretizado por uma malha de elementos finitos com 171 489 nós e 340 688 elementos. A densidade de nós da malha foi definida de modo a garantir mais de 10 pontos por comprimento de onda em todo o domínio para um período de 8 s.

O coeficiente de reflexão adotado em todos os troços constituintes das fronteiras do domínio foi igual a 1.0, uma vez que, para esta gama de períodos elevados, as fronteiras se comportam como superfícies completamente refletoras.

3.3. Apresentação e discussão de resultados

Analisaram-se os diagramas dos coeficientes de amplificação e dos vetores de velocidade em todo o domínio de cálculo e em 32 pontos escolhidos no interior da bacia portuária, Fig. 5.

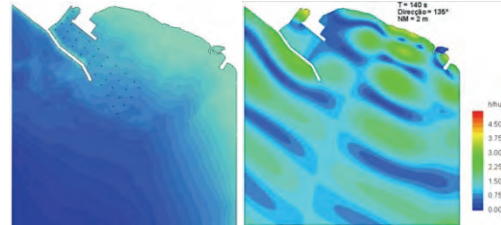


Fig. 5 Domínio de cálculo e pontos de cálculo

Com base nos resultados de DREAMS nesses 32 pontos, foram construídas as curvas de resposta (que traduzem a variação do coeficiente de amplificação com o período de oscilação), para as várias direções de onda incidente e níveis de maré. A título indicativo, na Fig. 6 apresentam-se as curvas de resposta da bacia no ponto 33 (ponto onde se localiza o marégrafo), correspondentes aos níveis desde +2.0m (Z.H.), para as diferentes direcções de onda.

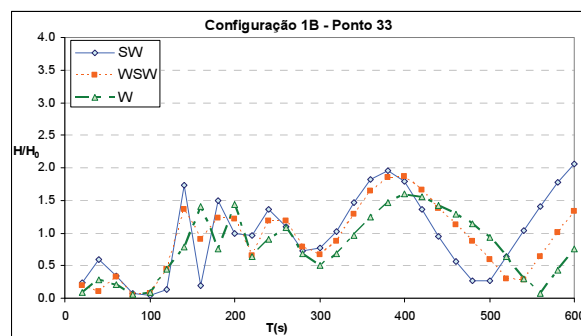


Fig. 6. Ponto 33. Curvas de resposta.

Os casos estudados representam as condições que originam ressonância no interior da bacia portuária. Verifica-se que, em geral, ocorrem situações de ressonância em períodos nas gamas de 120 s a 240 s, de 340 s a 420 s, para o nível de maré de +2.0 m (Z.H.) e de 60 a 200 s e 320 s a 380 s para o nível de maré +4.5 m (Z.H.) e da ordem dos 600 s para quaisquer dos níveis de maré. Embora os valores de amplificação não sejam superiores a 4.0, as velocidades são significativas, especialmente na zona do cais de acostagem. O comportamento das configurações testadas não varia significativamente com a direção da onda. A zona mais interior da bacia portuária do Terminal XXI, onde se encontra o marégrafo, é a que apresenta maiores amplificações ressonantes.

4. ANALISE COMPARATIVA ENTRE DADOS IN SITU E MODELO NUMÉRICO

Nesta secção, com base nos dados de campo medidos *in situ* durante dois eventos ressonantes ocorridos em 31 de Outubro e 3 de Novembro de

2011 na bacia portuária, foi possível determinar a gama de períodos ressonantes da bacia e compará-la com os períodos de oscilação própria da bacia obtidos com o modelo numérico DREAMS.

A análise espectral das medições de campo durante os eventos onde se verificou agitação excessiva no interior da bacia conduziu a duas gamas de períodos de ressonância (54 s a 72 s e 150 s a 180 s), sendo mais energética a que corresponde aos maiores períodos. Verificou-se ainda que estes eventos ocorreram quando os níveis de preia-mar (PM) e baixa-mar (BM) diferiam pouco e variavam entre, aproximadamente, +3.0 m (Z.H.) a +1.0 m (Z.H.). Para as condições de agitação na bóia ondógrafo de Sines que se verificavam aquando dessas condições de ressonância, foram efetuados cálculos com o modelo DREAMS para períodos de 2 em 2 segundos compreendidos entre 54 s a 72 s e 150 s a 180 s. O nível de maré considerado foi de +2.0 m (Z.H.). Na Fig. 7 apresentam-se a título de exemplo dois dos diagramas de coeficientes de amplificação obtidos.

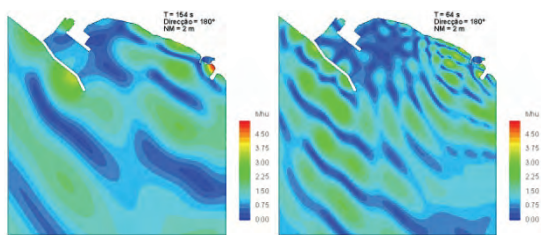


Fig. 7 Amplificação da onda para $T=64$ s e 154 s.

Na Fig. 8 comparam-se os valores dos períodos de ressonância medidos durante os eventos ressonantes analisados, com os valores obtidos numericamente com o modelo DREAMS (ponto 33), para o nível de maré de +2.0 m (Z.H.).

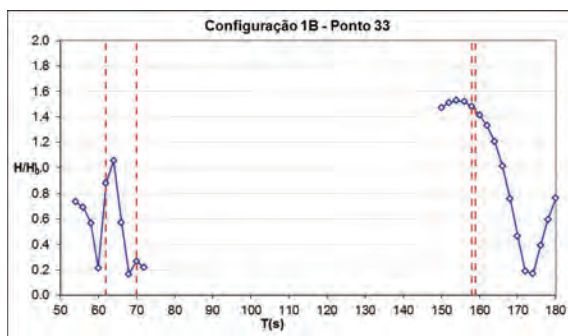


Fig. 8 Coeficientes de amplificação no ponto 33.

Na Fig. 8 as linhas a tracejado indicam as ocorrências de cabos partidos nos navios nos dias analisados (efetuado pela PSA, a partir de fevereiro de 2011) e verifica-se que coincidem na generalidade aos períodos de ressonância dados pelo modelo numérico, o que permite concluir que o modelo está a reproduzir adequadamente o fenómeno. Nota-se inclusive que o modelo conduz a maiores valores de amplificação para os maiores períodos como verificado nos valores medidos.

5. NOTAS FINAIS

O trabalho apresentado estabelece, para já, uma metodologia para a identificação das características de ressonância no interior da bacia. Pretende-se ainda analisar dados de outros eventos ressonantes que aconteçam na bacia de forma a confirmar as conclusões que aqui se apresentam. Além disso tenciona-se analisar as condições de agitação ao largo medidas na bóia de Sines e os níveis de maré medidos no marégrafo do porto de Sines de forma a verificar se existe algum padrão constante na relação entre as condições ao largo (níveis de maré e agitação) e os eventos de ressonância verificados no interior da bacia que permitisse inferir sobre a fonte de excitação dos seus modos ressonantes. Com esta análise julga-se poder obter informação relevante que permita prever a ocorrência deste tipo de fenómenos e, consequentemente, mitigar os seus efeitos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Administração do Porto de Sines (APS), à Port Sines Authority (PSA) e à Conduril a autorização para a publicação dos resultados desta comunicação.

REFERÊNCIAS

- Fortes, C.J.E.M. (1993). *Modelação matemática da refração e difração combinadas de ondas marítimas. Análise pelo método dos elementos finitos*. Msc. Eng. Mecânica, IST, Junho.
- Pinheiro, L.V.; Fernandes, J.L.M.; Fortes, C.J.E.M. (2006). “Sobre um gerador de malhas de elementos finitos com densidade local condicionada à batimetria para modelos de propagação de ondas em zonas portuárias”, in *Anais da I CNMNMFT, Lisboa (Portugal)*, 8 - 9 Jun.
- Smith, R.; Sprinks, T. (1975). “Scattering of surface waves by a conic island”. *Journal Fluid Mechanics*, 72, Part 2, pp. 373-384.
- Okihiro, M., R.T. Guza e R.J. Seymour (1992). “Bound infragravity waves”. *Journal of Geophys. Res.*, 97, No. C7, pp. 11453-11469.
- Vis, F.C., A. Mol, M.A.M. Rita e C. Deelen (1985). “Long waves and harbour design”, in *Anais da Int. Conf. on Hid. and Num. Modelling of Ports and Harbours*, pp. 249-255.

Consequências da subida do nível médio do mar na hidrodinâmica do estuário do Tejo

M. Guerreiro (1), A.B. Fortunato (1), P. Freire (1), A. Rilo (1), R. Taborda (2), M.C. Freitas (2), C. Andrade (2) e T. Silva (2)

(1) Laboratório Nacional de Engenharia Civil, mguerreiro@lnec.pt

(2) Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Resumo: A hidrodinâmica estuarina tem implicações significativas na dinâmica morfológica e sedimentar, qualidade da água, navegabilidade e inundação das margens. A subida do nível médio do mar, associada às alterações climáticas, assim como as tendências atuais e futuras de acreção, terão necessariamente consequências nesta hidrodinâmica que é conveniente antecipar. O presente estudo avalia os efeitos da subida do nível médio do mar e do assoreamento na propagação da maré no estuário do Tejo, através do desenvolvimento, validação e exploração de um modelo hidrodinâmico de alta resolução. Os resultados mostram que a subida do nível médio do mar afetará significativamente o período de ressonância deste estuário, o que conduzirá ao aumento da amplitude das constituintes semi-diurnas em 2-70% e aumentará a dominância de enchente no estuário. Pelo contrário, os ajustes morfológicos decorrentes da sedimentação atual não conduzem a alterações significativas na hidrodinâmica do estuário do Tejo.

Palavras chave: Estuário do Tejo, Hidrodinâmica, Alterações climáticas, Nível Médio do Mar, Ressonância.

1. INTRODUÇÃO

Uma das consequências principais das alterações climáticas nas zonas costeiras é a subida do nível médio do mar. Esta subida deve-se ao degelo das calotes polares e glaciares de montanha e à expansão térmica dos oceanos, como consequência do aquecimento global. Como resultado, os efeitos das alterações climáticas têm de ser tidos em conta na construção de infra-estruturas, assim como no planeamento de monitorização e prevenção de inundação dos sistemas costeiros.

Um dos sistemas costeiros mais sensíveis a estas alterações são os estuários. Estas zonas são ricas em biodiversidade, utilizadas como zonas de nidificação e de berçários para inúmeras espécies. Para além da sua importância natural, são regiões com elevado valor económico-social para o Homem.

Com a subida do nível médio do mar, a hidrodinâmica e morfodinâmica do estuário do Tejo serão alteradas. Como consequência destas alterações, os tempos de residência e a qualidade da água serão afectados, assim como a flora e habitats que se encontram na orla estuarina.

Neste contexto, este trabalho visa identificar e quantificar as consequências da subida do nível médio do mar na propagação da maré no estuário do Tejo. A metodologia seguida neste trabalho consistiu na aplicação, calibração e exploração de um modelo hidrodinâmico de alta resolução. Foram considerados vários cenários de subida do nível médio do mar com base numa revisão bibliográfica dos vários estudos sobre este tema. Dos resultados obtidos foi analisado a assimetria e a ressonância da onda de maré no estuário.

2. ÁREA DE ESTUDO

O estuário do Tejo, um dos maiores da Europa, localiza-se na costa oeste Portuguesa. Tem uma área total de 320 km², que se estende desde o canal da embocadura até cerca de 50 km a montante, onde se localiza o limite de intrusão salina. Os fundos são essencialmente constituídos por sedimentos lodosos e areias, de origem fluvial (zona superior) e oceânica (zona inferior). Os níveis no estuário são controlados por um regime de maré mesotidal, com amplitudes entre os 0.55 e 3.86 m em Cascais. O Rio Tejo é o afluente principal do estuário, com um caudal médio de 368 m³/s, valor para o qual o estuário é bem misturado. As ondas geradas localmente devido ao regime de ventos locais podem atingir alturas significativas de vários decímetros. A orla estuarina tem uma grande diversidade de ocupação antropogénica, e.g. infra-estruturas de apoio a actividades náuticas, zonas industriais, zonas agropecuárias e áreas urbanas (entre as quais a cidade de Lisboa). Comporta um porto importante nas rotas comerciais, sendo por esse motivo fundamental para as actividades comerciais e tráfico marítimo. Todos os anos centenas de embarcações de grandes dimensões chegam ao porto de Lisboa. De forma a manter os canais de acesso e bacias de manobra e estacionamento navegáveis, são realizadas dragagens regulares que envolvem custos elevados. Ao longo dos anos, com o aumento da população, as margens do estuário encontram-se em grande parte limitadas, não sendo possível a sua evolução natural face às alterações climáticas.

Devido ao elevado valor ambiental e comercial, é necessária a monitorização e intervenção por parte do Homem.

3. METODOLOGIA

Analisaram-se as previsões mais recentes de subida do NMM disponíveis na literatura. A gama de valores referidos na literatura é vasta, reflectindo a enorme incerteza existente. No entanto, é notório o aumento da taxa de subida do NMM estimada nos estudos mais recentes relativamente ao último relatório do IPCC (e.g. Vermeer e Rahmstorf, 2009). Com base na revisão bibliográfica sobre o tema, vários cenários de subida do NMM foram definidos (Tabela I). Foram analisados e comparados levantamentos batimétricos do estuário para diversas zonas (dados de 1928/32, 1964, 1981, 2009 e 2011) e calculadas taxas de sedimentação. Com base nestes resultados e nas taxas de sedimentação obtidas através da determinação de ^{210}Pb e ^{137}Cs em sondagens curtas efectuadas nas zonas de sapal e rasos de maré (FCUL) elaboraram-se cenários de evolução batimétrica para 10, 50 e 100 anos.

Tabela I – Cenários a adoptar de subida do NMM relativamente a 1990 (em cm) no âmbito do MorFeed.

Horizonte temporal	2050	2100
IPCC (2007) – B1		40
IPCC (2007) – A1F1	20	60
Limite máximo	50	100 – 150

Para cada cenário, foram realizadas simulações com o modelo de circulação baroclínico tri-dimensional SELFE – Semi-implicit Eulerian–Lagrangian finite-element (Zhang e Baptista, 2008). Este modelo resolve as equações de águas pouco profundas para as elevações e as velocidades, equações de conservação de sal e calor e permite escolher entre vários esquemas de fecho de turbulência. No âmbito deste estudo, foi utilizada a versão bidimensional barotrópica (Zhang *et al.*, 2011).

O domínio horizontal foi representado por uma malha não estruturada que se estende desde a zona de Santarém, cobrindo todo a área de estuário, até ao oceano aberto (Figura 1). As fronteiras laterais da malha, na zona estuarina, foram definidas através da Linha de máxima preia-mar em águas vivas equinociais (LMPMAV) delineada por Rilo *et al.* (2012). De forma a analisar em pormenor a inundação das margens, optou-se por aumentar a resolução das margens e canais existentes no estuário.

O modelo foi previamente calibrado com o conjunto de dados de maré de 1972, obtendo-se erros quadráticos médios da ordem de 10 cm que foram considerados valores aceitáveis. A calibração do modelo não será apresentada neste trabalho.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A amplitude e fase da maré são afectadas por vários factores, tais como a configuração da margem, a batimetria e o caudal fluvial. Os resultados seguintes apresentam o efeito da subida do nível médio do mar e o efeito da evolução batimétrica, nas características da onda de maré no estuário do Tejo.

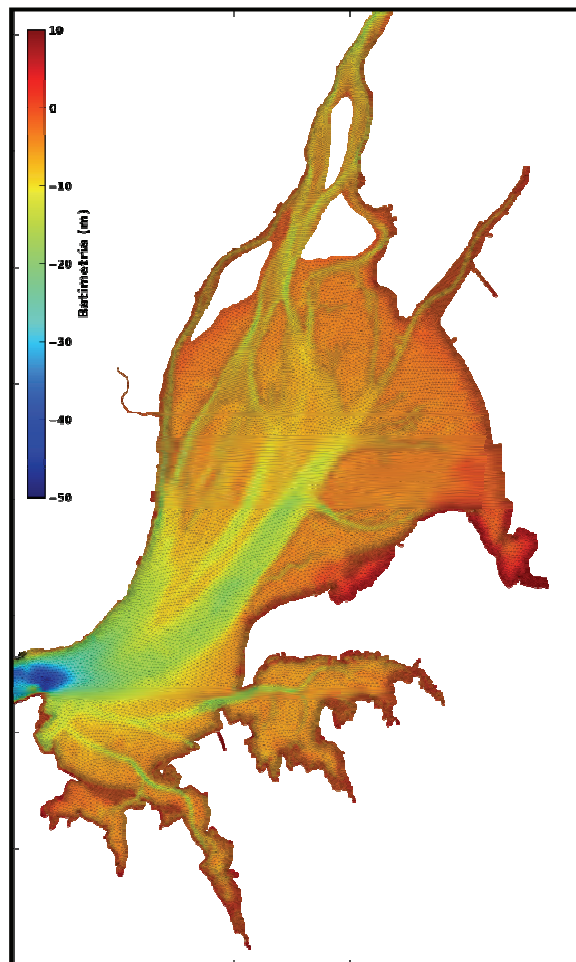


Fig. 1 – Pormenor da malha de cálculo e batimetria da zona superior do estuário do Tejo.

4.1. Assimetria

As marés oceânicas são geralmente simétricas, i.e. as enchentes e vazantes têm durações semelhantes. Os processos não lineares, importantes em zonas pouco profundas, geram constituintes harmónicas de alta frequência que tornam a maré assimétrica (Dronkers, 1964; Aubrey & Speer, 1985). Tipicamente, os estuários têm durações de enchente inferiores às de vazante quando o quociente entre a amplitude de maré e a profundidade é elevado. Pelo contrário, a existência de extensas zonas intertidais favorece as vazantes mais curtas (Fortunato e Oliveira, 2005), como acontece no estuário do Tejo (Fortunato *et al.*, 1999).

A assimetria da maré é particularmente relevante para a dinâmica sedimentar (e.g., Moore *et al.*, 2009). Vazantes mais curtas promovem velocidades mais elevadas na vazante do que na enchente (dominância de vazante). Um estuário nestas

condições terá facilidade em exportar sedimentos. Uma vez que a subida do nível médio do mar afetará a geração de constituintes harmónicas por processos não-lineares, é importante perceber o efeito que terá na assimetria da maré. De forma a verificar este efeito, foi calculada a diferença entre as durações da enchente e da vazante ao longo do estuário até Vila Franca para vários cenários de subida do nível médio e evolução de batimetria para 50 e 100 anos (Figura 2).

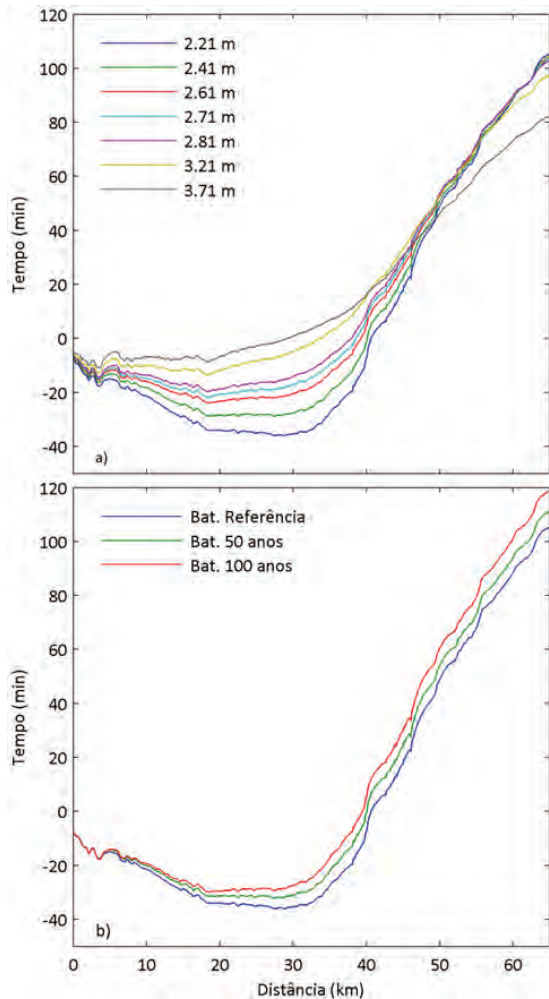


Fig. 2 – Diferença entre as durações da vazante e da enchente ao longo do canal mais profundo do estuário para a) vários cenários de subida do NMM e b) cenários de assoreamento.

Os resultados do modelo confirmam que o estuário é dominado pela vazante até ao km 40 (Fortunato *et al.*, 1999) e mostram que é dominado pela enchente a montante. A subida do NMM irá alterar a assimetria da maré, podendo tornar quase todo o estuário dominado pela enchente. Assim, é expectável que a subida do NMM venha a acelerar o ritmo de assoreamento que actualmente se verifica no estuário.

Pelo contrário, a evolução batimétrica terá um impacto modesto na assimetria da maré. Só se ocorrer uma alteração drástica na batimetria, inesperada face às taxas de assoreamento observadas, é que esta terá uma importância significativa.

4.2. Ressonância

A propagação da maré no interior de um estuário pode ser acompanhada de uma forte amplificação quando o período característico da maré é semelhante ao período próprio do estuário. Este fenómeno, denominado ressonância, consiste na sobreposição de duas ondas com a mesma frequência e direcções de propagação opostas, o que resulta no aumento da amplitude da maré, principalmente nas zonas a montante onde o estuário estreita (Miranda *et al.*, 2002). A ressonância da maré tende a ocorrer em estuários longos e profundos, em que quanto maior forem as dimensões do sistema costeiro mais longos são os períodos de ressonância. Deste fenómeno resulta um maior prisma de maré e naturalmente uma maior renovação do volume de água do estuário. A ressonância implica também menores tempos de residência, mas também uma maior intrusão salina.

O estuário do Tejo, devido às suas características físicas, apresenta este tipo de fenómeno. Fortunato *et al.* (1999) mostrou que o período de ressonância neste estuário é de cerca de 8 horas, pelo que a amplificação das constituintes semi-diurnas é superior à das constituintes diurnas.

Para estudar o efeito da subida do NMM na ressonância da maré no estuário do Tejo, foram realizadas simulações para todos os cenários definidos, forçadas por ondas de 1 m de amplitude e períodos entre 3 e 19 horas na fronteira oceânica. Dos resultados obtidos, calculou-se a amplitude de cada constituinte para vários pontos ao longo do estuário. A Figura 3 apresenta as amplitudes máximas obtidas no estuário.

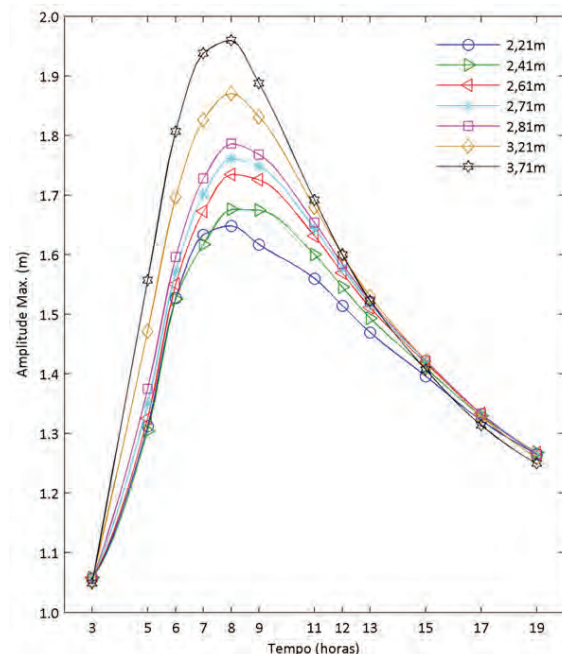


Fig. 3 – Efeito da subida do NMM nas amplitudes máximas no estuário para ondas com um 1 m de amplitude na fronteira marítima do modelo.

Os resultados mostram que a subida do NMM aumentará a amplificação das ondas de maré no estuário para toda a gama de frequências testadas.

Para o actual nível médio do mar em Cascais (2,21 m) e para a frequência da oscilação natural do estuário (8 horas), a ressonância traduz-se numa amplificação máxima de 65% nas regiões a montante. A amplificação das marés semi-diurnas é menor, mas ainda superior a 50%. Com a subida do NMM, o efeito da ressonância será maior. Para o caso mais gravoso considerado, 3,71 m, o aumento da amplitude para o período natural do estuário será de quase 100%, mas as constituintes semi-diurnas serão apenas amplificadas em cerca de 60%. É de salientar também o efeito nas constituintes quarto-diurnas. Estas constituintes, que são responsáveis pela assimetria da maré, vão aumentar significativamente devido à alteração na ressonância. A sua amplificação vai passar dos atuais 50% para 80% no caso da subida do NMM de 1.5 m.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho mostrou que a subida do NMM terá impactos significativos na dinâmica da maré no estuário do Tejo. Por um lado, haverá uma alteração na assimetria da maré. A actual forte dominância de vazante na parte inferior do estuário reduzir-se-á ou será mesmo anulada. Por outro lado, a amplificação das constituintes semi-diurnas por ressonância sofrerá um aumento de 50% para 60% no caso de uma subida do NMM de 1,5 m. As constituintes quarto-diurnas, responsáveis pela assimetria de maré, terão um aumento da amplificação ainda mais significativo. Pelo contrário, o assoreamento do estuário até ao fim do século 20, a manterem-se taxas de assoreamento próximas das actuais, não terão impactos significativos na hidrodinâmica.

Estas duas alterações terão consequências significativas sobre o estuário, quer positivas quer negativas. A redução da dominância de vazante reduzirá a capacidade de exportação de sedimentos, pelo que as taxas de assoreamento na zona superior do estuário tenderão a aumentar. O aumento do efeito de ressonância aumentará o prisma de maré. É de esperar um aumento das correntes de maré, uma redução da estratificação salina, menores tempos de residência e uma maior intrusão salina. O aumento do prisma de maré deverá levar também a um menor esforço de dragagem na embocadura. Os níveis máximos aumentarão, não só devido à subida do nível médio, mas também ao aumento das amplitudes. São expectáveis por isso ocorrências de inundações marginais mais frequentes.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, projecto “MorFeed” (PTDC/AAC-AMB/100092/2008). Os autores

agradecem a todos os membros da equipa do projecto MorFeed; à equipa que desenvolve o modelo SELFE; à ARH-Tejo pela cedência do levantamento topográfico da faixa marginal do estuário, no âmbito do protocolo de colaboração com o projecto MorFeed e ao Técnico Luís Simões Pedro pelo processamento dos dados de batimetria.

REFERÊNCIAS

- Aubrey, D.G. e Speer, P.E. (1985). A Study of Non-linear Tidal Propagation in Shallow Inlet/Estuarine Systems. Part I: Observations. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 21, 185–205.
- Dronkers, J.J. (1964). *Tidal Computations in Rivers and Coastal Waters*. North Holland Publishing, Amsterdam.
- Fortunato, A.B., Oliveira, A. e Baptista, A.M. (1999). On the effect of tidal flats on the hydrodynamics of the Tagus estuary. *Oceanologia*, 22(1), 31-44.
- Fortunato, A.B. e Oliveira, A. (2005). Influence of Intertidal Flats on Tidal Asymmetry. *Journal of Coastal Research*, 21/5: 1062-1067.
- 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.
- Miranda, L.B., Castro, B.M. e Kjerfve, B. (2002). *Princípios de Oceanografia Física de Estuários*. EdSUP, São Paulo, Brasil.
- Moore, R.D., Wolf, J., Souza, A.J. e Flint, S.S. (2009). Morphological evolution of the Dee Estuary, Eastern Irish Sea, UK: a Tidal Asymmetry Approach. *Geomorphology*, 103, 588-596.
- Rilo, A.R., Freire, P., Mendes, R.N., Ceia, R., Catalão, J., Taborda, R., Melo, R., Andrade, C., Caçador, M.I. e Freitas, M.C. (2012) – Um contributo para o traçado da Linha da Máxima Preia-mar de Águas Vivas Equinociais em ambientes de transição. O caso do estuário do Tejo. *11º Congresso da Água*.
- Vermeer, M., e Rahmstorf, S. (2009). Global sea level linked to global temperature. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(51), 21527-32.
- Zhang, Y. e Baptista, A.M. (2008). SELFE: A semi-implicit Eulerian-Lagrangian finite-element model for cross-scale ocean circulation. *Ocean Modeling*, 21 (3-4), 71-96.
- Zhang, Y., Witter, R.W. e Priest, G.P. (2011). Nonlinear Tsunami-Tide Interaction in 1964 Prince William Sound. *Ocean Modeling*, 40 (3-4), 246–259.

Aplicação do modelo SWAN na caracterização da agitação marítima na zona adjacente a Diogo Lopes, Brasil

J. Ângelo (1), A. Pires Silva (1), C. J. Fortes (2), M. F. Matos (3), A. C. Scudelari (3) e V. E. Amaro (3)

- (1) Instituto Superior Técnico, TULisbon, Av. Rovisco Pais 1049-001 Lisboa, jfernandesangelo@gmail.com, aps@civil.ist.utl.pt
 (2) Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas, Dep. de Hidráulica e Ambiente, LNEC. Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa.
 (3) Universidade Federal do Rio Grande do Norte C.P. 1596, CEP 59078-970, Natal, RN, Brasil,

Resumo: Neste artigo, efectua-se uma avaliação do comportamento do modelo espectral SWAN na caracterização da agitação marítima na região adjacente ao estuário de Diogo Lopes no Nordeste do Brasil. O modelo é forçado na fronteira de mar através do modelo de escala oceânica WAVEWATCH III. Nos cálculos usaram-se as observações do campo de ventos recolhidas na estação meteorológica de Macau e as simulações do modelo SWAN foram comparadas com medições obtidas por dois perfilhadores ADV fundeados em profundidades 5 e 9 m, em Dezembro de 2010, um período caracterizado por *swell* de baixa intensidade e prevalência do vento local. Analisa-se a aplicação do modelo em regime estacionário e não estacionário, a influência do valor do coeficiente de atrito de fundo e da formulação da dissipação por *whitecapping*. Dada a importância da vaga, a formulação de Westhuysen *et al.* (2007) proporciona melhores resultados, especialmente as medidas de escala temporal, como o período médio.

Palavras chave: Agitação Marítima, SWAN, Diogo Lopes, Brasil, Rebentação parcial, Atrito no fundo.

1. INTRODUÇÃO

Na região adjacente ao estuário de Diogo Lopes, no estado do Rio Grande do Norte, Brasil (Fig. 1), têm sido efectuados vários estudos interdisciplinares que procuram contribuir para o entendimento dos processos costeiros locais, processos estes, que são o resultado da acção conjunta de ondas, marés, correntes e agentes meteorológicos e climáticos.

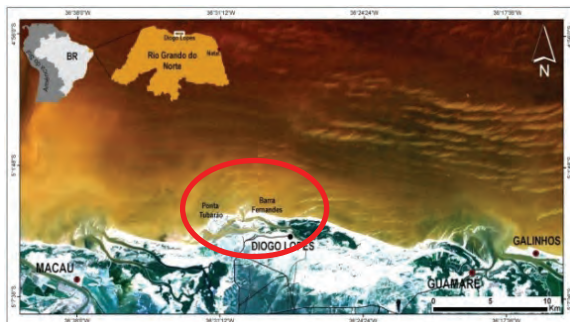


Fig. 1. Zona de Diogo Lopes, Rio Grande do Norte (cima). Localização dos sensores ADV (baixo).

Em particular, tem sido dada especial atenção ao conhecimento da agitação marítima local uma vez que as ondas são o principal agente que determina, ao longo do tempo, a modelação dos fundos e o transporte de sedimentos.

Neste âmbito, a modelação numérica da propagação das ondas geradas pelo vento é fundamental para estudar os fenómenos de hidrodinâmica costeira e de transporte de sedimentos. Um dos modelos mais utilizados para este fim é o SWAN (*Simulating Waves Nearshore*), (Booij *et al.*, 1999), que fornece os parâmetros característicos das ondas através da evolução do espectro direccional junto à costa.

No presente caso, dispõe-se de um conjunto de dados de medições recolhidas *in situ* obtidas por dois ADV fundeados em profundidades 5 e 9 m, durante duas campanhas de campo efectuadas em Dezembro de 2010, nos dias 11 e 12 e de 20 a 28.

O objectivo do presente trabalho é, pois, contribuir para o estabelecimento das condições de aplicação do modelo SWAN na região adjacente ao estuário de Diogo Lopes. A exploração do modelo é levada a cabo em regime estacionário e não estacionário (NE), é introduzida a variação do nível de maré, e avaliam-se as influências do valor do coeficiente de atrito de fundo e da formulação da dissipação por rebentação parcial (*whitecapping*).

Nas próximas secções, descrevem-se as medições *in situ* efectuadas, as condições de aplicação do modelo SWAN para as diferentes análises efectuadas na zona de estudo, os resultados numéricos obtidos, as análises comparativas e a consequente avaliação do modelo na zona de estudo.

2. MEDIÇÕES IN SITU

Os dados referentes aos parâmetros de ondas foram obtidos por meio de perfilhadores acústicos ADV, fundeados nos locais a duas profundidades de 5 m (ZH) (PT1) e 9 m (ZH) (PT2), Fig. 2.

As campanhas de medições consideradas neste trabalho correspondem aos dias 11 e 12 de Dezembro e à semana de 20 a 28 de Dezembro de 2010. Por razões técnicas relativas ao ADV no ponto mais junto à costa (PT1), apenas se possuem medições simultâneas nos dois pontos nos dias 11 e 12. Já na semana de 20 a 28, apenas há registos do ponto mais ao largo (PT2).

3. CONDIÇÕES DE APLICAÇÃO

3.1. Batimetria, Condições Fronteira ao Largo, Ventos e Marés

A execução do modelo SWAN requer a introdução de diferentes dados base, referentes às variáveis físicas que caracterizam o local e as condições ambientais tais como a batimetria, agitação ao largo, ventos e marés.

A batimetria foi obtida a partir das informações da carta náutica 720, fornecidas pela Direcção de Hidrografia e Navegação - DHN - da Marinha do Brasil. Nas zonas menos profundas, mais junto à costa, foram utilizados os levantamentos batimétricos realizados em 2005 pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e a PETROBRAS.

As condições de forçamento ao largo, na fronteira de mar, foram fornecidas pelo modelo de escala oceânica, de 3^a geração WAVEWATCH - WWIII (GODAE, 2010), que providenciou valores para H_{m0} (altura de onda significativa), T_p (período de pico) e Dir (directão média para a frequência de pico), com uma periodicidade de 3 horas, no ponto de coordenadas 3°S 36°W, o mais próximo a Norte da malha exterior. A partir destes valores integrais H_{m0} e T_p parametrizou-se um espectro JONSWAP com $\gamma = 3.3$ para representar a dependência em frequência. A distribuição em direcção é dada por uma potência da função cosseno com expoente 10.

Considerou-se o campo de ventos fornecido pela estação meteorológica de Macau, Brasil. Nas simulações do modelo SWAN, este campo de ventos é introduzido uniformemente em todo o domínio, ou seja, impõem-se valores do módulo da velocidade e direcção constantes no espaço mas variáveis no tempo – neste caso, de hora a hora. Devido ao facto desta estação meteorológica ser sediada em terra, a velocidade dos ventos foi corrigida para ter em conta o contraste terra-mar. Para esse efeito, utilizou-se a curva publicada no *Coastal Engineering Manual* (CEM, 2002). Foi feita ainda uma segunda correcção aos ventos medidos, visto que o anemómetro da estação meteorológica de Macau se encontra a 4 m de altura e não ao nível de referência de 10 m, através da lei da potência (CEM, 2002).

À profundidade a que se encontravam os aparelhos de medição (5 e 9 m) o nível de maré não deve ser desprezado, já que, naquela zona, esta tem uma amplitude que atinge os 1.5 m. Os dados provenientes da estação maregráfica de Macau que inicialmente apenas continham os máximos e mínimos do nível de maré (preia e baixa-mar), foram interpolados de modo a conhecer-se o valor do nível de maré de hora a hora e introduzidos no modelo.

3.2. Domínio Computacional e Condições do Modelo SWAN

Para os cálculos com o modelo SWAN, utilizaram-se três malhas encaixadas, representadas na Fig. 2 e descritas na Tabela I.

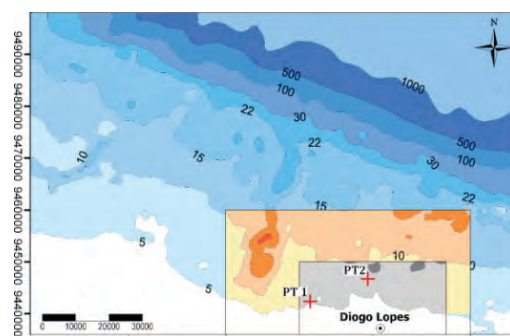


Fig. 2. Domínio computacional e malhas utilizadas

Tabela I. Características das malhas

Domínio	Exterior	Intermédia	Interior
Origem x,y	(710000, 9436000)	(750000, 9440000)	765000, 9440000)
Dimensão (km)	100 x 62	50 x 20	30 x 10
Resolução x,y (m)	(1000, 1000)	(500, 250)	(100,50)

As características da agitação ao largo, provenientes do modelo WWIII, constituem a condição de fronteira na malha global. Os resultados da malha global fornecem as condições de fronteira para a 2^a malha, e os resultados desta malha providenciam as condições de fronteira para a 3^a malha (interior).

3.3. Características das Simulações

Utilizou-se a versão SWAN 40.72, não levando em consideração a interacção com correntes.

O espectro direccionado foi discretizado em 23 intervalos de frequências de 0,04 a 1.0 Hz, com distribuição logarítmica. A discretização em direcção abrange 360°, dividida em 90 intervalos.

Como termos fonte e sumidouro foram considerados a aquisição de energia devido à acção do vento, a rebentação induzida pelo fundo e a rebentação parcial (*whitecapping*), interacções não lineares de quatro e três ondas e a dissipação induzida por atrito no fundo. Usaram-se as formulações padrão constante de SWAN Team (2008), com excepção da rebentação parcial. Neste caso, para além da aproximação de Komen *et al* (1984) experimentou-se a proposta de Westhuysen *et al.* (2007).

As diferentes configurações utilizadas nas simulações encontram-se resumidas na Tabela II.

Tabela II. Características das análises realizadas pelo SWAN.

		Coef. de Atrito No Fundo ($m^{-2}s^{-3}$)		
Regime Estacionário	Komen	0.04	0.067	0.1
	WestH	0.04	0.067	0.1
Regime Não Estacionário	Komen	0.04	0.067	0.1
	WestH	0.04	0.067	0.1

Para uma utilização mais rápida e eficiente do modelo SWAN foi usado o programa de interface SOPRO (Pinheiro *et al.*, 2007), que foi modificado de forma a permitir a introdução das diferentes formulações e valores de coeficientes de atrito nos ficheiros *input*.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Para os pontos PT1 e PT2, comparam-se os resultados numéricos e medidos relativos a H_{m0} e T_{01} .

Apresentam-se na Fig 3 os valores de H_{m0} e na Fig. 4 os valores de T_{01} . Estes resultados dizem respeito ao período de 11 e 12 de Dezembro, considerando uma simulação em modo NE, a formulação Westhuysen *et al.* (2007) para a rebentação parcial, e o valor do coeficiente de atrito da formulação JONSWAP $c = 0.1m^2s^{-3}$.

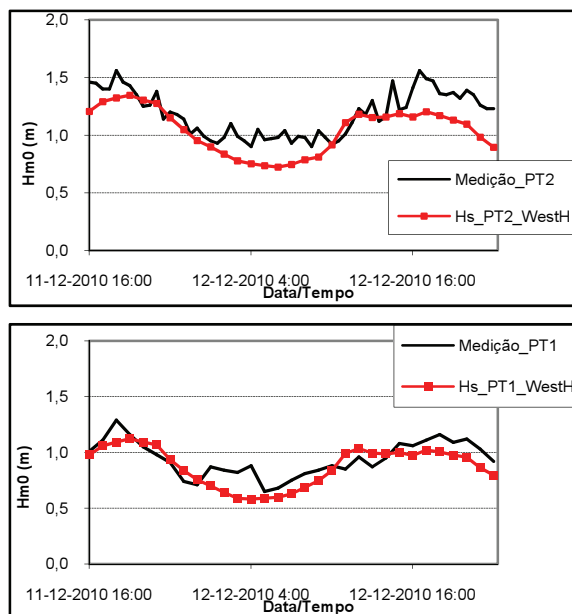


Fig. 3 – Alturas significativas da onda em PT1 (cima) e PT2 (baixo), 11 e 12 de Dezembro.

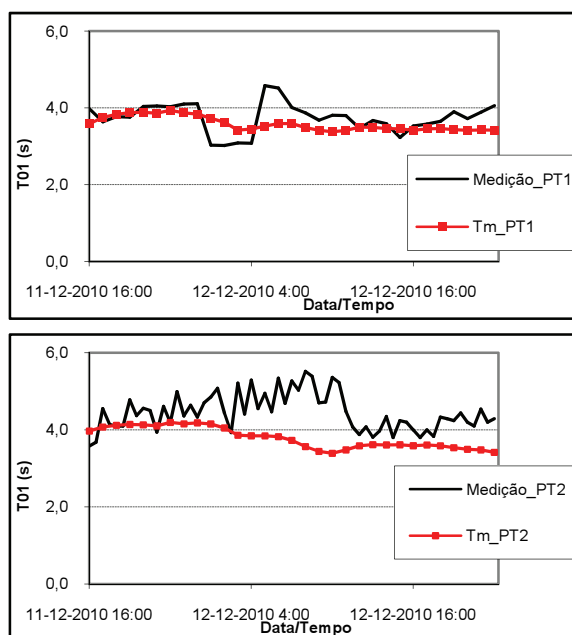


Fig. 4 – Periodos T_{01} em PT1 (cima) e PT2 (baixo), 11 e 12 de Dezembro.

Por sua vez, na Fig. 5 apresentam-se os valores de H_{m0} e os valores de T_{01} no ponto PT2. Estes resultados dizem respeito ao período de 20 a 28 de Dezembro, considerando uma simulação em modo NE, a formulação Westhuysen *et al.* (2007) para a rebentação parcial, e um coeficiente de atrito da formulação JONSWAP $c = 0.04m^2s^{-3}$.

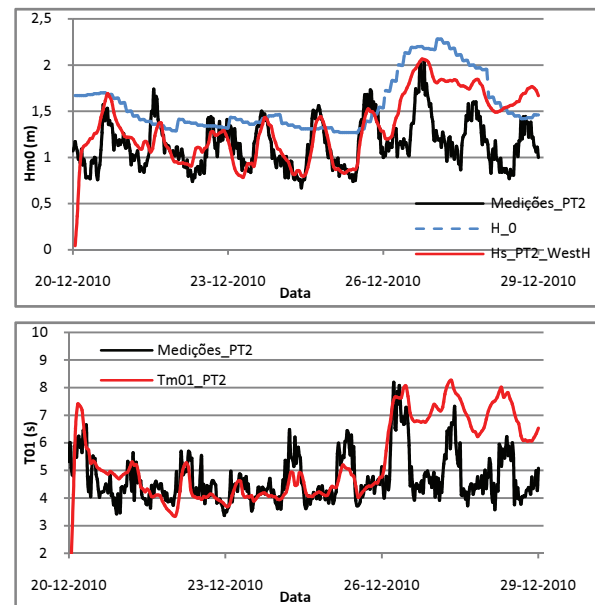


Fig. 5 – Alturas significativas da onda (cima) e períodos médios de onda (baixo) em PT2, 20 a 28 de Dezembro.

Na Fig. 5, a curva referenciada por H_0 indica a altura significativa na fronteira de mar, ao largo, e calculada pelo WAVEWATCH III.

Para avaliar quantitativamente os resultados do modelo numérico, procedeu-se ao cálculo do viés, do valor médio quadrático do erro (RMSE) e do SI (*scatter index*). Este último representa o quociente entre o RMSE e o valor médio das observações. Este conjunto de estatísticas estão representados nas Tabelas III, IV e V.

Tabela III. Estatísticas referentes à Figura 3 (H_{m0}).

		RMSE	0.127
		Westh $c=0.1$	SI
PT1		Viés	-0.066
		Komen $c=0.1$	RMSE
		SI	0.157
		Viés	0.096
PT2	Westh $c=0.1$	RMSE	0.130
		SI	0.109
	Komen $c=0.1$	Viés	-0.058
		RMSE	0.137
		SI	0.115
		Viés	0.049

Tabela IV. Estatísticas referentes à Figura 4 (T_{01}).

PT1	Westh c=0.1	RMSE	0.412
		SI	0.110
		Viés	-0.168
	Komen c=0.1	RMSE	1.451
		SI	0.387
		Viés	-1.394
PT2	Westh c=0.1	RMSE	0.696
		SI	0.154
		Viés	-0.388
	Komen c=0.1	RMSE	2.053
		SI	0.456
		Viés	-1.956

Tabela V. Estatísticas referentes à Figura 5.

PT2 – H_{m0}	Westh c=0.04	RMSE	0.336
		SI	0.293
		Viés	0.182
PT2 – T_{01}	Westh c=0.04	RMSE	1.344
		SI	0.286
		Viés	0.652

A evolução do estado de mar na região adjacente ao estuário de Diogo Lopes é, essencialmente, determinada pela modelação diurna da brisa do mar/brisa de terra. Este aspecto está patente nas Figuras 3 e 4 e, especialmente, na Figura 5. O modelo SWAN reproduz bem esta alternância introduzida pelo campo de ventos, quer ao nível do comportamento de H_{m0} quer de T_{01} , e em ambos os locais de medição (PT1 e PT2).

Em relação ao período de 11 e 12 de Dezembro, as Tabelas III e IV mostram que quando a dissipação por *whitecapping* é dada pela formulação Westhuysen *et al.* (2007), o modelo SWAN exhibe melhores estatísticas de comparação com as observações. Em particular, o valor do RMSE de T_{01} é substancialmente reduzido em ambos os locais de medição (PT1 e PT2), o que por sua vez leva a menores valores do SI. Para estes bons resultados também concorreu o ajustamento da dissipação por atrito no fundo através da escolha do valor do coeficiente de atrito da formulação JONSWAP $c = 0.1m^2s^{-3}$. Este último é superior ao valor recomendado para vaga ($c = 0.067 m^2s^{-3}$) por Bouws e Komen (1983).

Em relação ao período de 20 a 28 de Dezembro, verifica-se a coexistência de vaga e ondulação na parte final do referido período. Esta circunstância levou à modificação do coeficiente de atrito da formulação JONSWAP para $c = 0.04 m^2s^{-3}$ com o objectivo de o aproximar da recomendação para ondulação ($c = 0.038 m^2s^{-3}$, Hasselman *et al.* 1973). A Figura 5 e a Tabela V mostram que, apesar da parte inicial relativa à predominância de vaga a simulação se aproximar das observações, não houve um claro sucesso na modelação quando a ondulação introduzida pelo modelo WAVEWATCH III se faz sentir no domínio de cálculo.

5. CONCLUSÕES

Nesta comunicação, descreve-se a aplicação do modelo SWAN na zona adjacente ao estuário de Diogo Lopes, para as datas de 11 e 12 e 20 a 28 de Dezembro de 2010 para as quais existem dados medidos *in situ*. A comparação entre as observações e as simulações numéricas com o SWAN mostra uma boa concordância.

Na situação descrita, em que as medições são realizadas em baixas profundidades, a correcta representação da dissipação por atrito no fundo tem grande importância. Está em curso uma investigação para melhorar o desajuste registado na parte final do segundo período de medições.

A utilização da formulação apresentada por Westhuysen *et al.* (2007), caracterizada por uma dependência não linear no espectro, melhora as estatísticas, especialmente o T_{01} , ao eliminar o crescimento excessivo originado pelo vento.

REFERÊNCIAS

- 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*, 104, C4, 7649-7666.
- Bouws, E., Komen, G.J. (1983). On the balance between growth and dissipation in an extreme depth-limited wind-sea in the southern North Sea, *J. Phys. Oceanogr.*, 13 (9), 1653-1658.
- CEM, (2002). *Coastal Engineering Manual*, U.S. Army Corps of Engineers.
- GODAE (2010). *Global Ocean Data Assimilation Experiment*, U.S. Navy, Monterey, CA, USA. Disponível em <http://www.usgodae.org/>
- Hasselmann, K. *et al.*, (1973). "Measurements of wind wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)", *Dtsch. Hydrogr. Z.*, A(8), 12.
- Komen, G.J., Hasselman, S., Hasselman, K., (1984). On the existence of a fully developed wind-sea spectrum, *J. Phys. Oceanogr.*, 14, 1271-1285.
- Pinheiro, L., Santos, J.A., Fortes, C.J.E.M.; Capitão, R. (2007). SOPRO – Pacote integrado de modelos para avaliação dos efeitos das ondas em portos. *Revista da Tecnologia da Água*, Edição I, March (in Portuguese).
- SWAN Team (2008). "SWAN: Technical Documentation. SWAN Cycle III version 40.72", Delft University of Technology.
- van der Westhuysen, A., Zijlema, M., Battjes, J., (2007). "Nonlinear saturation-based whitecapping dissipation in SWAN for deep and shallow water", *Coastal Eng.*, 54, 151-170.

Potencial energético ao longo da costa oeste Portuguesa

P. Mota (1) e J. P. Pinto (1)

(1) Instituto Hidrográfico. Divisão de Oceanografia. paul.mota@hidrografico.pt

Resumo: Pretendeu-se avaliar a disponibilidade energética das ondas ao longo da costa Oeste Portuguesa, comparando a energia disponível em 6 secções paralelas à costa com a energia disponível em 6 secções paralelas à direcção média das ondas de Norte a Sul de Portugal. O modelo de agitação marítima WW3 (**WaveWatch3**) foi utilizado para simular as condições de agitação para o período de 1995 a 2010. Para cada secção foi calculada a potência da onda (P) e o fluxo energético (E). A potência, o ângulo de incidência das ondas relativamente à orientação de uma secção linear e a variabilidade na sua direcção, revelaram ser determinantes na energia total disponível em cada secção. Esta última revelou ser menor nas secções paralelas à costa ($806.31 \text{ MWh m}^{-1}$) do que ao longo da direcção média das ondas ($865.66 \text{ MWh m}^{-1}$), tendo atingido valores máximos entre a Figueira da Foz e a Nazaré.

Palavras chave: WWIII, Agitação, Energia, Portugal, Potencial

1. INTRODUÇÃO

Toda a costa Atlântica do Oeste da Europa possui elevada disponibilidade de energia das ondas graças à sua localização ao longo da fronteira Este desse oceano e à prevalência dos regimes de ventos provenientes de Oeste, que induzem um sistema de grandes swells ao longo desta costa (Iglesias, G., 2009). Vários estudos aos recursos energéticos das costas europeias têm sido feitos (Pontes, 1998; Court, 2005; Waters 2008; Iglesias, 2009) sendo que a costa Portuguesa não é excepção (Pontes, 2005; Rusu, 2009).

No entanto, para caracterizar convenientemente o recurso energético em determinada secção linear é necessário considerar, além da potência da onda, outros dois parâmetros: a direcção de propagação das ondas e a orientação da secção em estudo (EPRI, 2011).

Consoante o tipo de mecanismos de captura de energia das ondas (**WEC**, **Wave Energy Converters**) instalados, a sua capacidade de se orientarem com a direcção das ondas, determina a quantidade de energia disponível para cada um. Considerando que certos **WEC** não possuem a capacidade de se orientarem relativamente à direcção das ondas, sendo por isso instalados segundo a direcção média anual das ondas, foi analisado o recurso energético ao longo da costa Portuguesa, tendo em conta a variabilidade sazonal do ângulo de incidência das ondas relativamente à linha de costa e à direcção de pico média anual.

2. MÉTODOS

O modelo WW3 foi utilizado para simular as condições de agitação durante o período de 1995 a 2010, numa malha de $0,5^\circ$ de resolução. Foram escolhidos 6 pontos offshore ao longo da costa de Norte a Sul de Portugal, para os quais se caracterizou cada ocorrência em termos de altura significativa (H_s) e período energético (T_e), e conseqüentemente a potência (P) correspondente a cada um. Para cada ocorrência foi tida em conta a direcção de pico (PD_{dir}) média mensal, determinando-se de seguida o ângulo de incidência relativamente à orientação de cada secção (Fig. 1).

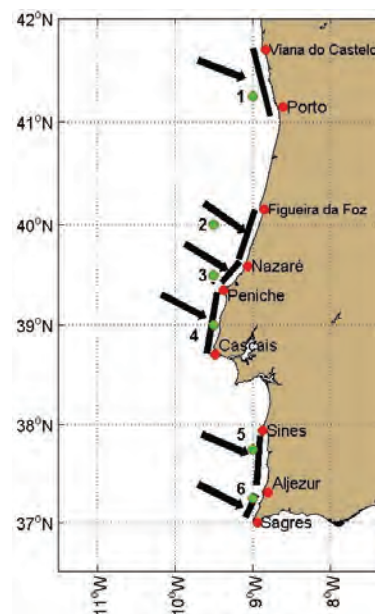


Fig. 1 - Secções e pontos estudados ao longo da costa. As setas representam a direcção de pico média anual.

No âmbito deste estudo e, dado que possuem a mesma orientação, considerou-se que as características do troço entre o Porto e a Figueira da Foz, foram semelhantes às do troço costeiro entre a Figueira da Foz e a Nazaré. A influência do Cabo Espichel no troço costeiro entre Cascais e Sines, leva a uma redução significativa da energia das ondas no local (Jacob *et al.*, 2009). Além do mais, a malha computacional utilizada neste estudo pelo modelo WW3, não permite a resolução satisfatória deste fenómeno. Assim, este troço não foi considerado neste estudo.

A caracterização do recurso energético anual médio em termos de altura significativa e período energético foi feita através de uma distribuição conjunta desses dois parâmetros, permitindo avaliar o número de ocorrências de diferentes estados de mar e a energia associada a cada um, sendo o valor expresso em kWh.m⁻¹.ano⁻¹

Para cada ponto foram escolhidas duas secções diferentes, uma paralela à linha de costa e outra com a mesma orientação da direcção de pico média anual (Figs. 2-3). Para cada secção foi calculado o fluxo energético da onda (*E*), tendo em conta a potencia da onda, o ângulo de incidência (*α*) e o número de ocorrências (em horas).

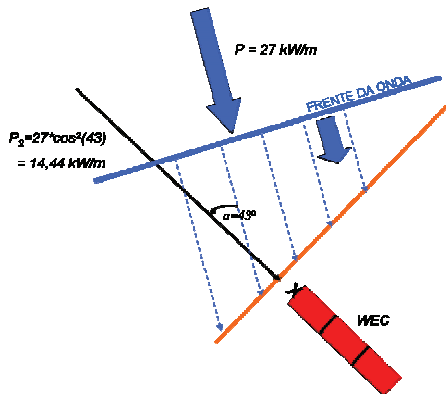


Fig. 2 - Determinação da potência da onda segundo o ângulo de incidência com uma secção paralela à costa

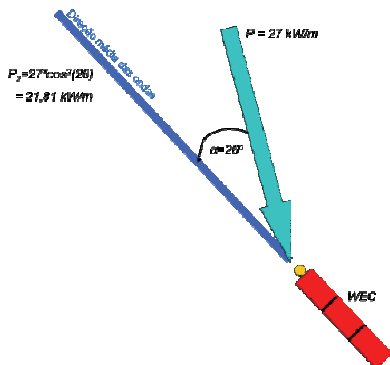


Fig. 3 - Determinação da potência da onda segundo o ângulo de incidência com a direcção média de pico

3. RESULTADOS

Os pontos 2 e 3 foram os que apresentaram maior altura significativa, período energético e, conseqüentemente, valores mais elevados de potência da onda. A direcção de pico em todos os pontos, foi proveniente do quadrante NW (Tabela I).

Tabela I – Média anual e desvio padrão de altura significativa, período energético, direcção de pico e potência da onda em cada ponto

Ponto	Hs (m)	Te (s)	PDir (°)	P (kW/m)
1	1,85 ± 1,12	8,67 ± 2,01	195 ± 25,21	13,05 ± 37,13
2	2,04 ± 1,16	8,67 ± 2,09	106 ± 23,45	27,36 ± 43,30
3	1,98 ± 1,13	8,67 ± 2,10	105 ± 25,79	25,89 ± 41,04
4	1,85 ± 1,01	8,47 ± 2,05	102 ± 25,49	21,28 ± 32,35
5	1,44 ± 0,87	8,21 ± 2,17	198 ± 23,15	13,29 ± 23,24
6	1,58 ± 0,91	8,32 ± 2,16	102 ± 23,01	15,88 ± 26,54

Avaliando as ocorrências conjuntas de altura significativa e período energético, é possível observar que os pontos 1 a 3, mais a Norte, são claramente mais energéticos do que os restantes, atingindo valores máximos no ponto 2, ao largo da Figueira da Foz. Nos três casos, a maioria da energia provém de ondas com alturas significativas compreendidas entre 2 e 4 metros e períodos energéticos de 8 a 12 segundos. O somatório da energia correspondente a cada ocorrência é o valor total de energia disponível em cada ponto escolhido (Figs. 4 e 5).

O ângulo de incidência das ondas ao longo da direcção de pico média, foi sempre menor do que o ângulo de incidência relativamente à linha de costa (Tabela II) pelo que, sendo a potência de fluxo um produto do fator cos²(*α*), obtiveram-se valores mais elevados de energia nestas secções (Fig. 6). O valor máximo obtido foi de 194 MWh.m⁻¹.ano⁻¹ ao longo da secção 2.

O fluxo energético nas secções paralelas à costa oscilou entre os 84 MWh.m⁻¹.ano⁻¹ e o máximo de 189 MWh.m⁻¹.ano⁻¹. Nas secções ao longo da direcção média de pico, a energia oscilou entre 86MWh.m⁻¹.ano⁻¹ e 194 MWh.m⁻¹.ano⁻¹.

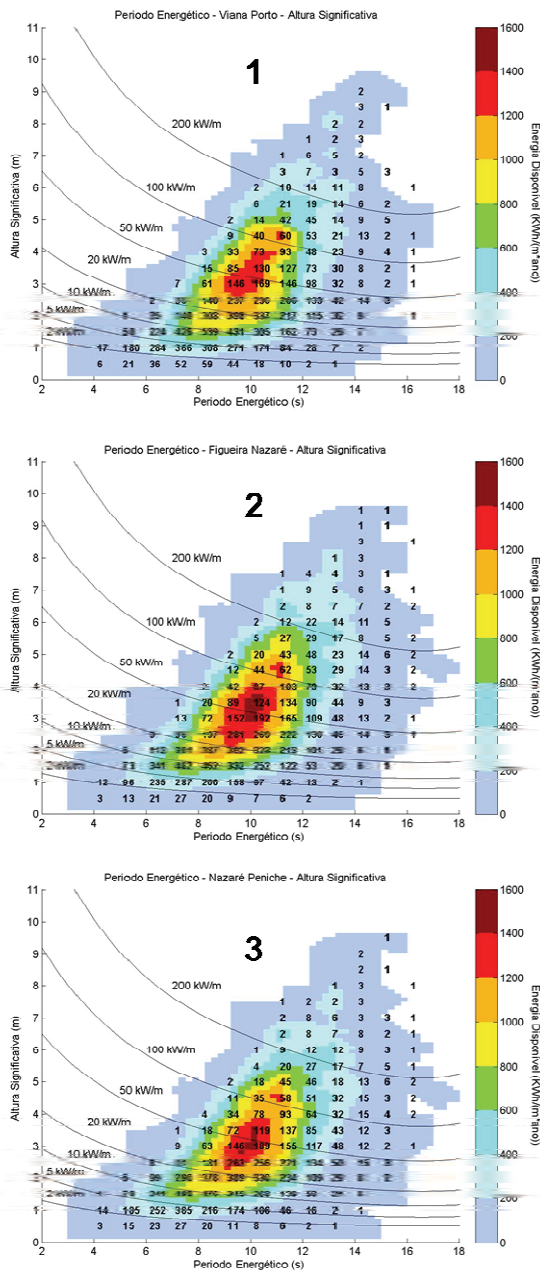


Fig. 4 - Distribuição conjunta de H_s e T_e para as secções 1 a 3. Os números representam o número médio de ocorrências (em horas) num ano. As cores representam a energia anual por metro de frente de onda ($kWh.m^{-1}.ano^{-1}$). As isolinhas representam a potência da onda relativa a cada ocorrência

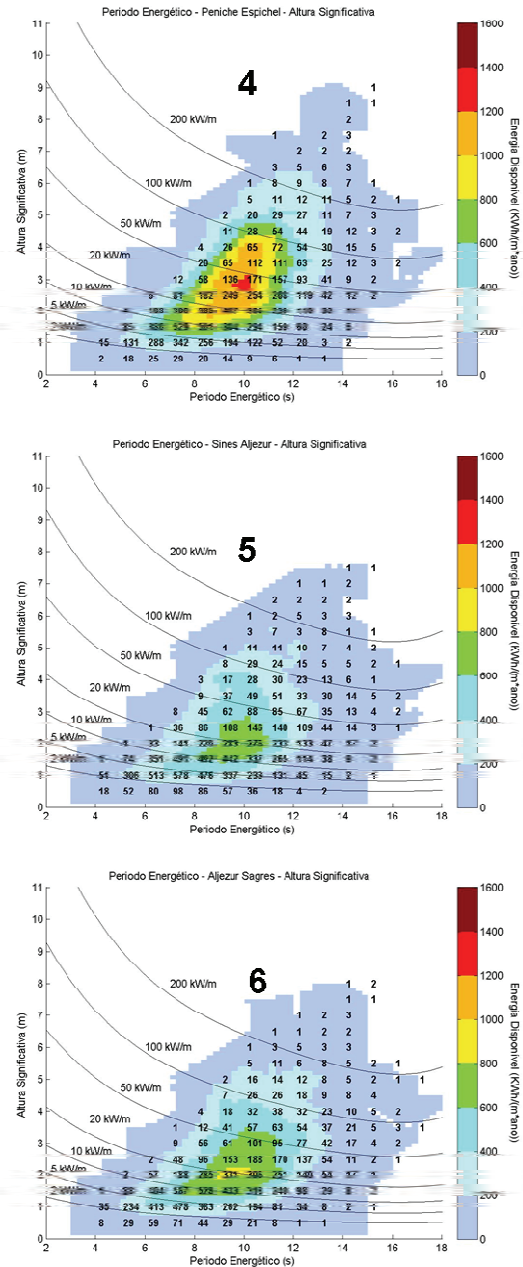


Fig. 5 - Distribuição conjunta de H_s e T_e para as secções 4 a 6. Os números representam o número médio de ocorrências (em horas) num ano. As cores representam a energia anual por metro de frente de onda ($kWh.m^{-1}.ano^{-1}$). As isolinhas representam a potência da onda relativa a cada ocorrência

Tabela II – Ângulo de incidência médio das ondas com as secções paralelas à linha de costa, e ao longo da direcção média de pico

Secção	Ang. Inc. Linha Costa (°)	Ang. Inc Direcção (°)
1	39	6
2	17	5
3	8	6
4	22	7
5	24	5
6	8	5

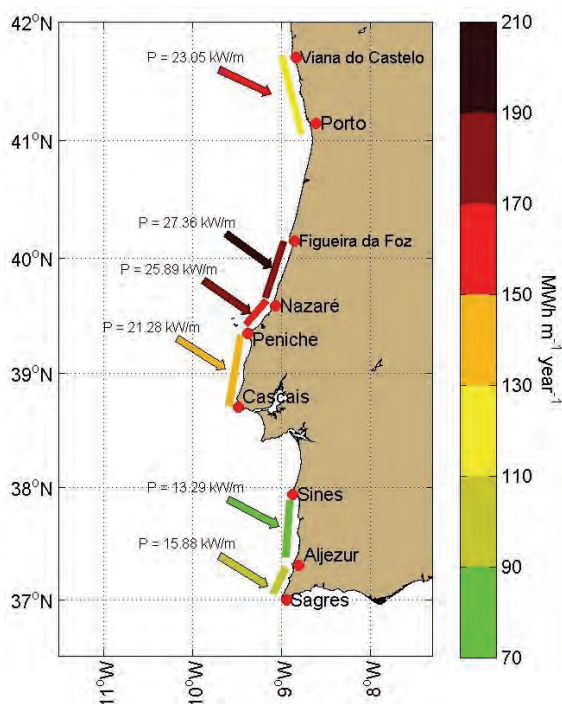


Fig. 6 – Potencial energético nas secções paralelas à costa e ao longo da direcção média de pico

4. CONCLUSÕES

Pretendeu-se avaliar o potencial energético ao longo da Costa Oeste Portuguesa, considerando a direcção das ondas e o ângulo de incidência com secções lineares paralelas à costa e à direcção de pico média anual, em 6 troços ao longo da costa.

A costa a Norte de Peniche revelou ser mais energética, sendo máxima no troço entre a Nazaré e a Figueira da Foz. A maioria da energia é proveniente de ondas com alturas significativas compreendidas entre 2 e 4 metros e períodos energéticos de 8 a 12 segundos.

As secções paralelas à direcção de pico média de pico revelaram ser mais energéticas do que as secções paralelas à linha de costa, com os valores de fluxo energético oscilando entre 86 $\text{MWh.m}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e 194 $\text{MWh.m}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

O ângulo de incidência entre a orientação de cada secção e a variabilidade média mensal na direcção das ondas, revelou ser menor nas secções orientadas com a direcção de pico média.

Assim, o ângulo de incidência das ondas influencia a energia disponível para os mecanismos de conversão de energia das ondas, reduzindo a quantidade de energia disponível nos casos em que estes não se encontrem devidamente alinhados com a direcção das ondas.

REFERÊNCIAS

- Court, S., (2005). Accessible wave energy resource atlas:Ireland. *Technical Report*, 5, 16-22.
- Electric Power Research Institute (2011). Mapping and assesment of the United States ocean wave energy resource. *Technical Report*,2, 1-9.
- Iglesias, G., Carballo, R., Castro, A., Fraguela, J.A., Frigaard, P. (2009). Wave energy potential in Galicia (NW Spain). *Renewable Energy*, 34(10):2323-2333.
- Iglesias, G., Carballo, R. (2009). Wave energy potential along the Death Coast (Spain). *Energy*, 34(12):1963-1975.
- 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.
- Pontes, M.T. (1998). Assessing the European wave energy resource. *Journal of Offshore Mechanics and Artic Engineering*, 120:226-31.
- Pontes, M.T., Aguiar, R., Oliveira Pires, H. (2005). A nearshore wave energy atlas for Portugal. *Journal of Offshore Mechanics and Artic Engineering*, 127:249-55.
- Rusu, E., Guedes Soares, C. (2009). Numerical modelling to estimate the spatial distribution of wave energy in the Portuguese nearshore. *Renewable Energy*, 34(6):1501-16.
- Waters, R., Engström, J., Isberg, J., Leijon, M. (2008). Wave climate off the Swedish west coast. *Renewable Energy*, 34(6):1600-1606.

Nível do mar e movimento vertical no marégrafo de Cascais: análise de tendência

S. M. Barbosa (1) e V. B. Mendes (1)

(1) Universidade de Lisboa, Instituto Dom Luiz (sabarbosa@fc.ul.pt; vmendes@fc.ul.pt)

Resumo: Os marégrafos fornecem um registo preciso da variação relativa do nível do mar. No entanto, no contexto de alterações climáticas, é importante conhecer não só a variação do nível do mar em relação a terra, mas também a sua variação absoluta. Para tal é necessário monitorizar o movimento vertical terrestre junto ao marégrafo, através de GPS, e estimar a tendência de variação do nível do mar subtraindo os eventuais efeitos de deslocamentos verticais da crosta. Neste trabalho é apresentada uma análise de tendência de séries temporais de dados GPS e da altura do nível do mar no marégrafo de Cascais. Tendo em conta que a série GPS do marégrafo de Cascais tem início apenas em 1997, o cálculo de tendências é uma tarefa particularmente delicada. É por isso necessário um tratamento cuidadoso da estabilidade das tendências dos dois tipos de observações e uma estimação rigorosa da incerteza associada. Para o efeito são utilizadas técnicas de regressão robusta e com erros correlacionados.

Palavras chave: nível do mar, marégrafos, GPS

1. INTRODUÇÃO

Os marégrafos fornecem registos contínuos e precisos da variação relativa do nível do mar. O marégrafo de Cascais (38° 42' N, 9° 25' W) possui um dos registos mais longos à escala mundial, tendo sido utilizado num número considerável de estudos da variação do nível do mar (por exemplo Dias e Taborda, 1992; Douglas, 1997; Barbosa et al., 2004; Holgate, 2007; Antunes e Taborda, 2009; Barbosa e Fernandes, 2010). A análise de séries temporais de registos de marégrafos permite abordar diferentes aspetos da variação do nível do mar, incluindo a componente sazonal (Barbosa et al., 2008), níveis extremos (por exemplo, Barbosa, 2008; Scotto et al., 2010) e a tendência a longo prazo. Este trabalho aborda exclusivamente a caracterização da tendência do nível do mar em Cascais. A instalação desde 1997 de uma estação GPS permanente em Cascais permite a monitorização dos movimentos verticais terrestres junto ao marégrafo (Fig. 1), e assim, avaliar a evolução absoluta do nível do mar.

O estudo da tendência do nível do mar a partir de registos de marégrafos não é uma tarefa trivial (Barbosa et al., 2008). As características temporais dos registos, como a auto-correlação forte e persistente, dificultam a estimação de tendências, em particular no caso de registos pouco longos. Por outro lado a sobreposição de efeitos não-lineares, intensa variabilidade inter-anual e inter-decadal e eventos extremos individuais (por exemplo, tempestades) contribuem para dificultar a análise de tendência, em particular em termos da caracterização adequada da respetiva incerteza. Torna-se assim necessário utilizar técnicas de

análise de dados robustas e que permitam avaliar a incerteza de forma rigorosa e realista. Neste trabalho é analisada a tendência das séries temporais de dados GPS e nível do mar do marégrafo de Cascais utilizando diferentes técnicas de regressão, incluindo regressão com erros correlacionados e regressão robusta.



Fig. 1. Marégrafo de Cascais (TG) e estação GPS.

2. DADOS

Neste estudo são considerados os valores médios diários da altura da superfície oceânica do marégrafo de Cascais. Séries temporais diárias de dados do marégrafo e dados GPS são analisadas para o mesmo período de 1 de Maio de 1997 a 31 de Dezembro de 2007. Os dados GPS foram processados com o software GAMIT/GLOBK utilizando um conjunto de órbitas consistentes e coordenadas expressas no referencial ITRF2005.

O mesmo pré-processamento foi aplicado às duas séries temporais de dados de marégrafo e GPS. Um filtro de mediana móvel foi utilizado para remoção de forma robusta de *outliers*, e, posteriormente, o ciclo sazonal médio, obtido através da média de cada dia ao longo de todo o

período, foi removido de cada uma das séries. As séries filtradas e des-sazonalizadas (Fig. 2) são as utilizadas na análise de tendência.

2. RESULTADOS

A técnica de regressão comumente usada, em que a taxa de variação do nível do mar ou da componente vertical é estimada pelo método de mínimos quadrados, é inicialmente usada. Os resultados estão resumidos na primeira linha da Tabela I. Para o nível médio do mar a estimativa obtida é de 2.11 mm/ano, e para a componente vertical é de 0.27 mm/ano. Ambos os declives são estatisticamente significativos para um nível de confiança de 95%.

A variação calculada pelo método de regressão linear usual pode ser afectada por algumas observações mais extremas. A utilização de métodos robustos permite reduzir essa influência ao dar pesos menores a observações mais longe da média (por exemplo Huber, 1981). Neste trabalho foi utilizada a implementação de regressão robusta descrita em Venables e Ripley, 2002. Os resultados obtidos não são significativamente diferentes dos obtidos pelo método de regressão linear usual (não robusto), possivelmente porque o filtro de mediana móvel utilizado na etapa de pré-processamento já terá reduzido significativamente a influência de possíveis outliers nas séries temporais.

O cálculo da incerteza associada às estimativas de variação linear é particularmente afectado pela autocorrelação das respetivas séries temporais. A técnica de regressão por mínimos quadrados generalizados permite incluir no modelo linear uma matriz de covariância não diagonal que traduza a estrutura de dependência temporal das observações. Neste trabalho foi assumido um modelo autoregressivo de ordem 1 (ruído vermelho) para a estrutura de dependência temporal. Os declives obtidos pelo método de regressão generalizada são os mesmos que pelo método de regressão usual, assumindo observações independentes, mas a respectiva incerteza é dramaticamente diferente (Tabela I). Assim, a variação do nível do mar, de cerca de 2 mm/ano, deixa de ser estatisticamente significativa (diferente de zero) para um nível de confiança de 95%. Quanto ao movimento vertical terrestre, apesar de o valor da incerteza também aumentar, obtém-se um declive estatisticamente significativo de cerca de 0.3 mm/ano.

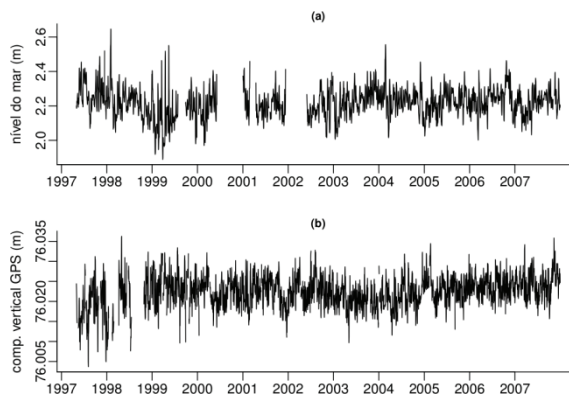


Fig. 2. Séries temporais analisadas: nível médio do mar (a) e componente vertical da solução GPS (b).

Tabela I – Tendências estimadas (declive e correspondente incerteza) em mm/ano. O sinal * denota declives estatisticamente significativos para um nível de confiança de 95%.

	Marégrafo (mm/ano)	GPS (mm/ano)
Regressão linear	2.11* (± 0.46)	0.27* (± 0.02)
Regressão robusta	2.44* (± 0.44)	0.24* (± 0.02)
Regressão generalizada	2.09 (± 1.99)	0.27* (± 0.06)

3. CONCLUSÕES

O pré-processamento das séries temporais de dados de marégrafo e GPS, e, especificamente, a aplicação do filtro robusto de mediana móvel, permite obter estimativas robustas da tendência, mesmo com a técnica usual de regressão linear. No entanto, o método de regressão comumente usado assume observações independentes, o que não é obviamente verdade no caso de séries temporais. Torna-se por isso necessário usar um modelo de regressão que tenha em conta a auto-correlação das observações. A utilização da regressão generalizada não afecta a estimativa de tendência do movimento vertical, que é bastante estável, mas afecta significativamente a estimativa da variação do nível do mar para o período considerado, cujo declive, apesar de maior, não é estatisticamente significativo. Em Cascais a estimação do nível do mar assumindo erroneamente observações independentes conduz a estimativas de tendência inflacionadas e desprovidas de significância estatística. Este problema é particularmente agudo no caso de períodos curtos (tipicamente < 50 anos) ou dados de satélite (Dunne et al, 2012).

Agradecimentos

Dados de marégrafo e GPS gentilmente cedidos pelo Instituto Hidrográfico (IH) e pelo Instituto Geográfico Português (IGP). Trabalho apoiado pela FCT (programa ciencia2008, projeto FCT-DAAD “Alterações temporais na variação do nível do mar: da escala local à escala regional” e projeto Pest-OE/CTE/LA0019/2011 - IDL).

REFERÊNCIAS

- Antunes, C., Taborda, R. (2009). Sea level at cascais tide gauge: data, analysis and results. *Journal of Coastal Research*, 56, 218-222.
- Barbosa, S.M., Fernandes, M.J. (2010). Variação do nível do mar em Cascais: Sazonalidade & Tendência. *Actas da IV Conferencia Nacional de Cartografia e Geodesia*, Caldas da Rainha, Portugal, 474-481.
- Barbosa, S.M., Silva, M.E., Fernandes, M.J. (2008). Time series analysis of sea-level records: characterising long-term variability. Em: R.V. Donner, RV e S.M. Barbosa (eds.). *Nonlinear Time Series Analysis in the Geosciences - Applications in Climatology, Geodynamics, and Solar-Terrestrial Physics*. Springer, Berlin / Heidelberg, 157-173
- Barbosa, S.M., Silva, M.E., Fernandes, M.J. (2008). Changing seasonality in North Atlantic coastal sea level from the analysis of long tide gauge records. *Tellus*, 60A, 165-177
- Barbosa, S.M. (2008). Quantile trends in Baltic sea-level. *Geophysical Research Letters* 35, L22704
- Barbosa, S.M., Fernandes, M.J., Silva, M.E. (2004). Non linear estimation of eustatic trends in European tide gauge records. *Annales Geophysicae*, 22, 1465-1472.
- Dias, J.M.A., Taborda, R. (1992). Tide-gauge data in deducing secular trends of relative sea level and crustal movements in Portugal. *Journal of Coastal Research* 8, 655-659.
- Douglas, B.C. (1997). Global sea rise: a re-determination. *Surveys in Geophysics* 18, 279-292.
- Dunne, R.P., Barbosa, S.M., Woodworth, P.L. (2012). Contemporary sea level in the Chagos Archipelago, central Indian Ocean. *Global and Planetary Change*, 82, 25-37
- Holgate, S.J. (2007). On the decadal rates of sea level change during the twentieth century. *Geophysical Research Letters* 34, L0160.

Huber, P. J. *Robust Statistics* (1981). Wiley.

Scotto, M.G., Alonso, A.M., Barbosa, S.M. (2010). Clustering time series of sea levels: an extreme value approach. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering* 136, 215-225

Venables, W. N. and B. D. Ripley. *Modern applied statistics with S* (2002). Springer, 3rd edition.

Empolamento, rebentação e dissipação das ondas junto à costa

D.P. Santos (1), T. Abreu (2), P. A. Silva (1) e F. Sancho (3)

- (1) Universidade de Aveiro & CESAM, Campus Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro. dani.santos@ua.pt; psilva@ua.pt.
 (2) Instituto Politécnico de Viseu & CESAM, ESTGV Campus de Repeses, 3504-510 Viseu.
 (3) Laboratório Nacional de Engenharia Civil - DHA, Av. do Brasil, 101. 1700-066 Lisboa.

Resumo: A propagação das ondas junto à costa envolve processos como, por exemplo, o empolamento, rebentação e dissipação das ondas. A partir da teoria linear, podem-se estabelecer equações que descrevem o empolamento da onda através das características da onda ao largo (altura e período). Recentemente foram propostas expressões que têm em consideração a amplitude finita da onda. Adicionalmente, o processo de rebentação da onda ocorre quando esta se torna instável, o que depende da profundidade e do declive de fundo, e contribui de forma significativa para a dissipação da energia da onda. Este trabalho pretende testar a validade de algumas equações encontradas na literatura para o coeficiente de empolamento, rebentação e a dissipação da onda mediante a comparação com um conjunto de dados experimentais obtidos num canal de ondas.

Palavras chave: Ondulação, rebentação, dissipação

1. INTRODUÇÃO

A propagação das ondas junto à costa envolve processos como o empolamento, rebentação e dissipação das ondas. Com o objetivo de desenvolver um modelo de propagação de ondas para o estudo da evolução da morfologia da praia são estudadas diferentes aproximações para descrever os processos acima referidos.

Com base na conservação do fluxo de energia das ondas e na teoria linear podem estabelecer-se equações que descrevem o empolamento da onda a partir das características da onda ao largo (altura, período e direção). Nielsen (2009) generalizou as equações anteriores e propôs expressões tendo em consideração a amplitude finita da onda.

Adicionalmente, à medida que a profundidade diminui e a declividade da onda aumenta, as ondas tornam-se instáveis e rebentam, havendo dissipação da energia. O início do processo e tipo de rebentação da onda são geralmente determinados em função da profundidade local e do declive de fundo. As equações com base na conservação do fluxo de energia conduzem a um aumento não realista da amplitude da onda pelo que devem considerar o processo de dissipação. Para descrever a dissipação da onda na zona de surf são encontradas na literatura diferentes formulações (p.ex., Baldock *et al.*, 1998).

No presente trabalho é testada a validade de expressões para o coeficiente de empolamento, rebentação e dissipação da onda mediante a comparação com resultados experimentais. O conjunto de dados experimentais considerado foi obtido por Sancho *et al.* (2001) no canal de ondas da Universidade Politécnica da Catalunha (UPC) com um perfil de praia com barra construído sobre um fundo rígido.

2. METODOLOGIA

A partir do princípio de conservação do fluxo de energia das ondas e assumindo contornos batimétricos paralelos entre si e à costa, pode-se determinar expressões analíticas simples que permitem estimar a altura da onda num dado ponto junto à costa a partir do conhecimento da altura da onda ao largo. No presente caso, em que as ondas se propagam num canal, intervêm nessas equações apenas o coeficiente de empolamento, K_s :

$$\frac{H}{H_0} = K_s = \sqrt{\frac{c_{g0}}{c_g}} \quad (1)$$

em que H é a altura da onda, c_g a velocidade de grupo e o índice 0 representa os valores de H e de c_g ao largo. Os valores da velocidade de grupo ao longo do canal foram determinados pela teoria linear de ondas a partir dos valores do período da onda (T) e do seu comprimento de onda ao largo, λ_0 .

Nielsen (2009), estabeleceu a seguinte equação que representa uma boa aproximação ao coeficiente de empolamento determinado pela teoria linear das ondas:

$$\frac{H}{H_0} = K_s = \frac{1}{\sqrt[4]{4k_0h}} \left(1 + \frac{1}{4} k_0h + \frac{13}{228} (k_0h)^2 \right) \quad (2)$$

onde k_0 é o número de onda ao largo e h a profundidade.

A equação (2) apresenta um erro de 1% em relação à equação (1) desde que se verifique a condição $k_0h < 1.34$.

Nielsen (2009) propôs uma outra equação onde se adiciona um fator de correção empírico que tem em consideração os efeitos resultantes da altura da onda

finita:

$$\frac{H}{H_0} = K_s = \frac{1}{\sqrt[4]{4k_0h}} \left(1 + \frac{1}{4} k_0h + \frac{13}{228} (k_0h)^2 \right) \left(1 + \frac{3}{8} \left(\frac{H_0}{\lambda_0} \right)^{15} (k_0h)^{-3} \right) \quad (3)$$

Para cada condição foi calculado o empolamento com estas três equações. Note-se que durante o cálculo do empolamento foi considerada a equação (1) quando verificada a condição $k_0h < 1.34$; quando $k_0h \geq 1.34$ o cálculo foi feito pela equação (1). Note-se que no cálculo das equações (2) e (3), os valores de entrada são relativos à aproximação de ondas em águas profundas, pelo que teve de ser calculada a altura da onda em águas profundas, $H_{rms,0}$ (ver Tabela I).

Para determinar o local de rebentação da onda utilizou-se a seguinte equação que traduz a altura de rebentação estabelecida por Battjes and Janssen (1978)

$$H_b = \frac{0.88}{k} \tanh \left(\frac{\gamma}{0.88} kh \right) \quad (4)$$

onde γ é um parâmetro de calibração da altura de rebentação e k o número de onda. De acordo com Ruessink *et al.* (2003) este parâmetro segue a seguinte expressão

$$\gamma = 0.76 kh + 0.29 \quad (5)$$

Assim, após o cálculo do empolamento, determinou-se o local de rebentação através da intersecção de H_b determinado por (4) com a altura da onda calculada pela equação (3). Os valores obtidos por este procedimento foram comparados com os observados no ensaio.

Para calcular a dissipação da onda (D) após a rebentação foram usados dois métodos, ambos propostos por Baldock *et al.* (1998). No primeiro, os valores de D foram estimados a partir da resolução numérica da seguinte equação com diferenças finitas:

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{1}{8} \rho g H_{rms}^2 C_g \cos \theta \right) = -D \quad (6)$$

em que x é a posição ao longo do perfil de fundo, ρ é a densidade da água, g é a aceleração da gravidade (θ) representa o ângulo de incidência da onda que neste caso é nulo.

O segundo calcula a dissipação utilizando a altura de rebentação (equação (4)) e a altura da onda (Baldock *et al.*, 1998):

$$D = \frac{\alpha}{4} \frac{1}{T} \rho g e \left[- \left(\frac{H_b}{H_{rms}} \right)^2 \right] (H_b^2 + H_{rms}^2) \quad (7)$$

Esta expressão contém um parâmetro α que é da ordem de 1. Os valores determinados pela equação (7) são posteriormente comparados com os obtidos através das medições de H_{rms} pela equação (6) de

forma a verificar a validade daquela formulação para o presente conjunto de dados.

O conjunto de dados experimental concerne ondas regulares (condição A, B e C) e irregulares (condição D). As experiências contemplaram medições da elevação da superfície livre e da velocidade do escoamento. Através da análise de imagens de vídeo foram também estimados o tipo e o local de rebentação das ondas. A Tabela 1 resume as características das ondas ao largo. Na Tabela, H_{rms} representa o valor médio quadrático da altura das ondas medida junto ao batedor no canal de ondas, $H_{rms,0}$ a altura equivalente mas em águas profundas que é determinada a partir da teoria linear e T representa o período das ondas.

Tabela I – Características das ondas consideradas nos ensaios experimentais.

Condição	Período, T (s)	Altura da onda, H_{rms} (m)	Altura da onda em águas profundas, $H_{rms,0}$ (m)
A	2.477	0.2185	0.235
B	3.478	0.2237	0.236
C	3.478	0.4112	0.432
D	2.17	0.208	0.223

3. RESULTADOS

3.1. Empolamento

As estimativas da altura da onda para a zona de empolamento apresentam-se nas Figuras 1 e 2 para as condições C e D, concernentes a ondas regulares e irregulares, respetivamente.

A estimativa do empolamento até à zona de rebentação foi quantificada por um parâmetro de aptidão, Skill (S) – equação (8), que consiste na quantificação do erro através da razão entre o desvio padrão da média entre os valores calculados com os valores experimentais, H_{rms} :

$$S = 1 - \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (\xi_{cal,k} - \xi_{obs,k})^2}{\sum_{k=1}^N (\xi_{obs})^2}} \quad (8)$$

Quando $S=1$, há concordância entre os dados calculados e os experimentais. Se $S=0$, o erro é tão grande como a raiz quadrada média dos valores obtidos. O valor da aptidão foi calculado para cada condição e para as três equações, listando-se os resultados na

Tabela II. Nota-se que a equação (3) conduziu aos melhores resultados no caso de ondas regulares (condições A, B e C). No caso de ondas irregulares, a equação (1) é a que apresenta o melhor acordo. Repare-se que se não inclui o termo corretivo da

equação (3) sugerido por Nielsen (2009), a equação (2) conduz a resultados piores comparativamente aos da equação (1).

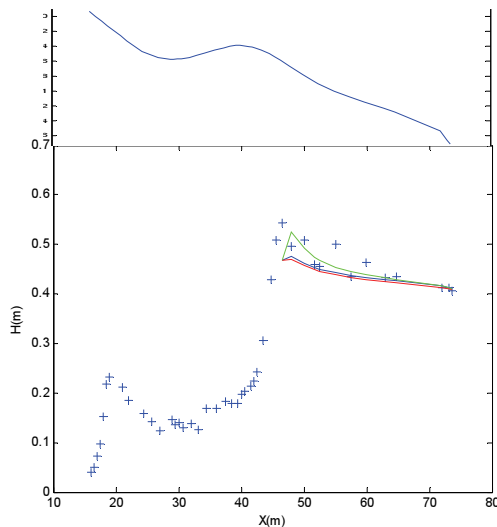


Figura 1 – Perfil de fundo. Condição C – estimativa do empolamento. Linha azul – equação (1); linha vermelha – equação (2); linha verde – equação (3). Símbolo – H_{rms}

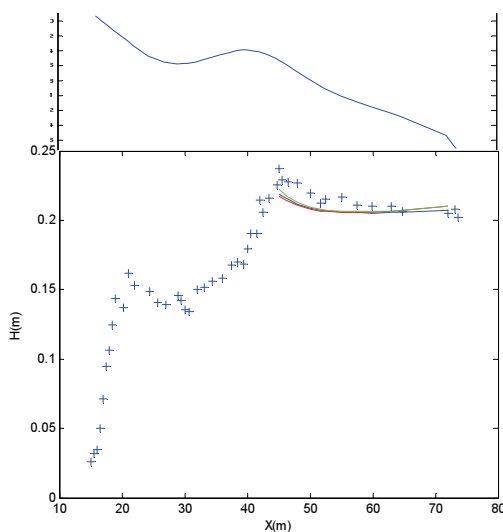


Figura 2 – Perfil de fundo. Condição D – estimativa do empolamento. Linha azul – equação (1); linha vermelha – equação (2); linha verde – equação (3). Símbolo – H_{rms}

Tabela II – Valor da aptidão S para cada condição e equação

	A	B	C	D
Eq. (1)	0.9243	0.8506	0.9319	0.9165
Eq. (2)	0.9134	0.8504	0.9277	0.9146
Eq. (3)	0.95	0.91	0.94	0.90

3.2. Rebentação

A determinação do local de rebentação foi feita pela intersecção da altura da onda com a altura de

rebentação estimada a partir da equação (4). A Figura 3 representa os valores de H e de H_b para a condição C. No ponto do gráfico onde se verifica a condição $H_b < H$, assume-se que ocorre a rebentação da onda.

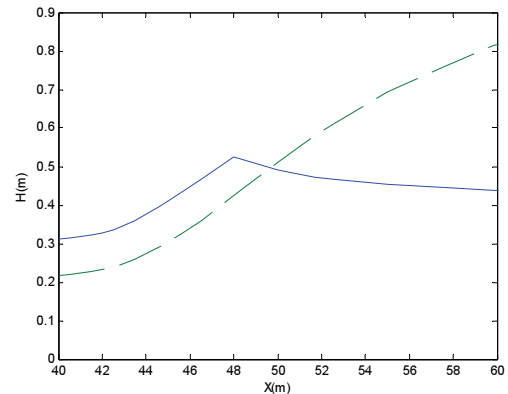


Figura 3 – Condição C – local de rebentação, intersecção entre a altura da onda, H (traço contínuo) e a altura de rebentação, H_b (traço tracejado).

Segundo as observações das imagens do vídeo sobre o local de rebentação das ondas, estas rebentam em $x=40.5m$; $x=42m$; $x=46.5m$; $x=45m$, para as condições A, B, C e D, respetivamente. O ponto do gráfico onde se verifica a condição $H_b < H$, ocorre para $x=41.5m$; $x=43.5m$; $x=48m$ nas condições A, B e C, respetivamente, diferindo em relação aos observados cerca de 1 a 1,5m. Para a condição D, não foi possível determinar o local de rebentação, pois as duas curvas não se intersectaram.

3.3. Dissipação

As Figuras 4 e 5 representam as distribuições espaciais do fluxo de energia da onda e da dissipação após o ponto de rebentação observado pelas imagens de vídeo para as condições C e D.

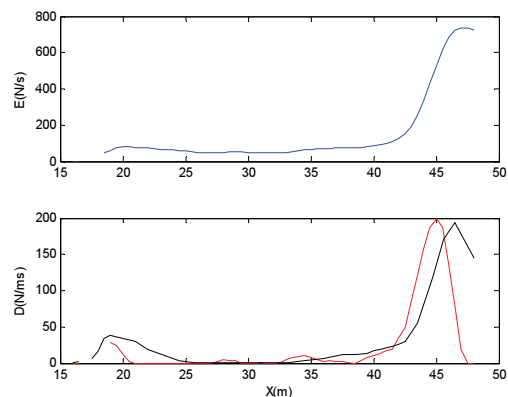


Figura 4 – Condição C – Fluxo de energia da onda. Dissipação. Linha vermelha – equação (6); linha preta – equação (8).

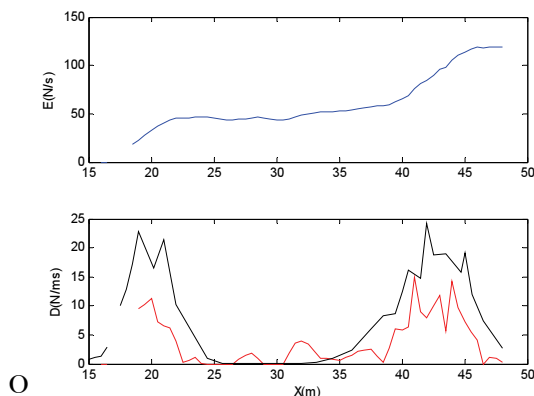


Figura 4 – Condição D– Fluxo de energia da onda. Dissipação. Linha vermelha – equação (6); linha preta – equação (8).

fluxo de energia, calculado pela equação (6) foi filtrado, de modo a alisar pequenas oscilações, com uma média corrida de 5 pontos. No gráfico da dissipação estão representadas as diferenças do fluxo de energia representado no gráfico acima, e a dissipação calculada pela equação (7). Observa-se um ajuste razoável entre as equações (6) e (7) no que respeita à variação espacial da dissipação de energia e à sua magnitude. Assinala-se contudo que na condição D, a equação (7) sobrestima os valores da dissipação por um fator de 2. Um melhor ajuste poderia ser obtido pela consideração de um valor do parâmetro α diferente da unidade.

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho é testada a validade de um conjunto de expressões concernentes ao coeficiente de empolamento, rebentação e dissipação da onda. Os resultados foram validados com um conjunto de dados provenientes de um trabalho experimental efetuado no canal de ondas da Universidade Politécnica da Catalunha para um perfil de praia do tipo barra-fossa.

A acuidade das estimativas do coeficiente de empolamento foi quantificada através de um parâmetro de aptidão (*Skill*) que permitiu avaliar a performance de três formulações. O conjunto de resultados sugere que da equação (3) resulta a melhor concordância entre os resultados experimentais e calculados, pois é a equação que, na generalidade, toma valores da aptidão mais elevados (excetua-se a condição D).

Relativamente ao local de rebentação, comparando as observações das imagens do vídeo com as verificadas de acordo com a condição $H_b < H$, obtém-se uma determinação do local de rebentação razoavelmente próxima da observada no ensaio. Salvaguarda-se a condição D para a qual não foi possível determinar o local de rebentação.

De acordo com os gráficos obtidos para a dissipação de energia, há concordância entre o fluxo de energia da onda e a sua dissipação obtida pelas equações (6)

e (7). Nota-se, contudo, que os valores referentes à equação (7) apresentam alguns desajustes em relação à equação (6), mas a variação espacial obtida por ambas as equações exibe uma forma muito semelhante, quer para ondas regulares, quer para agitação irregular.

Agradecimentos

Este trabalho foi elaborado no âmbito do projeto PTDC/CTE-GIX/111230/2009 (EROS) financiado pela Fundação para Ciência e a Tecnologia (FCT).

REFERÊNCIAS

- Baldock, T.E., Holmes, P., Bunker, S., Van Weert, P. (1998). Cross-shore hydrodynamics within an unsaturated surf zone. *Coastal Engineering*, 34, 173-196.
- Battjes, J.A., Janssen, J.P.F.M. (1978). Energy loss and set-up due to breaking random waves. *Proc. 16th Int. Conf. Coastal Engng.*, ASCE, Hamburg, 1, 466-480.
- Nielsen, P. (2009). *Coastal and Estuarine Processes*. Advanced Series on Ocean Engineering, 29. World Scientific, 360 pp..
- Ruessink, B.G., Walstra D.J.R., Southgate, H.N. (2003). Calibration and verification of a parametric wave model on barred beaches. *Coastal Engineering*, 3, 139-149.
- Sancho, F.E., Mendes, P.A., Carmo, J.A., Neves, M.G., Tomasicchio, G.R., Archetti, R., Damiani, L., Mossa, M., Rinaldi, A., Gironella, X., Sanchez-Arcilla, A. (2001). Wave hydrodynamics over a barred beach. *Proc. 4th Int. Symp. on Ocean Wave Measurement and Analysis - Waves 2001*, S. Francisco, ASCE, 1170-1179.

Efeito das alterações climáticas no regime de agitação marítima no Atlântico Norte e costa portuguesa

N.A. Ribeiro (1), A.B. Fortunato (1) e A.C. Rocha (2)

(1) Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil, nº 101, 1700-066 Lisboa, nrbeiro@lnec.pt

(2) Universidade de Aveiro, Campos de Santiago, 3810-193 Aveiro

Resumo: As alterações climáticas constituem uma das maiores ameaças ambientais, sociais e económicas que enfrentamos, pelo que é fundamental prever os seus efeitos. Este trabalho analisa os efeitos destas alterações no regime de agitação no Atlântico Norte, com ênfase na região de Aveiro. Efetuaram-se simulações com o modelo de ondas WW3, devidamente validado, para o clima atual (1971-2000) e para um cenário climático futuro (2071-2100). Os campos de vento provêm do modelo ECHAM5 e considerou-se o cenário A2 SRES do IPCC. Analisa-se a evolução das características das ondas entre os dois conjuntos de 30 anos. Os resultados mostram por exemplo que neste cenário, para a maior parte do Atlântico Norte, a média da altura significativa da onda irá diminuir. Na região de Aveiro, prevê-se, no inverno, uma rotação da direção média no sentido anti-horário de cerca de 3° e uma diminuição da altura significativa média na ordem dos 4%.

Palavras chave: Ondas, Alterações climáticas, Modelação climática, WW3, ECHAM, Atlântico Norte

1. INTRODUÇÃO

As alterações climáticas poderão afetar a dinâmica da atmosfera, alterando o regime de ventos. Por sua vez, estas alterações afetarão o regime de agitação marítima, o que terá implicações na gestão e proteção costeira assim como na exploração e produção da energia das ondas.

Diversos estudos têm sido realizados com recurso a dados do passado, quer de boias (Quadrio e Taborda, 2010), quer de modelos de agitação (Dodet et al., 2010, Bruneau et al., 2011). Outros estudos recorrem a modelos climáticos (Andrade et al, 2007, Charles et al, 2012). Ambas as abordagens indicam que não existirão alterações significativas na altura das ondas.

Este artigo apresenta um estudo, baseado em modelos climáticos, do efeito das alterações climáticas na agitação para o Atlântico Nordeste e costa portuguesa, com ênfase na região de Aveiro.

2. METODOLOGIA

As simulações dos regimes de agitação marítima, para a situação de referência e para o cenário futuro, foram geradas com recurso a um modelo de ondas forçado por campos de vento provenientes de modelos climáticos. Como as simulações forçadas por modelos climáticos não são diretamente comparáveis com as observações, utilizaram-se campos de vento provenientes de reanálises para calibrar o modelo de ondas para a costa Portuguesa. Efetuaram-se várias simulações, variando diversos parâmetros do modelo, e escolheu-se aquela que revelou melhores resultados. Com base na parametrização escolhida, efetuaram-se várias corridas, desta vez forçadas com campos de vento provenientes do modelo climático, para a situação de

referência. Alterou-se o valor de vários parâmetros que controlam a interação oceano-atmosfera. De seguida escolheu-se a que melhor representava o regime de agitação atual, através da comparação dos seus resultados com os obtidos na simulação com o vento das reanálises. Esta mesma parametrização foi utilizada para simular o cenário futuro.

3. MODELO DE ONDAS E DADOS DE VENTO

3.1 Modelo de ondas

Os campos de ondas foram gerados com a versão 3.14 do modelo espectral de ondas de terceira geração WAVEWATCH III (Tolman, 2009), desenvolvido no NCEP/NOAA. O domínio utilizado cobre o Atlântico Norte, de 0° a 70°N em latitude e de 0° a 80°W em longitude, com uma resolução de 0.5° (Fig. 1). O espectro de ondas foi dividido em 24 direções e 25 frequências e utilizou-se um passo de cálculo de 15 minutos (Dodet et al, 2010). A batimetria foi gerada a partir da topografia global do fundo do mar gerada a partir de dados de satélite e sondagens de Smith and Sandwell (1997).

3.2 Campos de vento

As simulações da situação atual (1971-2000) foram forçadas com campos de vento provenientes das reanálises do NCEP. As simulações da situação de referência (1971 a 2000) e do cenário futuro (2071 a 2100) foram forçadas com campos de vento do modelo ECHAM5, desenvolvido no Max Planck Institute (Alemanha), considerando o cenário SRES A2 do IPCC. Ambos os campos de vento são referentes a 10 metros, têm uma resolução espacial de 1.875° e uma resolução temporal de 6 horas.

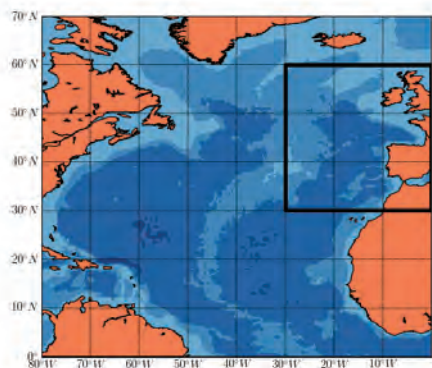


Fig. 1 – Domínio do modelo e batimetria utilizada. A caixa preta representa a zona de estudo.

3.3 Validação do modelo

O modelo foi calibrado e validado, para a situação atual, através de simulações forçadas com campos de vento das reanálise do NCEP e comparadas com dados de parâmetros médios das ondas referentes às boias de Leixões, Figueira da Foz e Sines, para os anos de 1993 a 1995. Diferentes combinações de valores dos parâmetros foram utilizadas. A Fig. 2 compara as alturas significativas da onda observada e simulada na boia de Leixões. Os resultados mostram uma boa concordância entre os resultados e as observações, com um erro quadrático médio de 49 cm e um viés de 13 cm.

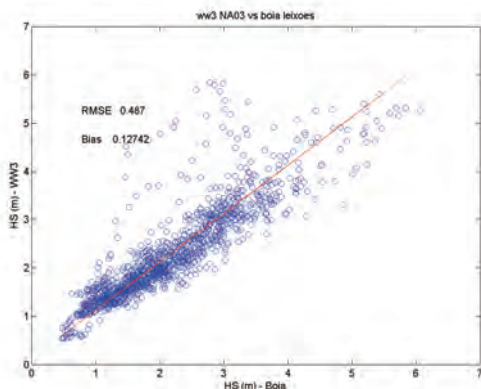


Fig. 2 – Comparação da altura significativa das ondas simuladas com as observadas

O modelo de ondas forçado pelo modelo climático foi validado através da comparação dos seus resultados com os obtidos na simulação, já calibrada e validada, da situação atual. Esta calibração baseou-se nos parâmetros da calibração do modelo para a situação atual. Variou-se o valor dos parâmetros relacionados com o acoplamento oceano-atmosfera, visto que as simulações apenas diferem no campo de vento. A Fig. 3 compara as duas simulações num ponto ao largo de Aveiro.

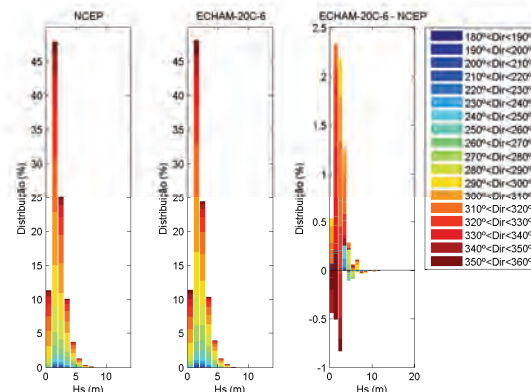


Fig. 3 – Comparação da altura significativa e direção média das ondas simuladas com vento das reanálise e do modelo climático

Os resultados revelam uma grande concordância entre a distribuição das alturas significativas e das direções médias das ondas para o período de 1971 a 2000 (Fig. 3). Fica assim garantida a boa calibração do WW3 para os campos de vento do ECHAM5.

4. RESULTADOS

4.1 Altura significativa da onda

Na costa oeste portuguesa, no inverno, a média da altura significativa para o período de referência está entre 2 e 2.5 m (Fig. 4). As simulações indicam que esta diminuirá entre 3 e 4% (Fig. 5). Nas restantes estações do ano, com exceção do Verão, onde existe um aumento na zona sul da costa oeste, também se prevê uma diminuição. A costa de Aveiro, no inverno, terá uma diminuição da média da altura significativa na ordem dos 4% (Fig. 5) e uma diminuição do percentil 95 na ordem dos 5% (Fig. 7). Os meses de primavera são os que apresentam uma maior diminuição que atinge 10% para a média e 9% para o percentil 95.

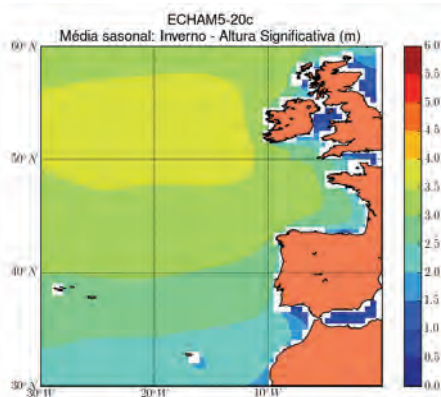


Fig. 4 – Média da altura significativa das ondas (m) no inverno para a situação de referência.

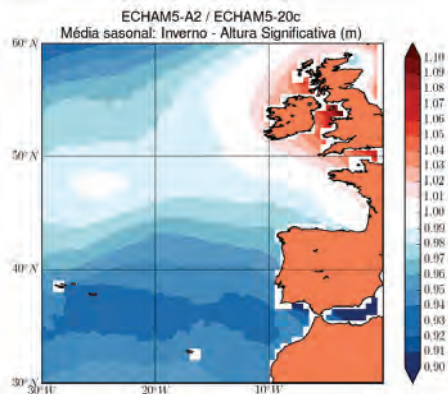


Fig. 5 – Razão entre as médias da altura significativa das ondas no inverno do cenário futuro e da situação de referência.

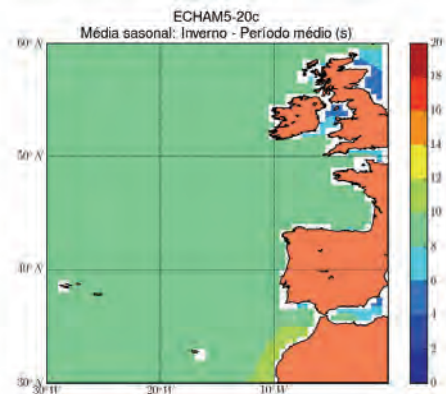


Fig. 8 – Média do período de pico das ondas(s) no inverno para a situação de referência.

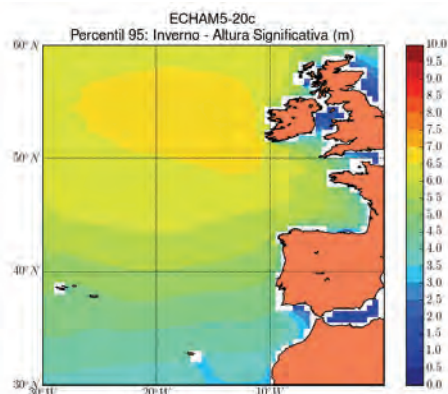


Fig. 6 – Percentil 95 da altura significativa das ondas (m) no inverno para a situação de referência.

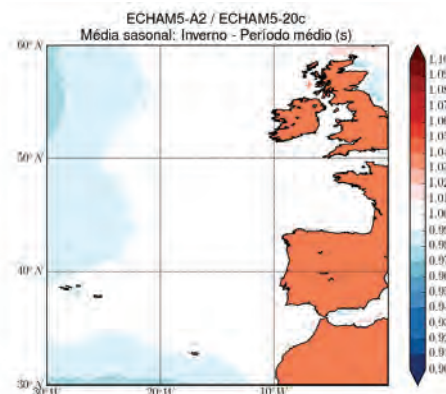


Fig. 9 – Razão entre as médias do período de pico das ondas no inverno do cenário futuro e da situação de referência.

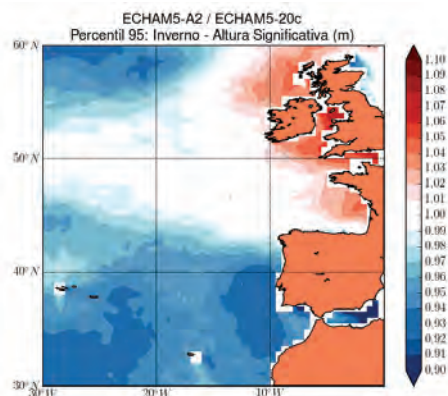


Fig. 7 – Razão entre os percentis 95 da altura significativa das ondas no inverno do cenário futuro e da situação de referência.

4.2 Período de pico

O período de pico na costa oeste portuguesa não se deverá alterar no inverno (Fig. 9), e deverá diminuir entre 1% a 5% nas restantes estações do ano. Na região de Aveiro ocorrerá uma diminuição de 4% na primavera e no verão, e de 1% no outono.

4.3 Direção média das ondas

No inverno, a zona sul da costa oeste portuguesa não terá rotação da média da direção média. A zona norte desta costa terá uma rotação no sentido anti-horário que poderá chegar aos 3° (Fig. 11). Nos restantes meses do ano a rotação será no sentido horário, atingindo os 4°. Na região de Aveiro o cenário futuro sugere uma rotação no sentido anti-horário de 3° no inverno e uma rotação no sentido horário de 2,0°, 0,6° e de 2,4° na primavera, verão e outono respetivamente.

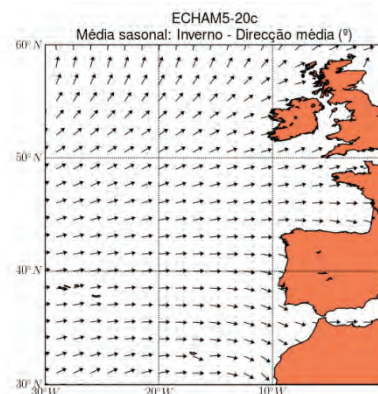


Fig. 10 – Média da direção média das ondas no inverno para a situação de referência.

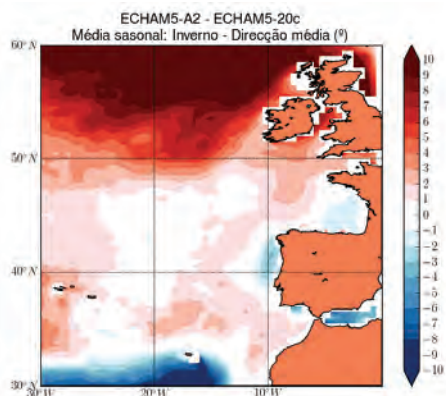


Fig. 11 – Diferença entre as médias da direção média (°) das ondas no inverno do cenário futuro e da situação de referência. Valores positivos representam rotação no sentido horário e valores negativos no sentido anti-horário.

4.4 Potência das ondas

A média da potência das ondas que atinge a costa oeste portuguesa, no período de referência, está entre 40 e 60 kW/m (Fig. 12). O cenário futuro sugere uma diminuição entre 10 a 12 % (Fig. 13). Em Aveiro esta diminuição será na ordem dos 12%.

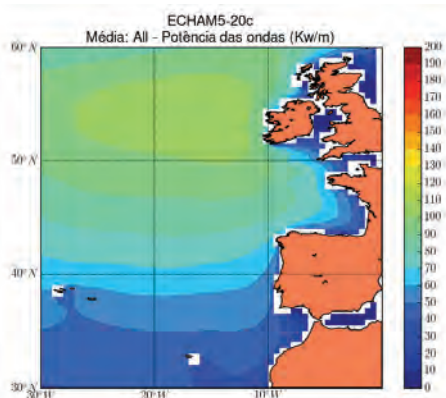


Fig. 12 – Média da potência das ondas (kW/m) para a situação de referência.

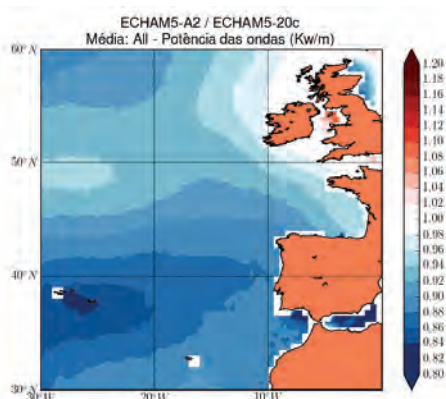


Fig. 13 – Razão entre as médias da potência das ondas do cenário futuro e da situação de referência.

5. CONCLUSÕES

O modelo WW3 foi calibrado e usado para simular duas séries de 30 anos, referentes às três últimas décadas dos séculos 20 e 21. Estas simulações sugerem que o regime de agitação sofrerá alterações significativas. A média da altura significativa das ondas deverá diminuir e como consequência a potência das ondas também deverá diminuir. Existirá também rotação da direção média das ondas. Estas alterações poderão ter efeitos assinaláveis na morfodinâmica da costa portuguesa e na exploração da energia das ondas. Estas alterações são baseadas no cenário SRES A2 do IPCC. Este cenário é um dos mais extremos, pelo que estes resultados devem ser vistos como um cenário pessimista.

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado no âmbito do projecto “ADAPTARia: Modelação das Alterações Climáticas no Litoral da Ria de Aveiro - Estratégias de Adaptação para Cheias Costeiras e Fluviais.”, financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (PTDC/AAC-CLI/100953/2008).

REFERÊNCIAS

- Andrade C., Pires O., Taborda R., Freitas M. C. (2007). Projecting future changes in wave climate and coastal response in Portugal by the end of the 21st century. *Journal of Coastal Research*, 50:263-267.
- Bruneau N., Fortunato A.B., Dodet, G., Freire P., Oliveira A. and Bertin X. (2011). Future evolution of a tidal inlet due to changes in wave climate, sea level and lagoon morphology (Óbidos Lagoon, Portugal). *Continental Shelf Research*, 18/15: 1915-1930.
- Charles, E., Idier, D., Delecluse, P., Déqué, M., Le Cozannet, G. (2012). Climate change impact on waves in the Bay of Biscay, France. *Ocean Dynamics*, DOI: 10.1007/s10236-012-0534-8.
- Dodet, G., Bertin, X., Taborda, R. (2010). Wave climate variability in the North-East Atlantic Ocean over the last six decades. *Ocean Modeling*, 31 (3-4), 120-131.
- Quadrio, A. and Taborda, R. (2010). Chapter 9 - Portuguese Western Coast, in Ferreira, O., Vousdoukas, M. and Ciavola, P. (Eds.), Review of climate change impact on storm occurrence - Micore Project Deliverable 202798, pp. 71-78.
- Tolman, H. L. (2009). User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 3.14.
- NOAA/NWS/NCEP/MMAB Technical Note 276, 194 pp.

Comportamento de navios no interior de portos sujeitos à acção das ondas

L. Pinheiro (1), J. Santos (2) e C. Fortes (1)

- (1) Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas, Departamento de Hidráulica e Ambiente, LNEC. lpinheiro@lnecc.pt
 (2) Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

Resumo: Nesta comunicação descreve-se um procedimento para avaliação das forças exercidas pela agitação marítima incidente num navio colocado no interior de uma bacia abrigada.

O procedimento referido resolve o problema da difracção das ondas com base nos potenciais das ondas radiadas pelos movimentos do navio e no potencial da onda incidente na posição do navio quando ele lá não está. Este último potencial contém toda a informação relativa à propagação das ondas no interior da bacia abrigada. Deste modo e utilizando as relações de Haskind é possível calcular as forças de excitação no navio devidas às ondas nele incidentes. Trata-se de uma abordagem promissora pois evita a resolução directa do problema de difracção, o que implicaria a discretização da totalidade da fronteira da bacia portuária.

Os resultados apresentados nesta comunicação foram obtidos utilizando o potencial da onda incidente fornecido pelo modelo DREAMS, baseado na versão elíptica da equação de declive suave, e o potencial de radiação fornecido pelo modelo WAMIT, que simula o comportamento de corpos flutuantes isolados.

Palavras chave: comportamento de navios, portos, propagação de ondas.

1. INTRODUÇÃO

A agitação marítima pode perturbar as actividades de carga e descarga de navios bem como causar problemas significativos nas infra-estruturas portuárias e nas embarcações presentes no interior de um porto. A previsão e correcta caracterização do campo de ondas dentro do porto, mais precisamente, ao longo das trajectórias dos navios e nos postos de acostagem permite determinar a resposta dos navios aos estados de mar neles incidentes, quer estejam atracados ou a navegar.

A acoplagem de modelos numéricos de propagação de ondas com um modelo de comportamento de navios sujeitos à acção dessas mesmas ondas permite prever condições potencialmente adversas e planear as actividades portuárias com segurança. Note-se que ferramentas numéricas deste tipo são ainda escassas e com algumas limitações.

Em geral, a interacção onda-estrutura flutuante e uma geometria teórica do porto pode ser efetuada com recurso à teoria linear. O método dos elementos de fronteira é usado para simular a influência de uma parede vertical infinita ou duas paredes verticais perpendiculares nos coeficientes hidrodinâmicos do navio, (van Oortmerssen, 1976); (Sawaragi e Kubo, 1982). No entanto, este método é impraticável se se pretender incluir a geometria exacta do porto, devido às dimensões das matrizes envolvidas. Contudo, uma correcta representação da geometria do porto é importante para se ter em conta os modos evanescentes junto ao navio e melhor descrever o campo de ondas que actua sobre ele. A abordagem que tem sido desenvolvida nos últimos anos é a de acoplar modelos distintos para resolver a propagação de ondas no porto e a interacção ondas-navio numa zona restrita junto deste. Sawaragi *et al.* (1989), por

exemplo, utilizou um modelo bidimensional de elementos de fronteira considerando a geometria exacta do porto mas com fundo plano e, junto ao navio, um modelo tridimensional. Takagi *et al.* (1993) fez o mesmo mas utilizou um modelo de *mild-slope* que incluía a variação da topografia do fundo. Mais recentemente, (Ohyama e Tsuchida, 1997) deduziram uma equação de *mild-slope* modificada que inclui os modos evanescentes podendo ser aplicada também nas proximidades do navio. (Kubo e Sakakibara, 1997) juntaram um modelo linear no domínio da frequência para o cálculo dos factores de amplificação de ondas longas no porto com o modelo do comportamento do navio amarrado. A vantagem deste método é que cada componente da onda pode ser tratada separadamente, assumindo que as ondas são lineares.

O presente trabalho apresenta os primeiros resultados da aplicação de um método para avaliar a força de excitação exercida pela agitação incidente num navio colocado no interior de uma bacia abrigada utilizando uma adaptação das relações de Haskind. Com o modelo DREAMS (Fortes, 2002) determinam-se as características da agitação marítima na posição que será ocupada pelo navio imóvel levando em conta todos os fenómenos relevantes para a propagação da onda para o interior do porto. Os potenciais correspondentes são depois combinados com os potenciais do problema de radiação. Uma vez que os potenciais deste problema podem ser obtidos considerando configurações muito simples para o conjunto navio – fronteira do porto, este é um método promissor para a resolução do problema de difracção.

Na secção 2 descreve-se sucintamente a metodologia desenvolvida. Na secção 3 é descrita a aplicação numérica. A secção 4 é a dos comentários finais.

2. INTERACÇÃO DE CORPOS FLUTUANTES COM ONDAS

2.1 Potencial de velocidades

Seja ϕ o potencial de escoamento quando o navio se move sob a ação de ondas. Da linearidade do sistema navio/ondas é possível decompô-lo na soma de vários potenciais devidos cada um deles a uma das seguintes causas, (Tuck 1970): onda incidente, ϕ_0 , onda difratada pelo navio parado, ϕ_7 , ondas geradas pelo movimento do navio em águas de outro modo paradas, segundo cada uma das seis coordenadas generalizadas ϕ_1 a ϕ_6 .

$$\phi = \text{Re} \left[\sum_{j=0}^7 \phi_j \right] \quad (1)$$

$$\phi = \left[\phi_0 + \phi_7 + \sum_{j=1}^6 -i\omega\phi_j \varepsilon_j \right] e^{-i\omega t} \quad (2)$$

onde ϕ_j é um potencial complexo estacionário e ε_j é a amplitude complexa do movimento do corpo segundo a coordenada j .

A força actuante segundo cada uma das coordenadas k vem dada por:

$$F_k = F_k^D + F_k^R \quad (3)$$

A primeira parcela da soma anterior representa a força associada ao problema de difração

$$F_k^D = i\rho\omega \int_S (\phi_0 + \phi_7) n_k e^{-i\omega t} dS \quad (4)$$

enquanto a segunda força está associada ao problema de radiação

$$F_k^R = \text{Re} \left[\sum_{j=1}^6 -\rho\omega^2 \int_S \phi_j n_k dS \varepsilon_j e^{-i\omega t} \right] \quad (5)$$

Nas expressões anteriores, S representa a superfície molhada do corpo flutuante e n_k a normal segundo a coordenada generalizada k .

2.2 Relações de Haskind

Uma generalização das componentes do vector normal à superfície do corpo permite estudar a interação de ondas monocromáticas com vários corpos alguns dos quais podem estar fixos, isto é, constituir obstáculos em torno dos quais as ondas difratam.

A solução numérica das equações, quer para um corpo apenas, quer para vários corpos, passa pela distribuição de painéis pelas fronteiras sólidas do problema, sejam elas imóveis ou flutuantes. Face ao exposto, não seria difícil estudar a interação com ondas monocromáticas de um navio no interior de um porto. Contudo, tal pode levar a um número tão grande de painéis que torna impossível a solução numérica do problema.

Embora para o problema de radiação seja uma boa aproximação considerar apenas a fronteira do porto mais próxima do navio, o que reduz

substancialmente o número de painéis a utilizar, para o problema de difração é sempre necessário levar em conta as transformações sofridas pela onda incidente na sua propagação ao longo do domínio. Utilizando a segunda igualdade de Green é possível mostrar que não é necessário determinar o potencial da onda difratada pelo corpo, ϕ_7 , para calcular as componentes da força associada ao problema de difração, equação (4).

Atendendo às condições de fronteira nas superfícies sólidas do domínio nos problemas de radiação e de difração e à igualdade anterior, a equação de definição da força associada ao problema de difração pode escrever-se da forma apresentada em Haskind 1957:

$$F_k^D = -i\rho\omega \int_S \left(\phi_0 \frac{\partial \phi_k}{\partial n} - \phi_k \frac{\partial \phi_0}{\partial n} \right) dS e^{-i\omega t} \quad (6)$$

Assim, em vez de se determinar o potencial associado ao problema da difração ϕ_D para conhecer o valor da componente segundo k da força exercida pelas ondas no navio parado, basta conhecer o potencial da onda incidente nos pontos ocupados pela superfície molhada do corpo ϕ_0 , bem como os potenciais associados ao problema de radiação para os mesmos pontos ϕ_k .

2.3 Implementação numérica

Para a resolução dos problemas de radiação e de difração no domínio da frequência, é utilizado o modelo WAMIT (Korsemeier et al. 1988), desenvolvido no Departamento de Engenharia Oceânica do *Massachusetts Institute of Technology* e que utiliza um método de painel para resolver no domínio da frequência os problemas de radiação e de difração de um corpo flutuante livre colocado numa zona de profundidade constante mas não limitada horizontalmente.

No modelo WAMIT é trivial a determinação do potencial da onda monocromática incidente e da respectiva derivada segundo a normal ao painel nos pontos da fórmula de quadratura de Gauss correspondentes à posição do navio imobilizado. Com efeito, uma vez que o navio está numa zona não limitada horizontalmente, a onda que incide na posição do navio, quando ele lá não está, é simplesmente uma onda de crista rectilínea cujo potencial e derivada segundo uma direção qualquer, têm fórmulas bem definidas.

Na implementação das relações de Haskind que se pretende realizar agora a onda monocromática incidente na posição do navio poderá já ter sido refractada ou difractada antes de chegar a esta posição. O campo correspondente a esta onda pode ser caracterizado a partir das amplitudes complexas da elevação da superfície livre, $\eta(x, y)$, e das componentes horizontais, $U_0(x, y)$ e $V_0(x, y)$ no nível de repouso, $z=0$, da velocidade do escoamento por

ela induzido. Da condição de fronteira dinâmica linearizada da superfície livre, tem-se, em $z = 0$

$$\frac{\partial \phi_0}{\partial t} = g\eta \Rightarrow \omega \phi_0 = g\eta \quad (7)$$

Assumindo válida a hipótese de declive suave, então a variação na vertical do potencial de velocidades será do tipo:

$$\phi_0(x, y, z) = \phi_0(x, y, z=0) \frac{\cosh[k(d+z)]}{\cosh kd} \quad (8)$$

Assim, conhecida a elevação da superfície livre é possível determinar o potencial $\phi_0(x, y, z)$ em qualquer cota z

$$\phi_0(x, y, z) = \frac{g}{\omega} \eta(x, y) \frac{\cosh[k(d+z)]}{\cosh kd} \quad (9)$$

A mesma hipótese de declive suave permite relacionar as amplitudes complexas das componentes horizontais da velocidade a qualquer cota com as amplitudes respectivas das mesmas componentes no nível de repouso:

$$\frac{\partial \phi_0}{\partial x} = u(x, y, z) = U_0(x, y) \frac{\cosh[k(d+z)]}{\cosh kd} \quad (10)$$

$$\frac{\partial \phi_0}{\partial y} = v(x, y, z) = V_0(x, y) \frac{\cosh[k(d+z)]}{\cosh kd} \quad (11)$$

Para se obter a amplitude complexa da componente vertical da velocidade do escoamento induzido pela onda basta derivar a equação (9) em ordem a z , resultando então

$$\frac{\partial \phi_0}{\partial z} = \frac{gk}{\omega} \eta(x, y) \frac{\sinh[k(d+z)]}{\cosh kd} \quad (12)$$

Do produto interno do vector velocidade do escoamento com a normal ao painel obtém-se a componente normal ao painel do vector velocidade ou a derivada segundo a normal ao painel do potencial do escoamento gerado pela passagem da onda.

3. VALIDAÇÃO DO MÉTODO

Modelaram-se dois casos de teste: Teste 1, navio livre sem obstáculos e Teste 2, navio livre próximo a uma parede vertical.

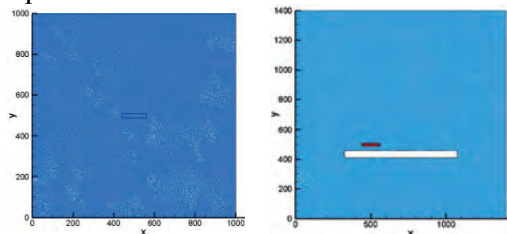


Fig. 1: Domínios de cálculo do DREAMS e localização do navio.

3.1 Caso teste 1

A superfície molhada do casco do navio foi dividida em 1200 painéis. Utilizou-se o modelo numérico WAMIT para resolver os problemas de radiação e de difração do navio livre para 64 condições de agitação distintas (16 períodos entre 4s e 300s, e quatro direções 0° , 30° , 60° e 90°)

O domínio de cálculo é quadrangular com 1000m de largura estando o navio colocado no centro do domínio. As fronteiras são abertas, pelo que não existem reflexões. A malha de elementos finitos tem 226152 nós e 113717 elementos triangulares. Com o DREAMS simularam-se as mesmas 64 condições de agitação. Na Fig. 2 apresentam-se dois exemplos da distribuição dos potenciais de velocidades no domínio. Note-se que os potenciais são grandezas complexas estando apenas representada a parte real desta variável

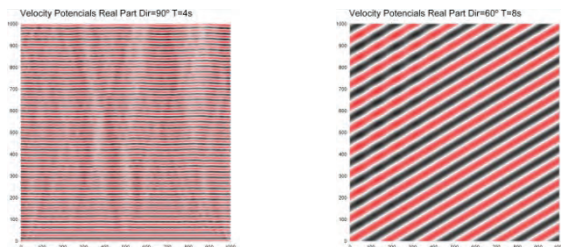


Fig. 2: Potenciais de velocidade para duas das condições de cálculo simuladas.

Utilizando os potenciais de velocidade calculados pelo modelo DREAMS e com as relações de Haskind obtemos as forças exercidas pela ação das ondas sobre o navio segundo cada um dos seis graus de liberdade. Na Fig. 3 comparam-se essas forças com as mesmas calculadas com o WAMIT pelo método de Haskind e pelo método da difração. Da análise destas figuras pode ver-se que existe uma grande concordância nos resultados e que é maior para os períodos altos: os erros relativamente ao método de Haskind original do WAMIT são da ordem de 5%.

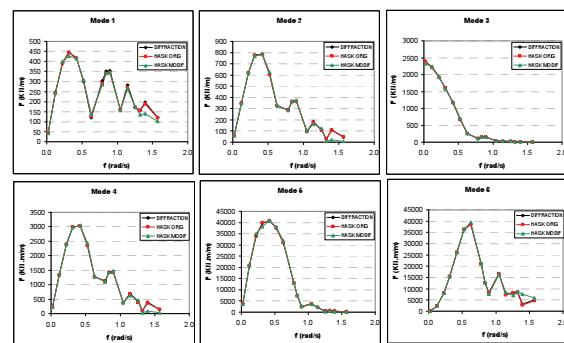


Fig. 3: Forças devidas às ondas incidentes ($\theta=30^\circ$) segundo os seis graus de liberdade do navio.

3.2 Caso teste 2

O navio livre encontra-se próximo a uma parede vertical com 750 m de comprimento, 50 m de largura e que ocupa a totalidade da coluna líquida, isto é, com uma altura de 20 m. O bordo do navio mais próximo da parede dista desta 30 m e a proa do navio dista 115 m da extremidade da parede.

A superfície molhada do casco do navio foi dividida em 1200 painéis enquanto a parede foi dividida em 1284 painéis. Utilizou-se o modelo numérico WAMIT para resolver os problemas de radiação e de

difração do navio livre para 16 períodos entre 4s e 300s, e cinco direções 0°, 30°, 60°, 90° e 270°.

Na Fig. 4 apresentam-se dois exemplos da distribuição dos potenciais de velocidades no domínio obtidos com o modelo DREAMS.

As forças exercidas pela ação das ondas sobre o navio segundo cada um dos seis graus de liberdade são calculadas da mesma forma descrita para o teste 1. Na Fig. 5 comparam-se essas forças com as mesmas calculadas com o WAMIT pelo método de Haskind e pelo método da difração.

Neste teste, com campos de potenciais de velocidade bastante mais complexos, pode ver-se que a concordância nos resultados não é tão boa quanto no primeiro teste. Por outro lado, não existe uma tendência clara de aproximação dos resultados à medida que o período aumenta, o que pode indicar que os valores de referência podem não estar correctos, talvez devido a uma discretização insuficiente do navio. No entanto os valores parecem seguir o mesmo andamento geral e estão dentro da mesma ordem de grandeza.

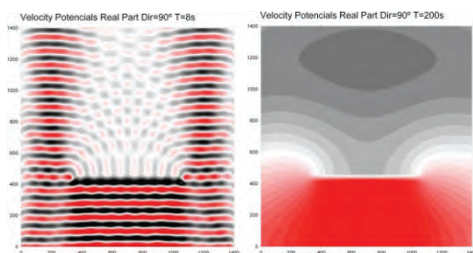


Fig. 4: Potenciais de velocidade para duas das condições de cálculo simuladas.

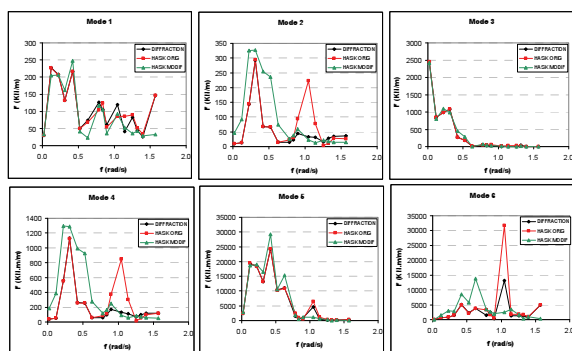


Fig. 5: Forças devidas às ondas incidentes ($\theta=30^\circ$) segundo os seis graus de liberdade do navio.

4. COMENTÁRIOS FINAIS

Descreveu-se um procedimento para avaliação das forças exercidas pela agitação marítima incidente num navio colocado numa zona abrigada. Este procedimento baseia-se nas relações de Haskind para calcular a força de excitação devida a ondas incidentes num corpo flutuante imobilizado, o chamado problema de difração.

A grande vantagem deste método é que permite ter em conta fenómenos complexos de propagação das ondas, incluindo refração, difração e reflexões e

evitando a discretização da totalidade da fronteira da bacia portuária.

Os resultados apresentados nesta comunicação foram obtidos utilizando o potencial da onda incidente na posição ocupada pelo navio fornecido pelo modelo DREAMS e o potencial do problema de radiação fornecido pelo modelo WAMIT. Verificou-se que existe uma grande concordância nos resultados e que é maior para os períodos altos como seria de esperar, no caso mais simples. No segundo teste, em que existe uma parede próxima ao navio os resultados não foram tão concordantes, no entanto os valores parecem seguir o mesmo andamento geral e estão dentro da mesma ordem de grandeza.

Estes resultados são bastante promissores e ilustram as potencialidades da abordagem proposta. Pretende-se, com desenvolvimentos futuros, substituir o modelo de propagação de ondas por um mais complexo do tipo Boussinesq e usar os resultados para simular no domínio do tempo os movimentos de navios amarrados no interior de portos.

REFERÊNCIAS

- Haskind M.D., The exciting forces and wetting of ships in waves (em russo), *Izvestia Akademii Nauk S.S.S.R, Otdelenie Tekhnicheskikh Nauk*, 7, 65-79, 1957. (existe tradução na língua inglesa: David Taylor Model Basin Translation N.º.307, March 1962).
- Korsemeier F.T., Lee C.-H., Newman J.N., Slavounos P.D. (1988) The analysis of wave effects on tension-leg platforms, *7th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, Houston, Texas, pp. 1-14.
- Oortmerssen, G. (1976) The motions of a moored ship in waves. *Neth. Ship Model Basin* 510, 138.
- Sawaragi, T., Aoki, S., Hamamoto, S. (1989) Analyses of hydrodynamic forces due to waves acting on a ship in a harbour of arbitrary geometry. In: *Proceedings. 8th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, Vol. 2, 117-123.
- Sawaragi, T., Kubo, M. (1982) The motions of a moored ship in a harbour basin. In: *Proc. 18th International Conference of Coastal Engineering ASCE*. pp. 2743-2762.
- Takagi, K., Naito, S., Hirota, K. (1993) Hydrodynamic forces acting on a floating body in a harbour of arbitrary geometry. *Proc. 3rd International Offshore and Polar Engineering Conference III*, 192-199.
- Tuck E.O., Ship motions in shallow water, *Journal of Ship Research*, 14, 317-328, 1970.

Parametrização de vaga e ondulação em espectros derivados de observações com bóias direccionais

J. P. Pinto (1), M. Costa (1) e R. Esteves (1)

(1) Instituto Hidrográfico, paulo.pinto@hidrografico.pt

Resumo: As compilações estatísticas de dados de agitação marítima são produzidas na generalidade com base em apenas três parâmetros, designadamente, a altura significativa, o período (médio ou de pico) e a direcção média (global ou de pico), mas a descrição do estado do mar com este procedimento só é aceitável se ocorrer apenas um sistema de ondas com energia significativa. Na presença de dois ou mais sistemas de ondas é indispensável estimar aqueles três parâmetros para cada sistema de modo a obter uma representação mais completa da agitação marítima.

Nesta comunicação será apresentada uma metodologia que permite extrair informação paramétrica associada a ondulação e vaga, a partir das observações adquiridas com bóia ondógrafo direccional. Este procedimento é aplicado aos dados obtidos pela estação ondógrafo de Sines, localizada ao largo de Sines, num caso concreto onde se reconhece a necessidade de tomar em consideração a ocorrência simultânea de dois sistemas de ondas distintos.

Palavras chave: agitação marítima, análise espectral, sistemas de ondas.

1. INTRODUÇÃO

A análise espectral dos dados adquiridos por bóias ondógrafo direccionais, desenvolvida originalmente por Longuet-Higgins et al. (1963), permite estimar a partir das séries temporais de elevação e declive os primeiros cinco coeficientes da expansão de Fourier do espectro direccional $S(f, \theta)$ donde se deriva o espectro de frequência $E(f)$, a direcção média $\bar{\theta}(f)$ e a dispersão direccional $\overline{\Delta\theta}(f)$. Estas funções espectrais estão na base dos métodos para a determinação dos parâmetros característicos da agitação marítima (Soares e Henriques, 1988), sendo habitualmente utilizados a altura significativa, H_m0 , o período (médio, T_{02} , ou de pico, T_P) e a direcção média (de pico, $THTP$ ou global, $MDIR$).

A altura significativa e o período médio são os parâmetros mais amplamente utilizados. Pelo facto de serem parâmetros globais, não contêm informação sobre a função espectral em cada banda de frequência e não discriminam os vários sistemas de ondas. Semelhantes limitações têm o período de pico (T_P) e a direcção de pico ($THTP$), os quais caracterizam somente o sistema de ondas com maior densidade espectral, não permitindo determinar a percentagem de energia que lhe está associada, nem identificar sistemas de ondas adicionais.

No processamento de rotina adoptado no Instituto Hidrográfico, a caracterização espectral da agitação marítima tem sido efectuada através dos descritores atrás referidos, complementados por dois parâmetros adicionais: a direcção média associada às altas frequências, $THHF$, e a direcção média associada às baixas frequências, $THLF$, as quais correspondem a períodos inferiores e superiores a 8 segundos, respectivamente. Estes dois parâmetros, destinados essencialmente a identificar os sistemas de ondas associados à ondulação e à vaga local, acrescentam

alguma informação direccional. Contudo, são ainda insuficientes para a sua caracterização.

Dadas as limitações apontadas, o procedimento que se afigura mais correcto para a caracterização de um estado de mar deverá passar pela identificação prévia de cada um dos sistemas de onda que o constituem, seguido da associação, a cada um deles, de 3 parâmetros: uma altura (ou, o que é equivalente, uma percentagem da energia total do espectro), um período e uma direcção.

Neste artigo, é proposta uma nova metodologia para a caracterização dos estados de mar, baseado nos princípios gerais descritos acima. O método proposto é aplicado aos dados adquiridos pela estação ondógrafo direccional de Sines no período 2009 a 2011.

2. MÉTODO

A metodologia proposta para identificação e caracterização dos diferentes sistemas de ondas é a seguinte:

1. Alisamento espectral – O espectro de frequência é determinado inicialmente sobre 127 bandas de frequência com uma resolução regular de 0.005 Hz . Com o objectivo de adequar a resolução das bandas de frequência às características típicas das distribuições espectrais de agitação marítima e filtrar o ruído de alta-frequência, procedeu-se à transformação do espectro por interpolação polinomial cúbica para uma distribuição logarítmica de frequências $f_{i+1} = \gamma f_i$. O novo espectro é caracterizado por 33 bandas de frequência com um limiar inferior de 0.04 Hz , tendo-se considerado $\gamma = 1.09$. Toda a análise subsequente é feita sobre o espectro de frequência alisado.

2. Determinação de máximos – São identificados os máximos relativos do espectro de frequência alisado sem qualquer tipo de restrição. De seguida, determinam-se os máximos consecutivos, isto é, máximos separados apenas por uma banda de frequência procedendo-se à sua redução por ajuste parabólico. Este ajuste altera localmente o espectro mantendo o valor do integral da densidade espectral nas três bandas de frequência em ponderação. O máximo resultante desta rectificação fica situado na banda de frequência central. Após finalizar este processo de redução identificam-se as bandas de frequência que apresentam um raio de duas bandas com valores de densidade espectral inferior. Os máximos encontrados desta forma são ordenados de acordo com o respectivo valor de densidade espectral. Finalmente é aplicado um filtro ao espectro, excepto na vizinhança dos dois principais máximos.
3. Ajuste espectral – O espectro de frequência obtido pelo procedimento 2 é representado pela sobreposição de funções analíticas de um pico, em que cada função descreve uma componente espectral distinta. As funções de ajuste adoptadas são a distribuição normal e a distribuição de Pierson-Moskowitz. O número de funções utilizadas ou componentes espectrais, que não excede o valor de três, é igual ao número de máximos determinados no ponto 2, sendo escolhida a distribuição ou combinação de distribuições que minimiza o erro de ajuste. As distribuições consideradas possuem três parâmetros; a frequência e a largura do pico e um factor multiplicativo. Os parâmetros de pico são encontrados através de ajuste condicionado. O intervalo de variação das frequências de pico é de três bandas, centrada na banda associada ao máximo calculado no ponto 2, e a largura de pico não pode exceder quinze bandas. A igualdade entre o integral do espectro de frequência e o integral da respectiva representação analítica fixa um dos parâmetros multiplicativos. Deste modo o número de parâmetros de ajuste é dois, cinco e oito para espectros de um, dois e três componentes, respectivamente.
4. Caracterização dos sistemas de ondas – É calculado, para cada componente espectral e com base na frequência de pico determinada pelo processo de ajuste, o período de pico, a direcção, a dispersão direccional e a percentagem de altura significativa. Cada componente espectral é considerada um sistema de ondas, excepto se uma das condições seguintes se verificar; Duas componentes espectrais que apresentem períodos e direcções cujas diferenças sejam inferiores a 3 segundos e

22.5°, respectivamente, são considerados pertencentes ao mesmo sistema de ondas, tomando-se neste caso a média dos parâmetros para valores representativos. Componentes espectrais com percentagens de altura significativa inferior a 10% são desprezadas.

3. APLICAÇÃO DO MÉTODO

A aplicação desta metodologia aos dados adquiridos durante 2009 a 2011 pela bóia ondógrafo de Sines mostrou que as situações de agitação marítima qualificadas por três sistemas de onda são raras, ocorrendo com uma percentagem de 1.6%. A situação mais usual, com 58.7% das ocorrências está associada a um único sistema de ondas. As restantes situações, 39.7%, são estados de mar caracterizados por dois sistemas de ondas.

A distribuição do número de sistemas de ondas é bastante sensível ao critério de separação de componentes espectrais adoptado (ponto 4), critério que pode nem sempre satisfazer o princípio geral que se pretende cumprir e que consiste em diferentes sistemas de onda estarem associados a fenómenos meteorológicos distintos. Com o objectivo de obter uma caracterização mais apurada dos sistemas de duas ondas, divide-se estas ocorrências em 3 subclasses: a classe I consiste nos eventos com duas componentes espectrais que apresentem períodos e direcções cujas diferenças são superiores a 3 segundos e 22.5°, respectivamente. A classe II consiste nos eventos com duas componentes espectrais que apresentem uma diferença nos períodos inferior a 3 segundos e uma diferença na direcção superior a 22.5°. A classe III consiste nos eventos com duas componentes espectrais que apresentem uma diferença nos períodos superior a 3 segundos e uma diferença na direcção inferior a 22.5°. De forma simples, a classe I caracteriza-se por períodos e direcções diferentes, a classe II por direcções diferentes e períodos próximos e a classe III por períodos diferentes e direcções próximas.

As médias sazonais dos parâmetros de agitação marítima associadas a estados de mar caracterizados por um sistema de onda são, durante o regime de inverno, $H_m0 = 2.2$ m, $TP = 11.5$ s e $THTP = 296^\circ$, enquanto no regime de verão se tem $H_m0 = 1.4$ m, $TP = 9.2$ s e $THTP = 303^\circ$. Estes eventos, que estão associados a ondulação com origem em áreas de geração a NW, configuram os estados de mar mais comuns na nossa costa. Os episódios com vaga local expressiva, sobreposta à ondulação de NW, assim como os estados de mar de W e SW, são em geral caracterizados por espectros com dois sistemas de ondas.

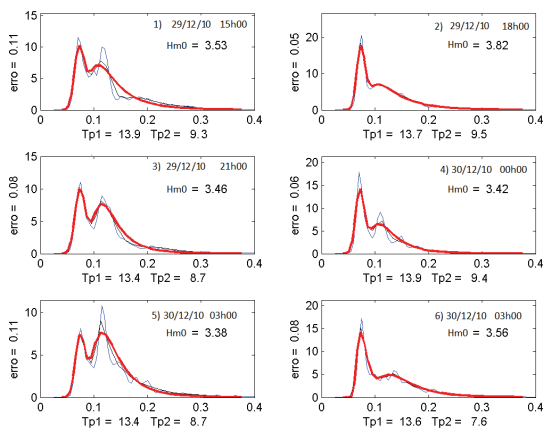


Fig. 1 – Ajuste espectral de acordo com o método proposto para um episódio caracterizado por dois sistemas de ondas. A linha azul representa o espectro de frequência original definido sobre 127 bandas, a linha a preto o espectro de frequência alisado e linha a vermelho o espectro de frequência ajustado. Saliente-se que o ajuste é feito sobre o espectro alisado.

A Figura 1 ilustra uma sequência de espectros com duas componentes claramente distintas, onde se pode verificar que a metodologia proposta de alisamento e ajuste consegue captar razoavelmente as propriedades mais relevantes contidas no espectro original, nomeadamente, o número de componentes espectrais e as respectivas posições e intensidades dos picos. Esta sequência está associada a um episódio alteroso que ocorreu nos dias 29 e 30 de Dezembro de 2010, caracterizado por uma componente de ondulação proveniente do sector WNW sobreposta a vaga de SW, enquadrando-se nos eventos de classe I. Observa-se que a distribuição de energia pelas duas componentes espectrais varia ao longo do episódio, mas apesar do pico de ondulação ter uma densidade espectral superior é a vaga que em geral possui a maior percentagem energética. Para este evento, a caracterização espectral baseada apenas nos parâmetros de pico dominante é insuficiente e incorrecta. De facto, com essa metodologia a componente onde a maior parte da energia se encontra é negligenciada pois apenas se teria em consideração o pico com maior densidade espectral que, com a excepção do quinto espectro, seria o pico associado à ondulação.

A tabela I apresenta, para cada classe, os valores médios sazonais dos parâmetros de agitação marítima para eventos caracterizados por dois sistemas de onda, nomeadamente, a percentagem de energia (H1), o período de pico (TP1) e a direcção de pico (TH1) associados à componente espectral de maior período, a percentagem de energia (H2), o período de pico (TP2) e a direcção de pico (TH2) associados à componente espectral de menor período e a altura significativa (Hm0).

Tabela I – Médias sazonais e respectivos desvios padrão da altura significativa e dos parâmetros de pico para eventos agrupados nas classes de dois sistemas de onda.

	Classe I (23.8%)		Classe II (4.2%)		Classe III (72.0%)	
	Inverno (63%)	Verão (37%)	Inverno (58%)	Verão (42%)	Inverno (36%)	Verão (64%)
Hm0(m)	1.8±1.1	1.2±0.5	2.1±1.1	1.1±0.4	2.2±1.2	1.3±0.4
H1	0.47	0.44	0.48	0.43	0.48	0.48
H2	0.53	0.56	0.52	0.57	0.52	0.52
TP1 (s)	12.3±2.2	11.0±1.9	10.2±2.1	8.9±1.6	13.6±2.6	10.9±2.1
TP2 (s)	6.4±1.9	5.6±1.6	7.7±1.9	6.5±1.4	8.8±2.5	6.1±1.7
TH1 (°)	290±24	290±22	278±26	287±17	300±12	302±11
TH2 (°)	242±66	279±39	250±38	268±37	298±15	303±11

Os resultados mostram que, independentemente da classe a que pertencem, a percentagem energética de cada um dos sistemas de onda é estatisticamente semelhante, com uma ligeira predominância da componente espectral de alta-frequência. Deste modo, a vaga local é um elemento preponderante nos eventos caracterizados por dois sistemas de onda registados na bóia de Sines.

Os eventos de classe I encontram-se com maior frequência em regime de inverno e, de acordo com os valores médios de período e direcção de pico apresentados na tabela I, estão associados a episódios de ondulação de WNW com vaga de WSW. Apesar de estes formarem apenas 9.5% do total de eventos considerados, configuram um estado de mar de dois sistemas de onda independentes e distintos. As direcções das componentes espectrais dos eventos de classe II, tipicamente do quadrante oeste, são similares às encontradas nos eventos de classe I, existindo episódios cujas ocorrências se podem encontrar em ambas as classes. O período de ondulação nesta classe é inferior ao que se observa na classe I, especialmente no verão, indiciando que a ondulação nos eventos de classe II está associada a áreas de geração de W mais próximas. A classe III enquadra as ocorrências mais frequentes com dois sistemas de onda, com características distintas dos eventos associados às restantes classes. As direcções das componentes de ondulação e vaga são ambas provenientes do sector NW. No inverno, estas condições resultam de ondulação gerada por circulação depressionária a latitudes elevadas com vaga associada a ventos locais de N e NW, enquanto no Verão decorrem do regime típico de Nortada.

Os eventos caracterizados por três sistemas de ondas ocorrem associados a episódios transientes de curta permanência, nunca excedendo a duração de doze horas, distribuindo-se com igual frequência no inverno e no verão. Os valores médios de altura significativa são Hm0 = 1.1 m e Hm0 = 1.0 m, para os regimes de inverno e verão, respectivamente. Os valores médios de período de pico em regime de inverno são TP1 = 13.8 s, TP2 = 8.3 s e TP3 = 4.4 s,

enquanto no verão se tem $TP1 = 13.5$ s, $TP2 = 8.7$ s e $TP3 = 4.6$ s. Os resultados mostram que estes eventos se caracterizam por valores de altura significativa abaixo da média e pela sobreposição de uma componente de ondulação formada em áreas de geração afastada com duas componentes de geração mais próxima, uma delas nitidamente vaga local.

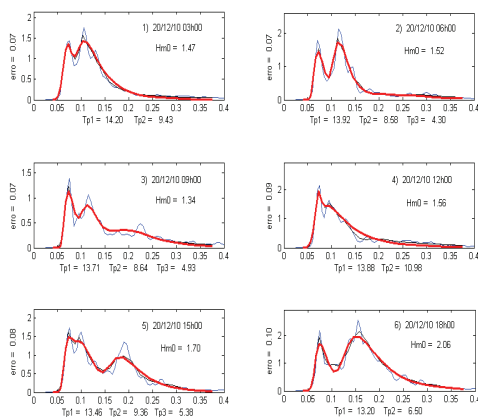


Fig. 2 – Exemplo de uma sequência onde se destacam alguns eventos com três componentes espectrais (eventos 2,3 e 5)

A Figura 2 apresenta um exemplo de um episódio onde se destacam eventos com três sistemas de ondas. O pico de maior período, que se encontra associado a ondulação de NW, mantém-se estável ao longo de todo o episódio. A componente espectral com período intermédio apresenta uma maior variabilidade acabando por se justapor ao primeiro sistema de onda. Os valores do período de pico associado a este sistema oscilam de forma significativa, começando por decrescer ligeiramente para voltar a aumentar de forma acentuada e a direcção, que inicialmente é de SW, vai rodando para NW. O terceiro sistema de onda está associado a vaga local de SW em desenvolvimento. A percentagem energética desta componente cresce ao longo do episódio acabando por se tornar no sistema de onda mais relevante.

4. CONCLUSÕES

Um método para discriminar e caracterizar diferentes sistemas de onda foi apresentado. Dados espectrais adquiridos através da bóia ondógrafo de Sines durante 2009 a 2011 serviram para testar a eficácia e plausibilidade do método.

O valor médio do erro de ajuste é 7% com um desvio padrão de 3%, donde se conclui que uma representação analítica dada pela combinação de componentes espectrais descreve de forma satisfatória uma percentagem significativa dos espectros considerados.

Os resultados indiciam que os eventos mais frequentes são razoavelmente descritos por apenas um sistema de onda, sendo suficiente o

procedimento baseado em parâmetros médios ou de pico dominante para a caracterização do estado do mar. No entanto uma parte expressiva das ocorrências, aproximadamente 40% para a amostra analisada, está associada a estados de mar caracterizados por dois sistemas de ondas. Nestes casos, uma representação da agitação marítima com base no procedimento acima referido é nitidamente deficiente, sendo necessário apresentar a percentagem energética e os parâmetros de pico, período e direcção, associados a cada componente espectral.

REFERÊNCIAS

- Longuet-Higgins, M.S., D.E. Cartwright, and N.D. Smith, (1963). Observations of the directional spectrum of sea waves using the motion of a floating buoy. *Ocean Wave Spectra*, Prentice-Hall, pp. 111-136
- Soares, C. Guedes, A.C. Henriques (1988). Fitting a double-peak spectral model to measured wave spectra. *Proceedings of the 17th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, ASME, NY, USA, Paper OMAE98-1491.

Caracterização da sobrelevação meteorológica em Cascais nos últimos 50 anos

R. Vieira (1), C. Antunes (2) e R. Taborda (2)

(1) Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa; avieira@fc.ul.pt.

(2) IDL – Universidade de Lisboa

Resumo: A contribuição dos processos físicos de origem atmosférica que provocam uma alteração no nível do mar relativamente à maré astronómica é designada por sobrelevação meteorológica (SM). Neste trabalho foi analisado o registo horário da maré de Cascais entre 1960 e 2010 e caracterizado a SM ao nível da frequência e da amplitude. A análise do período de retorno dos extremos de SM foi realizada através da distribuição de Gumbel simples. Os resultados obtidos evidenciam uma ligeira tendência de aumento, quer relativamente à amplitude máxima quer à frequência de SM. Estes resultados, isentos do efeito da subida do NMM e das variações inter-anuais, estão de acordo com os obtidos em estudos anteriores realizados em Portugal e noutros países. Contudo, uma vez que este estudo incide sobre um período mais alargado de dados, os resultados aqui apresentados evidenciam, em relação aos trabalhos anteriores, períodos de retorno mais curtos para os mesmos valores de SM extrema.

Palavras chave: sobrelevação meteorológica, marégrafo de cascais, períodos de retorno, Gumbel simples

1. INTRODUÇÃO

A sobrelevação meteorológica (SM) corresponde à contribuição dos processos físicos de origem atmosférica que provocam uma alteração no nível médio do mar (NMM) relativamente ao nível previsto. Esta grandeza é calculada através da diferença entre a maré observada e a maré astronómica, reconstituída pela análise harmónica dos registos de maré disponíveis.

Quando a ocorrência de um episódio de SM positivo coincide com a preia-mar de águas vivas pode originar episódios extremos de inundações das zonas costeiras cuja magnitude depende das especificidades geográficas de cada região (Gaslikova *et al.*, 2011; Troccoli *et al.*, 2011; Hallegatte *et al.*, 2011; Dasgupta *et al.*, 2011; Shepard *et al.*, 2012).

Em Portugal, segundo Andrade *et al.* (2006), a SM foi considerada, até ao início da década de 90, como um elemento forçador de importância menor, de ordem centimétrica a decimétrica, tendo o estudo pioneiro de Morais e Abecassis (1978) referido o valor de 0.53 m. Até início da década de 90 apenas alguns trabalhos incluíram estimativas deste efeito baseadas em modelos simples de “barómetro invertido” (efeito barométrico inverso) e utilizadas apenas como coeficiente de segurança na avaliação de cotas máximas alcançáveis pelas ondas em regime de temporal (Andrade *et al.*, 2006).

O primeiro estudo sistemático do fenómeno foi realizado por Taborda e Dias (1992), que caracterizaram a SM em duas tempestades, relatando a ocorrência de valores de sobrelevação superiores a 1 m, em Viana do Castelo e Aveiro, demonstrando que este valor era suficiente para potenciar e produzir importantes acções erosivas, destruição de

construções ou obras costeiras e inundações na zona litoral. Os trabalhos de Carvalho (1999) confirmaram a magnitude deste fenómeno na costa ocidental Portuguesa. Recentemente, em Andrade *et al.* (2006), foram analisados dados do marégrafo de Cascais entre 1987 e 2000, tendo chegado a um valor máximo de 0.6 m associado à passagem de depressões extensas e muito cavadas.

Este estudo teve como principal objectivo caracterizar a sobrelevação meteorológica em Cascais através da análise de uma série maregráfica com 50 anos (1960 – 2010). Esta análise permitiu não só ampliar a janela de cálculo utilizada em trabalhos anteriores mas também identificar, pela primeira vez, eventuais tendências de evolução.

2. METODOLOGIA

Neste trabalho, foram analisados todos os registos horários de SM superiores a 10 cm observados no marégrafo de Cascais entre 1960 e 2010, incluindo os dados adquiridos pelo novo marégrafo digital, a operar desde 2003. Estes registos foram caracterizados no que diz respeito à frequência e amplitude. Os registos referentes aos anos de 1963, 1970 e 2000 não foram utilizados por não haver dados ou por apresentarem lacunas superiores a 50% das observações válidas.

A maré astronómica foi obtida por análise harmónica, através de um ajustamento pelo método dos mínimos quadrados (MMQ), aplicado aos dados de registo de alturas horárias de maré, seguindo a metodologia apresentada em Antunes (2011), sem que tenham sido removidos, dos dados, qualquer efeito de forçamento atmosférico, de pressão atmosférica ou vento. Desta forma, os resíduos do ajustamento correspondem, com suficiente

exactidão, à série anual de SM. Sobre esta série de resíduos é então aplicada a metodologia de análise de SM.

Neste estudo foram consideradas para análise, a frequência relativa da SM e as amplitudes máximas para cada ano do período estudado. A frequência relativa foi calculada através da razão entre número de ocorrências de SM superiores a 10 cm e o número total de registos horários de maré desse ano.

Dado que o NMM (um parâmetro do modelo dos MMQ correspondente à harmónica de grau zero) é estimado para cada ano de dados, as estimativas da SM ficam isentas da variação do NMM e das variações inter-anuais, que se podem associar à Oscilação do Atlântico Norte (NAO). Este facto é importante pois poderá justificar diferenças, na ordem de 5-10 cm ou superior, entre os resultados das SM horárias estimadas neste estudo e as de outros estudos anteriormente realizados.

A análise do período de retorno para a frequência e amplitude máxima da SM foi efectuada utilizando a distribuição de Gumbel simples para valores extremos (Al-Mashidani *et al.* 1978). A identificação de eventuais tendências no período de retorno baseou-se na técnica de partição do intervalo de dados, designada bootstrapping (Davison e Hinkley, 1997), que consiste numa análise sucessiva com diminuição progressiva do intervalo de análise, convergindo sucessivamente para períodos mais recentes, i.e., foram analisados diferentes períodos de retorno através do método de Gumbel para os intervalos sucessivos de 1960-2010, 1970-2010, 1980-2010 e 1990-2010.

3. RESULTADOS

3.1. Frequência dos eventos de sobrelevação meteorológica

Com o objectivo de identificar eventuais tendências na frequência da SM, a série de ocorrências anuais foi filtrada através da aplicação de uma média móvel com janela de 10 anos, sobre a série de percentagem de frequência anual. Na Fig.1 apresenta-se a série de frequências anuais de SM, sobreposta da média móvel centrada (a tracejado), com período de 10 anos, e respectiva regressão linear. Os resultados indicam uma tendência de aumento da frequência de eventos de SM, muito mais evidente a partir de meados da década de 70, com uma oscilação periódica, entre os 15 e os 20 anos (curva da média móvel centrada).

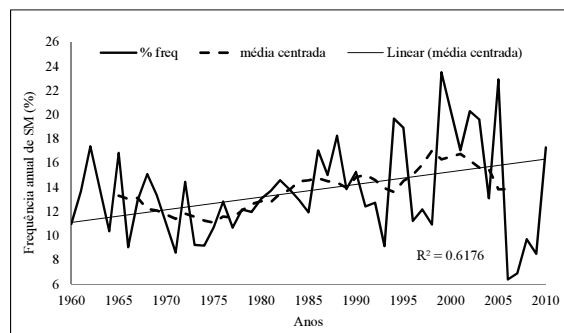


Fig. 1. Frequência anual da SM registada no período compreendido ente 1960 e 2010 em Cascais, respectiva média móvel com período de 10 anos e regressão linear.

A Tabela I apresenta a estatística da série temporal de frequências anuais de SM para o período em análise. Da sua análise, contata-se que 10% dos anos estudados têm uma frequência relativa acima do normal, superior a 19% (percentil 90). Isto significa que para um período de 50, apenas 5 anos se tem uma frequência superior a 69,4 dias (1664 horas) com SM superior a 10 cm.

Tabela I. Estatística relativa à frequência anual de SM registada no marégrafo de cascais, entre 1960 e 2010.

Parâmetro	(%)
Máximo	24 (1999)
Média	14
Mínimo	7 (2007)
Desvio-padrão	3.8
Percentil 50%	13
Percentil 90%	19
Percentil 95%	20

Os períodos de retorno para a frequência da SM calculados pelo método de Gumbel e para sucessivos períodos (*bootstrapping*), estão representados na Fig.2.

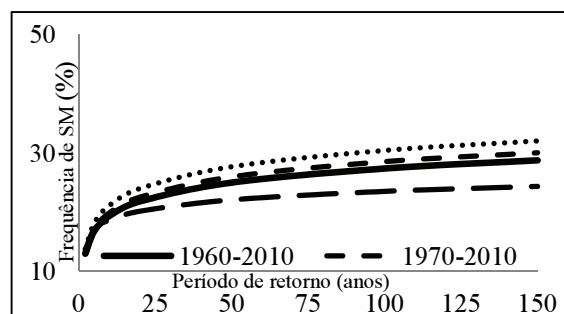


Fig. 2. Distribuição de Gumbel aplicada à percentagem de ocorrências de SM até um período de retorno de 150 anos, considerando 4 janelas temporais diferentes: 1960-2010, 1970-2010, 1980-2010 e 1990-2010.

Os resultados obtidos através da análise de *bootstrapping* estão de acordo com os obtidos através da análise da tendência até ao final da década de 1990, uma vez que analisando as janelas

temporais sucessivamente, de 1960-2010, 1970-2010 e 1980-2010, os períodos de retorno associados a frequências idênticas são progressivamente menores, ou seja, verifica-se um aumento de frequência para os mesmos períodos de retorno, á excepção do período mais recente, de 1990-2010 (curva inferior da Fig. 2). Este facto deve-se á tendência de diminuição de frequência de SM a partir de 2000, tal como se verifica no gráfico da série temporal (Fig. 1).

3.2. Amplitude máxima dos eventos de sobrelevação meteorológica

Tal como para a frequência, com o objectivo de remover as oscilações anuais, foi corrida uma média móvel para um período de 10 anos sobre a série de amplitudes máximas de SM observadas entre 1960 e 2010 (Fig.3). Identificou-se uma ligeira tendência de aumento da amplitude máxima anual de SM, com um coeficiente de determinação de 0.31. Contudo observa-se uma flutuação em torno da linha de tendência, tal como é também verificado no gráfico da frequência anual (Fig. 1), o que indicia algum mecanismo de oscilação de longo período, inter-anual/decadal.

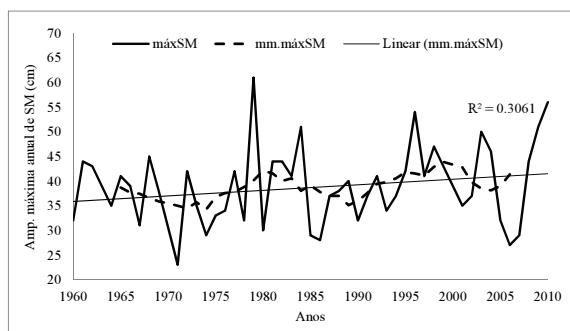


Fig. 3. Série de amplitudes máximas de SM registadas no período compreendido ente 1960 e 2010 em Cascais, respectiva média móvel com um período de 10 anos e regressão linear.

Tabela II. Estatística relativa à amplitude máxima anual de SM registada no marégrafo de cascais, entre 1960 e 2010.

Parâmetro	(cm)
Máximo	61 (1979)
Média	39
Mínimo	23 (1971)
Desvio-padrão	8.0
Percentil 50%	39
Percentil 90%	50
Percentil 95%	53

Da análise da Tabela II contata-se que 10% dos anos estudados têm apresentam uma amplitude máxima acima do normal, superior a 50 cm (percentil 90).

A análise do período de retorno para a amplitude máxima de SM foi feita de forma semelhante á análise de frequência de SM, recorrendo á

distribuição de Gumbel simples para valores extremos e á análise de *bootstrapping*. Os resultados obtidos estão representados na Fig.4 e são equivalentes aos da frequência, verificando-se amplitudes máximas sucessivamente mais elevadas, para os mesmos períodos de retorno, quando analisadas apenas as 3 últimas décadas.

Através da análise de *bootstrapping* sobre a amplitude máxima de SM, e á semelhança do que se observa para as frequências, embora menos evidente, também se pode concluir que períodos de dados mais curtos e mais recentes indicam amplitudes mais elevadas para o mesmo período de retorno, o que equivale a períodos de retorno mais curtos para as mesmas amplitudes.

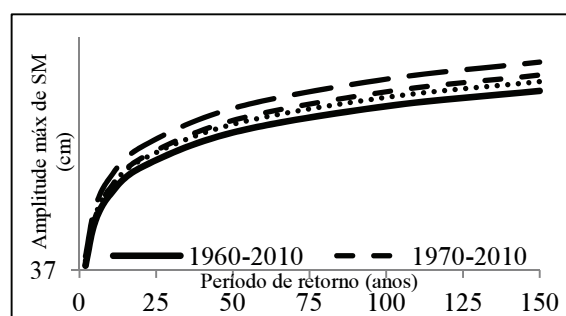


Fig. 4. Distribuição de Gumbel aplicada à amplitude máxima de SM até um período de retorno de 150 anos, considerando a análise de bootstrapping para 4 períodos de dados diferentes: 1960-2010, 1970-2010, 1980-2010 e 1990-2010.

4. CONCLUSÕES

Da análise da Fig.4, e considerando a curva inferior correspondente ao período alargado de dados, de 1960-2010, extraem-se as amplitudes máximas de 58, 62 e 67 cm para os períodos de retorno de 25, 50 e 100 anos, respectivamente.

Os resultados aqui obtidos, isentos do efeito da subida do NMM e das variações inter-anuais, são ligeiramente superiores aos reportados em estudos anteriores (Andrade *et al.*, 2006), na ordem dos 10 cm. A ligeira tendência de aumento de frequência e de amplitude máxima de SM observada é compatível com os resultados obtidos noutros países (Gaslikova *et al.*, 2011; Shepard *et al.*).

Os resultados publicados no âmbito do projecto SIAM II (Andrade *et al.*, 2006) indicam uma previsão de amplitude máxima de SM de 50, 54 e 58 cm para períodos de retorno de 25, 50 e 100 anos, respectivamente, utilizando os dados de apenas 13 anos, entre 1987 e 2000. Para um período idêntico, embora ligeiramente mais alargado e com dados mais recentes, de 1990-2010 (Fig.4), obtiveram-se valores superiores, de 61, 67 e 72 cm, respectivamente. Esta diferença é justificada pelo período da série (Fig.3) estudado no trabalho publicado anteriormente apresentar valores máximos de SM mais baixos, relativamente ao resto da série, com apenas um extremo de 54 cm (em 1996) e os restantes abaixo dos 50 cm.

Da análise dos resultados da aplicação da técnica de *bootstrapping*, conclui-se que para as séries de dados mais recentes e mais curtas, são estimados períodos de retorno mais curtos para a mesma amplitude de SM máxima, ou de outra forma, são estimadas maiores amplitudes de SM máxima para o mesmo período de retorno.

Na análise da Fig.3, observa-se ainda uma oscilação de longo período sobre a série da média móvel, indicando uma flutuação inter-anual/decadal, que justifica, em parte, esta tendência observada no comportamento da amplitude máxima de SM nas décadas mais recentes, evidenciada por via da técnica de *bootstrapping*. Estes resultados significam que, no curto prazo, em particular nas próximas duas décadas e devido a esta oscilação inter-decadal, a tendência de subida de valores extremos de amplitude de SM detectada no passado recente poderá não se vir a verificar. Podendo mesmo, vir a verificar-se uma tendência de sinal inverso, como a que se observa no gráfico da distribuição Gumble para a série de frequências de SM, como forma de compensação e correcção causada pelo efeito desta oscilação inter-anual/decadal.

Todas as análises indicam, no médio-longo prazo, uma ligeira tendência de aumento dos valores observados de frequência e amplitude máxima de SM. No entanto, e apesar da ligeira tendência verificada nas últimas décadas, não é expectável que no futuro se verifiquem amplitudes de SM muito superiores às observadas neste período de estudo, não só porque a curva da distribuição de Gumbel indica uma taxa de inclinação muito pequena, inferior a 0.16% (correspondente a um aumento aproximado de 0.10 cm/ano) para lá do período de retorno de 50 anos; mas também, devido à implausibilidade que as variações no forçamento oceanográfico e meteorológico, relacionadas com as alterações climáticas, possam, significativamente, alterar o clima de sobrelevação actual.

REFERÊNCIAS

- Al-Mashidani, G., Pande, Al, B. L., Mujda, M. F. (1978). A simple version of Gumbel's method for flood estimation. *Hydrological Sciences*, 23(3): 373-380.
- Coastal Zones. In: Santos, F.D., K. Forbes and R. Moita, (eds.) *Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures*, Gradiva, Lisboa, pp. 173-219.
- Andrade, C., Pires, H. O., Silva, P., Taborda, R. e Freitas, M. C. (2006). Zonas Costeiras. In: Santos, F. D., Miranda, P., *Alterações Climáticas em Portugal: Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação – Projecto SLAM II*. Gradiva Publicações, Lisboa.
- Antunes, C. (2011). Monitoring sea level change at Cascais tide gauge. *Journal of Coastal Research*, SI 64 (Proceedings of the 11th International Coastal Symposium), Szczecin, Poland, ISSN 0749-0258, pp 870-874.
- Carvalho, F. (1999). *Simulação Numérica da Sobrelevação do Nível do Mar de Origem Meteorológica*. Dissertação de mestrado. Faculdade de Ciências. Universidade de Lisboa.
- Dasgupta, S., Laplante, B., Murray, S. e Wheeler, D. (2011). Exposure of developing countries to sea-level rise and storm surges. *Climate Change*, 106, 567-579.
- Davison A. C. e Hinkley, D. V. (1997). *Bootstrap Methods and their Application*. Cambridge University Press. UK.
- Gaslikova, L., Schwerzmann, A., Raible, C. C. e Stocker T. F. (2011). Future storm surge impacts on insurable losses for the North Sea region. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11: 1205-1216.
- Hallegatte, S., Ranger, N., Mestre, O., Dumas, P., Corfee-Morlot, J., Herweijer, C. e Wood R. M. (2011). Assessing climate change impacts, sea level rise and storm surge risk in port cities: a case study on Copenhagen. *Climate Change*, 104: 113-137.
- Morais, C. C. e Abecassis. (1978). *Storm surge effects at Leixões*. Memória n.º53. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa. 23.
- Shepard, C. C., Agostini, V. N., Gilmer, B., Allen, T., Stone, J., Brooks, W. e Beck, M. W. (2012). Assessing future risk: quantifying the effects of sea level rise on storm surge risk for the southern shores of Long Island, New York. *Natural Hazards*, 60: 727-745-.
- Taborda, R. e Dias, J. M. A. (1992). Análise da sobrelevação do nível do mar de origem meteorológica durante os temporais de Fevereiro/Março de 1987 e Dezembro de 1981. *Geonovas n.º 1, A Geologia e o Ambiente*, 89-97.
- Troccoli, A., Zambon, F., Hodges, K. I. e Marani, M. (2011). Storm surge frequency reduction in Venice under climate change. *Climate Change*.

Circulação costeira induzida pelas ondas em função do nível de maré

S. H. C. D. Lorangeiro (1)

(1) Instituto Hidrográfico. sergio.lorangeiro@hidrografico.pt

Resumo: As zonas costeiras apresentam uma hidrodinâmica complexa resultante da interação de ondas e de correntes com os fundos marinhos. Os processos físicos associados à transformação das ondas, ao propagarem-se sobre fundos marinhos pouco profundos (empolamento e rebentação), induzem a formação de correntes costeiras que dominam os escoamentos litorais, pela sua magnitude e capacidade de transporte sedimentar.

Pretende-se fazer uma caracterização da circulação costeira, ao longo do ciclo de maré, em diferentes sectores da costa ocidental portuguesa, através da aplicação de um sistema de previsão da hidrodinâmica costeira, composto pelo acoplamento do modelo oceânico ROMS com o modelo espectral de propagação do campo de ondas SWAN.

O conhecimento da circulação costeira é essencial para a compreensão da dinâmica geral do litoral e tem implicações em domínios tão relevantes como a mitigação dos efeitos da erosão costeira, a gestão de recursos marinhos e o apoio a actividades de recreio.

Palavras chave: hidrodinâmica costeira, modelação da circulação litoral, corrente de deriva litoral, ROMS, RAIA.co

1. INTRODUÇÃO

Os processos físicos que controlam a hidrodinâmica e a morfologia do litoral costeiro estão significativamente associados à transformação da onda, na sua aproximação à costa, através da interação com os fundos marinhos pouco profundos. Estes processos incluem: (1) empolamento, que corresponde a uma diminuição do comprimento de onda e ao aumento da amplitude e da assimetria da onda; (2) rebentação, que engloba vários processos de dissipação e transferência de energia da onda; (3) espraiamento da onda na face da praia. Na rebentação a energia da onda é dissipada em calor, em forças que actuam sobre o fundo e na geração de correntes litorais.

As correntes geradas pela dissipação da onda dominam os escoamentos costeiros, sendo normalmente mais poderosas, sobretudo na zona de rebentação, que os escoamentos induzidos pelo vento, maré ou diferenças de densidade na coluna de água. São também os principais agentes promotores do transporte sedimentar e da evolução morfológica na orla costeira. Estas correntes são normalmente classificadas em três tipos fundamentais: (1) corrente de deriva litoral, com um desenvolvimento paralelo à linha de costa, (2) corrente de retorno, com uma acção perpendicular à linha de costa, e (3) células de circulação (rip cells), uma combinação das duas primeiras.

Os processos induzidos pela maré, embora menos significativos, acrescentam um segundo nível de complexidade à hidrodinâmica do litoral, cuja importância aumenta com a amplitude da maré.

A subida e descida cíclica do nível da superfície livre induz uma variação temporal, ao longo do ciclo da maré, e uma variação espacial, ao longo do perfil

intertidal da praia, dos principais processos hidrodinâmicos costeiros. Esta noção conduziu à adopção de uma classificação das zonas costeiras em função da amplitude de maré (Davies, 1964 *in* Masselink e Short, 1993): (1) microtidal, amplitude de maré inferior a 2m, os processos litorais são dominados pelas ondas; (2) mesotidal, amplitude de maré entre 2-4m, ondas e maré têm uma importância repartida na definição dos processos costeiros; (3) macrotidal, amplitude de maré acima de 6m, processos costeiros dominados pela acção da maré. São bem conhecidos alguns factos associados à variação, temporal e espacial, da hidrodinâmica costeira, ao longo do ciclo de maré. Num perfil de praia tipo barra-fossa, a ondulação tende a rebentar sobre a barra longilitoral durante a baixa-mar e a rebentar directamente na face da praia durante a preia-mar. Devido ao efeito de atenuação das ondas, causado pela morfologia da barra longilitoral, em baixa-mar, os processos associados ao esprai da onda são normalmente mais energéticos em preia-mar. Por outro lado, em baixa-mar, observa-se uma intensificação das correntes litorais, em particular nas células de circulação. À medida que a elevação da superfície livre diminui, a profundidade da barra longilitoral vai diminuindo progressivamente, o que tende a inibir gradualmente a passagem de parte do escoamento sobre a barra, ao mesmo tempo que ocorre um maior confinamento das correntes nos canais de circulação (locais onde existe uma interrupção no desenvolvimento longilitoral da barra), com o correspondente aumentando da velocidade da corrente.

2. MODELAÇÃO DA CIRCULAÇÃO COSTEIRA

Alguns modelos oceanográficos adquiriram recentemente capacidade de descrição dos processos físicos costeiros, incluindo aqueles que ocorrem na zona de rebentação. Esta adaptação ao domínio litoral resultou do acoplamento destes modelos de circulação com modelos de agitação costeira e pela quantificação das correntes litorais induzidas pela onda.

No âmbito do Projecto RAIA.co, na componente de modelação da corrente de deriva litoral, e dando seguimento ao trabalho iniciado no Projecto MONICAM, está a ser implementado no Instituto Hidrográfico, um sistema de previsão da circulação costeira, baseada no modelo oceanográfico ROMS (Regional Ocean Model System), versão da Universidade de Rutgers (EUA).

ROMS é um modelo hidrodinâmico tridimensional, de superfície livre, que resolve as equações de Reynolds utilizando a aproximação hidrostática e de Boussinesq (Shchepetkin e McWilliams, 2005; Haidvogal *et al.*, 2008; Shchepetkin e McWilliams, 2009). Utiliza um esquema numérico de diferenças finitas, numa malha curvilínea do tipo Arakawa C, com coordenadas ajustáveis verticalmente ao desenvolvimento da topografia. A sua estrutura modular permite disponibilizar várias opções de cálculo para certas componentes, como diversos esquemas advectivos, modelos de turbulência, diferentes condições de fronteira, e submodelos de camada limite de fundo e de superfície. Tem também um módulo de transporte sedimentar e de evolução da morfologia de fundo (Warner *et al.*, 2008). ROMS dispõe ainda de um algoritmo de wetting and drying que permite simular os escoamentos induzidos pelas ondas e o transporte sedimentar na zona intertidal.

Para aplicações costeiras, o modelo inclui, nas equações de conservação do momento, os termos correspondentes às tensões de radiação induzidas pela onda (Mellor, 2005, 2008), i.e., as forças que originam o escoamento na zona de rebentação. As características da agitação costeira necessárias para calcular as tensões de radiação são fornecidos pelo modelo espectral de propagação do campo de onda SWAN, Simulating WAVes Nearshore, (Booij *et al.*, 2004). O sistema ROMS-SWAN funciona numa arquitectura two-way coupling, que permite simular as interações onda – corrente. Nesta arquitectura, o SWAN recebe do ROMS, a altura da superfície livre, a variação da batimetria, e o campo de circulação costeira integrado na vertical, com os quais determina o efeito das correntes e da profundidade total na propagação da onda. Por sua vez, o ROMS recebe do SWAN, os parâmetros de onda à superfície e junto ao fundo (altura, velocidade orbital, período de pico, comprimento de

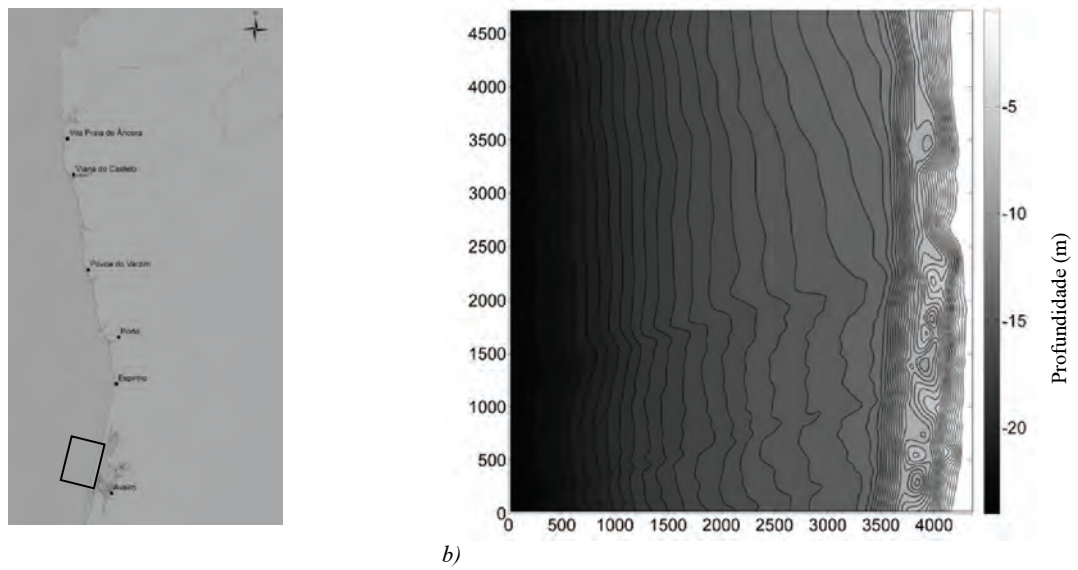
onda e direcção) e a dissipação da energia da onda por efeito do atrito de fundo.

O sistema ROMS-SWAN tem sido aplicado com sucesso na simulação dos processos associados à interacção onda – corrente na zona de rebentação, em diversos casos idealizados: onda com incidência oblíqua numa praia planas e em praia de perfil uniforme na direcção longilitoral; simulação de células de circulação numa batimetria tipo barra – fossa interrompida por canais de circulação (Haas e Warner, 2009; Kumar *et al.*, 2011). Em termos gerais, e para estas configurações, o modelo foi qualitativamente concordante com os resultados obtidos em laboratório e em medições de campo. No entanto, a aplicação do modelo em casos de estudo reais na zona litoral é ainda muito reduzida e praticamente inexistente na literatura.

3. IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA ROMS-SWAN

Foi seleccionado o trecho de costa arenosa Aveiro – São Jacinto (Figura 1a) para realizar a implementação do sistema ROMS-SWAN na simulação da circulação induzida pelas ondas com variação do nível de maré. Trata-se de um trecho de costa regular, onde a batimetria, resultante de dois levantamentos hidrográficos, realizados pelo Instituto Hidrográfico, indicia a presença de uma barra de rebentação com desenvolvimento em crescente (Figura 1b).

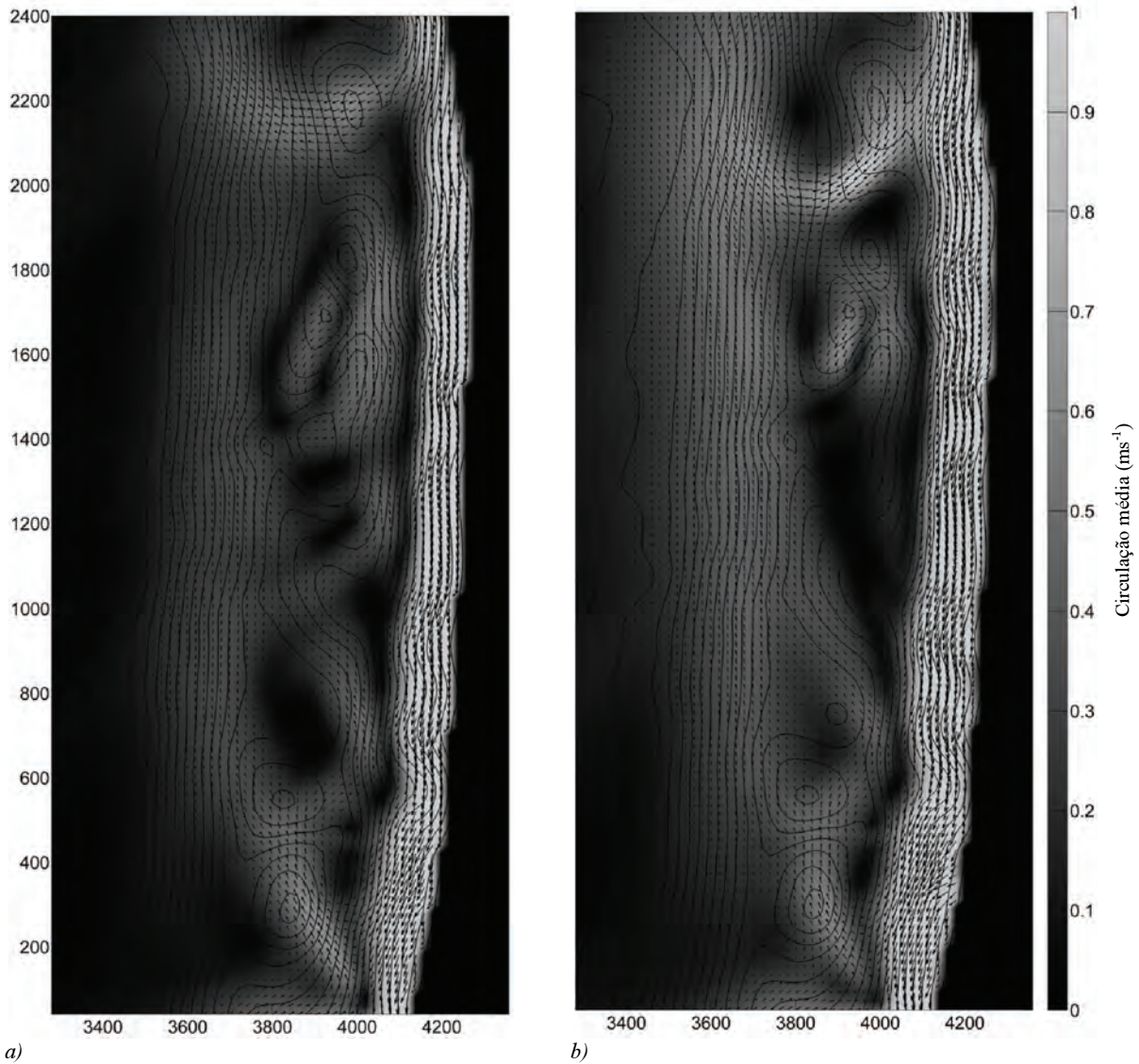
Nesta aplicação os dois modelos utilizam a mesma malha computacional, com uma resolução de 20m, em ambas as direcções horizontais, e com 12 níveis na direcção vertical, de resolução variável em função da profundidade. Para garantir os critérios de estabilidade do ROMS, foi realizado um pequeno alisamento da batimetria. O forçamento das ondas foi simulado através da especificação, nas fronteiras abertas do SWAN, de um espectro direccionado JONSWAP com as seguintes características fundamentais: altura significativa de 2m, período de pico de 12s e direcção perpendicular à orientação geral do trecho de costa. Nas fronteiras laterais do ROMS foi imposta uma variação sinusoidal da superfície livre, com amplitude de 2.4m e período de 12.42h. A simulação teve início no nível de preia-mar, considerado: 3.4m acima do zero hidrográfico (ZH). ROMS e SWAN foram implementados com um passo temporal interno de 4s e 15s, respectivamente, e sincronizadas as trocas de informação entre os dois modelos, em intervalos de tempo de 60s. Nos parâmetros dos modelos foram mantidos os respectivos valores standards, à excepção da viscosidade turbulenta horizontal do ROMS.



a)

b)

Fig. 1. Área de implementação do sistema de modelos ROMS-SWAN: a) localização; b) batimetria da área de simulação com linhas batimétricas com espaçamento vertical de 0.5m (distâncias horizontais em metros)



a)

b)

Fig. 2. Circulação costeira resultante do sistema de modelos ROMS-SWAN (distâncias horizontais em metros): a) 1 hora após o início da simulação (0.15m abaixo da preia-mar); b) 3 horas após o início da simulação (1.14m abaixo da preia-mar).

4. RESULTADOS PRELIMINARES

Nesta fase de implementação do sistema ROMS-SWAN, pretendeu-se avaliar a capacidade do sistema para reproduzir qualitativamente algumas características da dinâmica costeira. Em particular, identificar as consequências da variação cíclica do posicionamento da linha de rebentação e da própria zona de rebentação, em função do avanço e recuo da maré. Na Figura 2 representa-se a circulação costeira integrada na vertical, resultante da simulação, em duas fases do ciclo de maré: em torno da preia-mar (Figura 2a); e em torno do nível médio (Figura 2b).

Em torno da preia-mar, a rebentação tem início próximo da linha de costa, ocupando, a zona de rebentação, uma secção relativamente estreita do perfil de praia, que apresenta o declive mais significativo. A hidrodinâmica costeira tem um carácter predominantemente reflectivo, onde a circulação costeira está confinada, tal como a rebentação, a uma estreita faixa junto à linha de costa (Figura 2a). Observa-se também, como seria de prever, que a barra longilitoral não interfere com a rebentação, nesta fase do ciclo de maré.

À medida que o nível da superfície livre desce, os resultados da simulação indicam que o início da rebentação tende a ocorrer gradualmente mais ao largo. A zona de rebentação tende a abranger uma faixa mais ampla e menos declivosa do perfil de praia. A hidrodinâmica costeira adquire progressivamente um carácter mais dissipativo, o que resulta numa intensificação gradual da circulação costeira, predominantemente junto à linha de costa, mas também, embora menos significativa, mais ao largo, sobre a barra longilitoral (Figura 2b). Embora preliminares, estes resultados indiciam uma concordância com o padrão de circulação expectável.

O processo de operacionalização das previsões da hidrodinâmica costeira, a partir de modelos de circulação 3D, encontra-se ainda num estágio inicial, apesar dos progressos assinaláveis, tanto ao nível do conhecimento dos processos físicos envolvidos, como também, ao nível do aumento da capacidade de cálculo computacional, decorrente da paralelização dos códigos numéricos dos modelos. Dados batimétricos de alta resolução e medições de campo são também componentes imprescindíveis. No entanto, a curto prazo prevê-se a possibilidade de obter previsões da circulação costeira associada a cenários de forçamento típicos, que venham a enquadrar a maioria das situações existentes num determinado sector de costa, permitindo, assim, ter uma noção geral da dinâmica costeira nesses locais, com interesse para o vasto conjunto de agentes que actuam no litoral costeiro.

REFERÊNCIAS

Booij, N., Ris, R.C. Holtthuijsen, L.H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions,

Part 1, Model description and validation. *Journal of Geophysical Research*, 104 (C4), 7649-7666.

Masselink, G. e Short A.D. (1993). The Effect of Tides on Beach Morphodynamics and Morphology: A Conceptual Beach Model. *Journal of Coastal Research*, 9(3), 785-800.

Haas, K.A. e Warner, J.C. (2009). Comparing a quasi-3D to a full 3D nearshore circulation model: SHORECIRC and ROMS. *Ocean Modelling*, 26, Issues 1-2, 91-103.

Haidvogel, D.B., Arango, H.G., Budgell, W.P., Cornuelle, B.D., Curchitser, E., Di Lorenzo, E., Finnel, K., Geyer, W.R., Hermann, A.J., Lanerolle, L., McWilliams, J.C., Miller, A.J., Moore, A.M., Powell, T.M., Shchepetkin, A.F., Sherwood, C.R., Signell, R.P., Warner, J.C., Wilkin, J. (2008). Ocean forecasting in terrain-following coordinates: Formulation and skill assessment of the regional ocean modeling system. *Journal of computational Physics*, 227, 3595-3624.

Kumar N., Voulgaris, G. Warner, J.C. (2011). Implementation and modification of a three-dimensional radiation stress formulation for the surf zone and rip-currents applications. *Coastal Engineering*, 58, 1097-1117.

Mellor, G.L. (2005). Some consequences of the three-dimensional currents and surface wave equations. *Journal of Physical Oceanography*, 35 2291-2298

Mellor, G.L. (2008). The depth-dependent currents and wave interaction equations: a revision. *Journal of Physical Oceanography*, 38, 2587-2596.

Shchepetkin, A.F., McWilliams, J.C. (2009). Correction and correction and commentary for "Ocean forecasting in terrain-following coordinates: Formulation and skill assessment of the regional ocean modeling system" by Haidvogel *et al.*, *Journal of computational Physics*, 227, 3595-3624. *Journal of computational Physics*, 228, 8985-9000.

Shchepetkin, A.F., McWilliams, J.C. (2005). The Regional Oceanic Modelling System: A split-explicit, free-surface, topography-following coordinate oceanic model, *Ocean Modelling*, 9, 347-404.

Warner, J.C., Sherwood, C.R., Signell, R.P., Harris, C.K., Arango, H.G. (2008). Development of a three-dimensional, regional, coupled wave, current, and sediment transport model. *Computer & Geosciences*, 34, 1284-1306.

Investigating the variability of the M2 tide at Leixões

M. S. Bos (1), I. B. Araújo (1), L. Bastos (1, 2) e M. Lázaro (3)

- (1) CIIMAR/CIMAR, Universidade do Porto, R. dos Bragas, 289 4050-123 Porto. mbos@ciimar.up.pt
 (2) Observatório Astronómico, Fac. de Ciências, Universidade do Porto, R. do Campo Alegre, 4169-007 Porto.
 (3) Administração dos Portos do Douro e Leixões, Av. da Liberdade, Apart. 3004, 4451-851 Leça da Palmeira.

Abstract: The digitization of the tide gauge observations at Leixões, stored on paper rolls, span a period of 1890 to 2008 and have recently been completed. Our analysis of this data set showed us that the annual mean sea-level can vary 5-8 cm within a few years. This is considerably larger than what is observed at other tide gauges such as Cascais and Vigo. A possible explanation for this phenomenon is the large expansion of the Leixões harbour that has taken place in the last century that could have affected the local coastal dynamics. At the same time we have observed variations in the amplitude and phase of the M2 tide at Leixões over the years. In the current research we have investigated using the tide gauge data if a correlation exists between the two types of variations but conclude that this is not the case.

Keywords: Tides, Sea level, Leixões

1. INTRODUCTION

Secular sea level variations observed at tide gauges are important indicators of climate change. Due to the natural variability in sea level, it is important to have a long record of observations to separate the periodic variations from the long term trend. For this reason, the recent digitization of the 100 year tide gauge observations at Leixões has been very valuable. Unfortunately, by comparing the times when yearly mean sea level changed rapidly and the date when extensive modifications of the Leixões harbour took place, we concluded that local port constructions have had a probable larger influence on sea level than climate change (Araújo et al., submitted). This conclusion is reinforced by the fact that we also observed variations of a few percent in the amplitude and phase-lag of the main tidal constituents. Here we assume that port constructions should have an effect on the tides.

However, using a simple depth integrated barotropic tide model and varying the harbour geometry, bathymetry and bottom friction, we were not able to produce such large variations in the tidal amplitude and phase-lag as those that were observed. Since the influence of fresh water inflow of the river Leça was completely ignored in this simple tide model, water density variations might provide a possible explanation.

Before making a 3D-barotropic hydrodynamic model of the Leixões harbour, we want to investigate if the tide gauge data can be used to establish a relation between the observed sea level variations and the changes in tidal amplitude and phase-lag. A method for establishing this non-linear interaction of the tides with the low-frequency continuum variations in sea level relation was presented by Munk et al. (1965) but has not been

explored much in the literature. Probably because Munk et al. (1965) did not find good results when they analysed the Honolulu tide gauge data. On the other hand, Cartwright (1968) demonstrated that the non-linear interaction with the low frequency sea level variations could explain around 40% of the energy in the tidal variations observed at six tide gauges around the United Kingdom and suggested that this is also true for the rest of the north west European shelves seas and Atlantic Ocean. The objective of this paper is to verify this claim using the Leixões tide gauge data.

2. THEORY

The tides in the ocean are caused by the gravitational attraction of the Moon and Sun. As such, they show a set of very stable frequencies that are linked to the orbits of the Moon around the Earth and the orbit of the Earth around the Sun. A power spectral density of the observed tides would in theory produce a set of lines at these frequencies. However, instead of a line, a peak that is broadened at its base is observed at most gauges. In the literature these broadened peaks are referred to as tidal cusps (Munk et al., 1965). In addition, the observations contain a continuous noise spectrum, mostly caused by weather, for which the amplitude gets larger for decreasing frequency. For the Leixões data set, the power spectral density plot, after subtracting the tidal signal, is given in Figure 1 which also shows a detailed plot of the power spectral density around the M2 harmonic. The cusp like shape is clearly visible. It seems plausible to assume that if the sea level, ζ , varies due to different values of the currents, stratification, temperature or salinity, also the tides would change slightly. In addition, in order that a

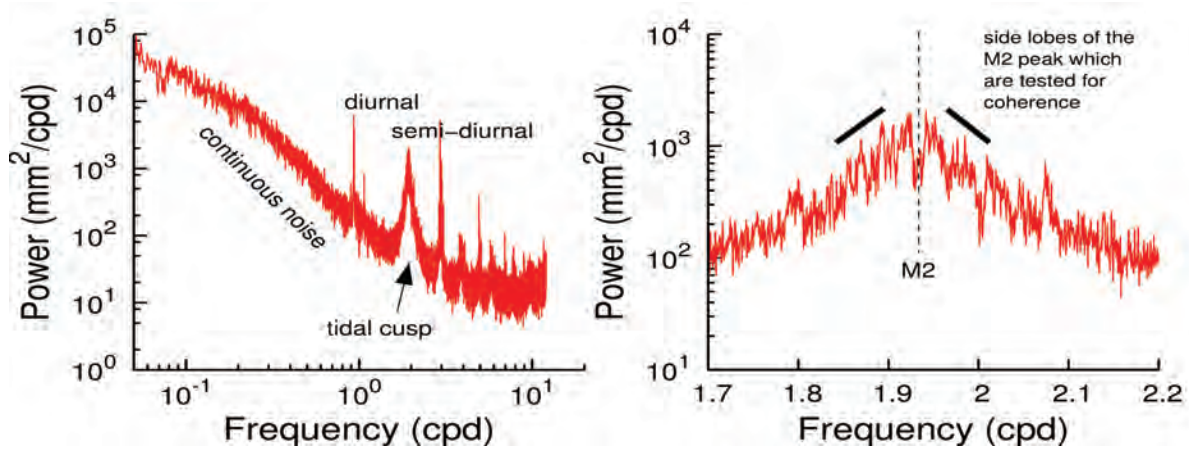


Fig. 1. Left panel shows the power spectral density of the detided Leixões tide gauge data. The right panel shows the same for the region around the M₂ frequency.

variation at low frequencies influences the sea level at tidal frequencies, this relation needs to be non-linear. The simplest non-linear interaction is given by a quadratic function, (Munk et al., 1965):

$$\zeta = [1 + r a_0 \cos(2\pi f_0 t + \varphi_0)] a_1 \cos(2\pi f_1 t) \quad (1)$$

where a_0 is the amplitude of the low-frequency variations in sea level, a_1 the M₂ tidal amplitude. f_0 and f_1 are their associated frequencies and φ_0 is a phase-lag and r is the non-linear interaction coefficient. If this equation is expanded one obtains:

$$\zeta = a_1 \cos(2\pi f_1 t) + 2 r a_0 a_1 \cos(2\pi(f_1 - f_0)t - \varphi_0) + 2 r a_0 a_1 \cos(2\pi(f_1 + f_0)t + \varphi_0) \quad (2)$$

The important property of Eq. (2) is that the last two terms are symmetric around the tidal frequency f_1 but with opposite phase-lag. As a result, Cartwright (1968) computed the coherence between the right and left side lobes of the M₂ tidal peak in the power spectral density to test if they were indeed symmetric which was the case for the tide gauge data of six stations around the United Kingdom. If random phase modulation due to internal tides were the cause for the tidal cusp, as is proposed by Colosi and Munk (2006), then no such symmetry would exist.

3. RESULTS AND CONCLUSIONS

65 years of the total data set of hourly sea level observations at Leixões were selected, from 1928 to 1992, to have a minimal amount of data gaps. Each year was analysed separately using the TASK2000 package (Bell et al., 2000) to remove the tidal signal from the observations. Next, the mean value and a linear trend were subtracted and the time-series was divided into 19 segments of 1240 days. This length was chosen because it corresponds to almost an integer number of M₂ cycles. This gives us a resolution Δf of 1/1240 days or 0.3 cycles per year (cpy). For each segment the power spectral density

was computed and afterwards averaged. We found that the mean coherence of the side lobes around the M₂ peak is 0.11, equivalent to 11% of the energy in the tidal variations. This value is not significantly different from zero and we must conclude that the results for Leixões do not agree with Cartwright's assumption that slow sea level variations have a noticeable influence on the tides for all stations around the Atlantic Ocean.

Finally, a full 3D-baroclinic hydrodynamic model seems necessary to explain the observed variations in the tidal amplitude and phase-lag.

Acknowledgements

Permission to use the Leixões sea level dataset has been granted by *Associação dos Portos do Douro e Leixões* (APDL).

We acknowledge the support of APDL in the digitization of the 100 year tide gauge observations at Leixões.

REFERENCES

- Araújo, I.B., Bos, M.S., Bastos, L., and Cardoso, M.M. (submitted). Analysing the hundred year sea level record of Leixões, Portugal. *Journal of Hydrology*.
- Bell, C., Vassie, J.M., and Woodworth, P.L. (2000). *POL/PSMSL Tidal Analysis Software Kit 2000* (TASK-2000).
- Cartwright, D.E. (1968). A Unified Analysis of Tides and Surges Round North and East Britain. *Royal Society of London Philosophical Transactions Series A*, 263:1–55.
- Colosi, J.A. and Munk, W. (2006). Tales of the Venerable Honolulu Tide Gauge*. *Journal of Physical Oceanography*, 36:967.
- Munk, W.H., Zetler, B., and Groves, G.W. (1965). Tidal Cusps. *Geophysical Journal International*, 10:211–219.

Contribuição para o estudo da propagação da maré no setor oeste da Ria Formosa

J. Jacob (1), S. Cardeira (1), M. Rodrigues (2), N. Bruneau (3), A. Azevedo (2), A. Fortunato (2), A. Cravo (1) e M. Rosa (1)

- (1) Universidade do Algarve, CIMA, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal, jjacob@ualg.pt.
 (2) Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal.
 (3) Laboratório Nacional de Engenharia Civil e British Antarctic Survey.

Resumo: O projeto COALA tem como objetivo compreender a dinâmica dos nutrientes, clorofila-*a* e matéria em suspensão no setor oeste da Ria Formosa. Para isso é importante estudar e caracterizar a hidrodinâmica bastante complexa da Ria Formosa.

As primeiras campanhas do projeto COALA foram realizadas no Outono de 2011. Incluíram a colocação de dois sensores de pressão, um na barra de Faro-Olhão e o outro no cais comercial de Faro, durante um período de 2 meses, para estudar a variação do nível do mar em função da maré e outros fenómenos de baixa frequência. A análise dos dados de nível do mar permitiu caracterizar dois ciclos mensais de maré completos, proporcionando informação acerca da propagação e distorção da maré ao longo do canal de Faro. Estes dados permitiram validar o modelo hidrodinâmico ELCIRC, cuja utilização vai ajudar a caracterizar as correntes, o prisma e a distorção da maré na ria Formosa.

Palavras chave: barra de maré, propagação da maré, prisma de maré, modelo hidrodinâmico, Ria Formosa, Projeto COALA.

1. INTRODUÇÃO

A Ria Formosa é um sistema lagunar localizado na costa sul de Portugal, com cerca de 80 km², 55 km de comprimento na direção E-W e 6 km de largura máxima. Tem seis ligações permanentes ao oceano, que proporcionam uma grande renovação de água. É um sistema com um regime meso-mareal - altura média das marés ~ 2 m, numa gama que varia entre 1,5 m e -3,5 m - com predominância de marés semi-diurnas, bem misturado verticalmente, sem evidência de estratificação salina ou térmica devido à reduzida entrada de água doce e à predominância do efeito da maré na circulação da água no seu interior.

Através do projeto *Nutrients and particulate matter dynamics - exchanges between a COAstal Lagoon and the adjacent ocean through a multiple inlet system: the case of Ria Formosa, south of Portugal - COALA* pretende-se caracterizar a distribuição espacial e as escalas temporais de variabilidade da concentração dos nutrientes, clorofila-*a* e matéria em suspensão na Ria Formosa. Os principais objectivos deste projecto são compreender a dinâmica destes compostos, em particular a importância das trocas de massa entre a Ria Formosa e o oceano e entender a influência desta dinâmica na actividade biológica deste ecossistema. Para isso, é necessário caracterizar a circulação dentro da ria Formosa e as trocas de água com o oceano através das barras.

A influência da maré na hidrodinâmica da Ria Formosa e na dinâmica das barras e a quantificação dos prismas de maré e trocas de água com o oceano adjacente tem sido objeto de diversos estudos, dos quais se referem os trabalhos de Salles (2001),

Soares *et al.* (2001), Salles *et al.* (2005), Dias *et al.* (2009) e Pacheco *et al.* (2010).

O conhecimento e a caracterização da hidrodinâmica da Ria Formosa, em particular a circulação da água no seu interior, as trocas com o oceano através das barras e a influência da maré são essenciais para se poder compreender a dinâmica dos nutrientes, clorofila-*a* e matéria em suspensão. Com este objetivo foi feita e é apresentada neste trabalho uma análise harmónica de duas séries temporais com dois meses de valores do nível do mar obtidos em dois pontos do canal de Faro, um na barra de Faro-Olhão e o outro no cais comercial de Faro. Os dados experimentais foram comparados com os resultados da aplicação na Ria Formosa do modelo numérico de circulação ELCIRC (Zhang *et al.*, 2004), obtidos nos mesmos pontos durante os mesmos períodos. Estão a decorrer e estão previstas mais campanhas para medição do nível do mar e outros parâmetros, que permitirão continuar este estudo e aprofundar o conhecimento da hidrodinâmica da Ria Formosa.

2. MÉTODOS

2.1. Campanhas Experimentais

O setor ocidental da Ria Formosa, onde ~ 90 % do volume total de água é trocado com o oceano ao longo de um ciclo de maré semi-diurna, engloba as barras do Ancão, Faro-Olhão e Armona e diversos canais e esteiros. De entre os canais, destaca-se o canal de Faro que liga a barra de Faro-Olhão ao porto e à cidade de Faro (Fig. 1).

As primeiras campanhas do projeto COALA tiveram início no dia 14 de Outubro de 2011 com a colocação dos dois sensores de pressão (PT Level

TROLL) em locais distintos do canal de Faro, um no cais da ilha Deserta/barra de Faro-Olhão (CID) e o outro no cais comercial de Faro (CCF) (Fig. 1) e terminaram com a sua recolha, no dia 14 de Dezembro de 2011. Estas duas localizações estão sujeitas a condições ambientais distintas, uma (CID) exposta às trocas diretas com o oceano, como por exemplo a maré costeira e a ondulação e a outra (CCF) no interior da ria Formosa, 6 km a montante da primeira e resguardada da influência direta do oceano adjacente.



Fig. 1. Setor oeste da Ria Formosa e localização dos sensores de pressão: CCF – cais comercial de Faro; CID – Cais da ilha Deserta.

Durante estas campanhas foram realizadas três amostragens de ciclo de maré semi-diurna em maré-viva e três amostragens de ciclo de maré semi-diurna em maré-morta, nas três barras do setor oeste da ria Formosa: nos dias 22 de Novembro e 7 de Dezembro na barra do Ancão, nos dias 23 de Novembro e 6 de Dezembro na barra da Armonia e canal de Marim e nos dias 24 de Novembro e 5 de Dezembro na barra de Faro-Olhão e nos canais de Faro e de Olhão. Em cada amostragem foi medida a velocidade ao longo da secção recta dos canais com um perfilador acústico por efeito de Doppler (ADP Bottom Track, Sontek), a temperatura, a salinidade, o pH e o oxigénio dissolvido com uma sonda multiparamétrica YSI 6600 XL e foram recolhidas amostras de água com uma garrafa de Niskin de 5 litros para análise dos nutrientes e matéria em suspensão (clorofila-*a* e sedimentos em suspensão) em vários níveis no centro dos canais, com um intervalo de amostragem de uma hora.

Foi efetuada uma análise harmónica clássica dos dados de nível do mar medidos nos dois locais, CCF e CID. Para isso usou-se um conjunto de programas e de subrotinas implementadas em MatLab, o pacote T-TIDE (Pawlowicz *et al.*, 2002). A partir desta análise harmónica foram sintetizadas novas séries temporais de dados usando as componentes MSF, Q1, O1, P1, K1, N2, M2, S2, K2, MN4, M4, MS4, M6. Estas novas séries foram posteriormente comparadas com as séries de dados obtidas nos mesmos locais a partir da aplicação do modelo ELCIRC à ria Formosa.

2.2. Modelação Numérica

2.2.a Descrição do modelo

O modelo ELCIRC é um modelo tridimensional baroclínico que combina o método dos volumes finitos, o método das diferenças finitas e conceitos Eulerianos-Lagrangeanos. A combinação destes métodos oferece simultaneamente estabilidade, precisão e conservação de massa no cálculo da elevação da superfície livre e dos campos da velocidade, salinidade e temperatura. Este modelo calcula a elevação da superfície livre, as três componentes da velocidade, a salinidade e a temperatura, através de um conjunto de seis equações hidrodinâmicas assumindo as aproximações de Boussinesq e hidrostática. A equação de estado é utilizada para calcular a densidade através da salinidade, temperatura e pressão hidrostática. Uma descrição detalhada do modelo pode ser encontrada em Zhang *et al.* (2004).

2.2.b Aplicação na Ria Formosa

A aplicação do modelo ELCIRC utilizada no presente estudo baseia-se em Portela *et al.* (2011). As simulações foram realizadas em modo bidimensional barotrópico. O domínio horizontal foi discretizado numa malha com 90036 nós e 176937 elementos, cuja resolução espacial varia entre 10 m e 6 km (Fig. 2). A batimetria de base utilizada foi a de 1980, tendo sido actualizada com os dados batimétricos mais recentes (2001, 2003, 2004, 2008 e 2010) e combinada pontualmente com informação retirada de fotografia aérea (Fig. 3). Foi considerada apenas uma fronteira aberta, a oceânica, a qual foi forçada pela maré. No forçamento pela maré utilizaram-se 14 constituintes (Z0, MSF, Q1, O1, P1, K1, N2, M2, S2, K2, MN4, M4, MS4, M6) obtidas através do modelo regional de Fortunato *et al.* (2002). O passo de cálculo considerado foi de 60 s.

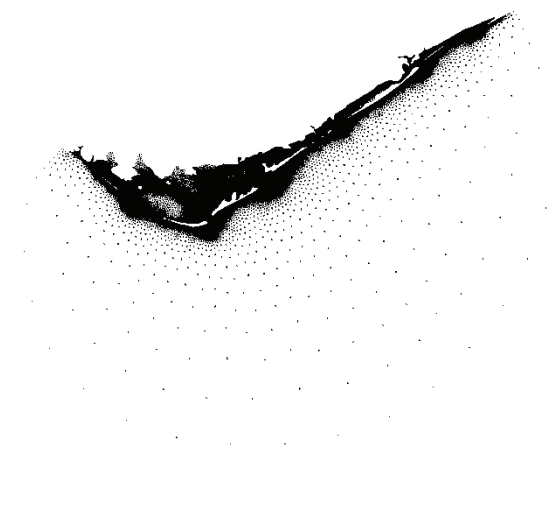


Fig. 2. Malha de cálculo horizontal.

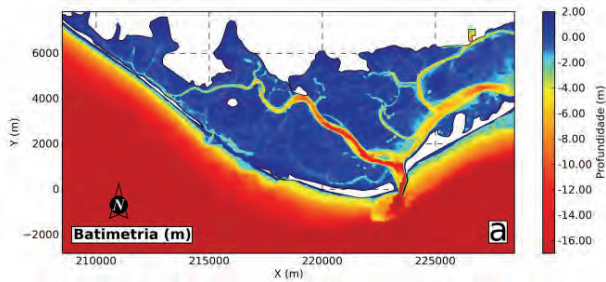


Fig. 3. Batimetria no domínio de estudo referida ao nível médio do mar.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como já foi referido anteriormente, foi feita uma análise harmónica com o programa T_TIDE, das duas séries temporais de dois meses de valores do nível do mar obtidas na barra de Faro-Olhão e no cais comercial de Faro, com um intervalo de amostragem de 10 minutos. De acordo com Pugh (2004), para se fazer uma análise harmónica satisfatória, a série temporal deve ter uma extensão de pelo menos um mês lunar com um intervalo de amostragem de uma hora (709 horas), embora o ideal seja um ano (8766 horas).

A Figura 4 contém a representação temporal da síntese das componentes MSF, Q1, O1, P1, K1, N2, M2, S2, K2, MN4, M4, MS4, M6 após análise harmónica das séries dados medidos de nível do mar para as duas localizações, em sobreposição com as soluções do modelo ELCIRC nos mesmos locais, para os mesmos períodos e usando as mesmas harmónicas. Os erros quadráticos médios (EQM) dos resultados do modelo relativamente aos dados de campo estão registados na Tabela I. Este erro permite avaliar a qualidade da previsão do modelo (Dias *et al.*, 2009).

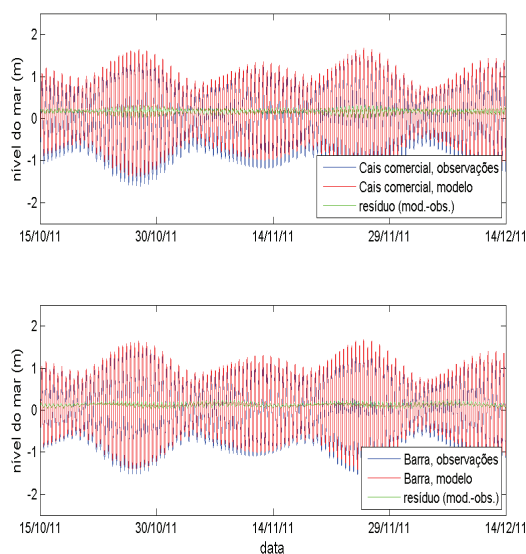


Fig. 4. Séries temporais de dados de nível do mar sintetizados para os valores medidos (a azul) e para os resultados do modelo (a vermelho): em cima - cais comercial de Faro; em baixo - barra de Faro-Olhão.

Tabela I. EQM . Erro quadrático médio para o desempenho do modelo relativamente aos valores medidos.

	Dados (total)	Dados (síntese)
EQM – Cais Ilha Deserta	8.2 cm	5.3 cm
EQM – Cais Comercial Faro	12.3 cm	6.2 cm

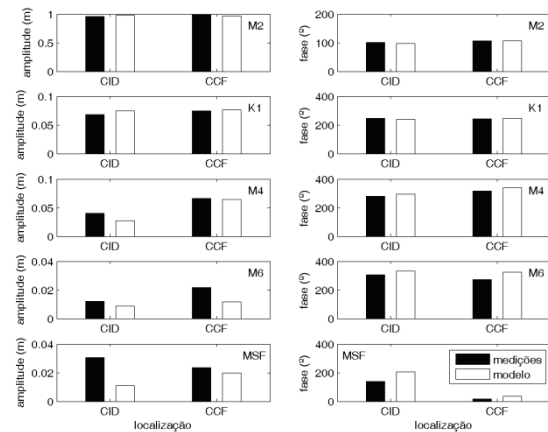


Fig. 5. Distribuições da amplitude e fase de maré para as constituintes harmónicas M2, K1, M4, M6 e MSF: barras negro - medições; barras brancas - resultados do modelo).

Em ambas as estações, os EQM revelam uma boa concordância entre os dados e o modelo. Os EQM obtidos no presente estudo são da mesma ordem de grandeza ou inferiores aos obtidos por Dias *et al.* (2009).

A comparação entre as constituintes M2, K1, M4, M6 e MSF dos dados e do modelo é apresentada na Figura 5. Os resultados sugerem uma dominância das constituintes semi-diurnas e diurnas, a qual já tinha sido observada em estudos anteriores (e.g. Dias *et al.*, 2009). De um modo geral, observa-se uma boa concordância entre os resultados do modelo e os dados. Para a constituinte M2, observam-se diferenças de amplitude de cerca de 1 cm e de fase de 4° no cais da Ilha Deserta. No cais Comercial de Faro estas diferenças são de 3 cm e de 1°, respectivamente. Para a constituinte K1 as diferenças de amplitude entre os dados e o modelo são inferiores a 1 cm no cais da Ilha Deserta e a 0.2 cm no cais comercial de Faro.

As diferenças observadas poderão decorrer de diferenças batimétricas, dado que a batimetria utilizada não é contemporânea dos dados, e da definição das condições de fronteira. Desenvolvimentos futuros do modelo incluirão a actualização da batimetria com base nos dados mais recentes, assim como a actualização das condições fronteiras. Esta aplicação servirá de base à implementação do modelo SELFE (Zhang e

Baptista, 2008) em modo baroclínico na Ria Formosa. O modelo SELFE será utilizado conjuntamente com um modelo de partículas para estudar os fluxos de clorofila-*a* e nutrientes entre a Ria e o mar.

Refira-se ainda que no âmbito do projeto COALA foram realizadas na primavera de 2012 mais três amostragens de ciclo de maré semi-diurna em maré-viva e três amostragens de ciclo de maré semi-diurna em maré-morta, nas três barras do setor oeste da ria Formosa. Foram colocados novamente os dois sensores de pressão nos mesmo locais, igualmente por um período de 2 meses. Os dados adquiridos permitirão prosseguir este estudo, proporcionando um conhecimento ainda mais completo da propagação e distorção da maré na Ria Formosa, em condições distintas. Está também em curso o cálculo dos prismas de maré nas mesmas barras e nos canais adjacentes, a partir das secções de velocidade medidas ao longo de ciclos de maré semi-diurna completos em situações distintas num mesmo ciclo quinzenal, em maré viva e maré morta e em diferentes alturas do ano.

O conhecimento da hidrodinâmica da Ria Formosa será ainda aprofundado através do estudo da influência relativa do vento na circulação no seu interior, com o acoplamento dos resultados de um modelo atmosférico de mesoscala ao modelo hidrodinâmico. Além disso, o conhecimento conjunto da hidrodinâmica da Ria Formosa, da distribuição espacial e das escalas temporais de variabilidade da concentração dos nutrientes, clorofila-*a* e matéria em suspensão irá permitir compreender a dinâmica destes compostos, em particular a importância das trocas de massa entre a Ria Formosa e o oceano e entender a influência desta dinâmica na actividade biológica deste ecossistema.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do António Brás e do Sr. Alves, pescador residente na ilha Deserta, na colocação do PT na ilha Deserta e do IPTM-Sul na escolha e autorização de utilização dos locais para colocar os 2 PT's e na sua recuperação. Este trabalho foi suportado pela Fundação Para a Ciência e a Tecnologia (FCT) através do Projeto de Investigação PTDC/MAR/114217/2009 - COALA.

REFERÊNCIAS

- Dias J.M., Sousa M.C., Bertin X., Fortunato A.B. e Oliveira A. (2009). Numerical modeling of the impact of the Ancão Inlet relocation (Ria Formosa, Portugal). *Environmental Modelling & Software*, 24 (6), 711-725.
- Fortunato A.B., Pinto L.L., Oliveira A. e Ferreira J.S. (2002). Tidally-generated shelf waves off the western Iberian coast. *Continental Shelf Research*, 22 (14), 1935-1950.
- Pawlowicz, R., Beardsley, B. e Lentz, S. (2002). Classical Tidal Harmonic Analysis Including Error Estimates in MATLAB Using T_TIDE. *Computers and Geosciences*, 28, 929-937.
- Pacheco, A., Ferreira, Ó., Williams, J.J., Garel, E., Vila-Concejo, A. and Dias, J.A. (2010). Hydrodynamics and equilibrium of a multiple-inlet system. *Marine Geology*, 274, 32-42.
- Portela L., Azevedo A e Fortunato, A.B. (2011). *Valorização hidrodinâmica da Ria Formosa e mitigação do risco nas ilhas barreira*, Relatório 3: Valorização hidrodinâmica da laguna, 3ª fase. Relatório 395/2011-NEC, Lisboa.
- Pugh, D. (2004). *Changing Sea Levels: Effects of Tides, Weather and Climate*. Cambridge University Press, 265 pp.
- Salles, P. (2001). *Hydrodynamic controls on multiple tidal inlet persistence*. PhD Thesis, Massachusetts Institute of Technology and Woods Hole Oceanographic Institution, 272 pp.
- Salles, P., Voulgaris, G. e Aubrey, D. (2005). Contribution of Nonlinear Mechanisms in the Persistence of Multiple Tidal Inlet Systems. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 65, 475-491.
- Soares, C., Onofre, J. e Grade, N. (2001). Caracterização Hidrodinâmica do Sistema de Barras da Ria Formosa. *Actas das 2^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, Sines, Associação Internacional de Navegação, CD-ROM, 14 p.
- Zhang, Y. e Baptista, A.M. (2008). SELFE: A semi-implicit Eulerian-Lagrangian finite-element model for cross-scale ocean circulation. *Ocean Modeling*, 21 (3-4), 71-96.
- Zhang, Y., Baptista, A.M. e 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*, 24 (18), 2187-221.

Variação temporal das principais constituintes harmónicas do marégrafo de Cascais

J. Godinho (1) e C. Antunes (2)

(1) joanagodin@yahoo.com

(2) IDL – Universidade de Lisboa.

Resumo: A modelação da onda de maré é realizada através da análise harmónica, a qual é decomposta nas suas componentes, as constituintes harmónicas. Cada constituinte é definida pelos parâmetros locais de amplitude e fase, determinadas através da análise harmónica sobre uma série anual de alturas horárias de maré. Uma vez que a análise harmónica apenas modela a componente astronómica, é necessário remover dos dados a componente não astronómica, correspondente ao efeito de forçamento atmosférico, designado por sobreelevação meteorológica. Esta metodologia melhora significativamente os resultados da modelação harmónica, nomeadamente, a precisão dos parâmetros das constituintes harmónicas principais, as semidiurnas M2 e S2. Será apresentado e analisado o resultado de um estudo de variação temporal das principais constituintes harmónicas, M2 e S2, relativas a uma série de alturas horárias da maré de 40 anos de Cascais, desde 1970 a 2010.

Palavras chave: maré astronómica, constituintes harmónicas, semidiurnas M2 e S2, análise harmónica, sobreelevação, variação temporal

1. INTRODUÇÃO

As medições realizadas regularmente no marégrafo de Cascais entre 1970 e 2010 permitem efectuar estudos da variação temporal das constituintes principais semidiurnas, M2 e S2.

A onda de maré é modelada através da análise harmónica, decompondo-a nas suas componentes, as constituintes harmónicas (onda de função sinóptica). Estas constituintes modelam o efeito dos movimentos da Lua e do Sol em relação à Terra sobre a oscilação diária da superfície do mar. A constituinte semidiurna lunar principal, designada por M2, modela o efeito do movimento da Lua média fictícia em torno da Terra a uma distância constante. A constituinte semidiurna solar principal, designada por S2, modela de igual modo o efeito do movimento do Sol médio fictício em torno da Terra. Estas constituintes harmónicas são as de maior amplitude da série harmónica, pelo que têm maior influência na modelação da onda de maré. Assim, após a análise harmónica apenas nos concentrámos nos valores obtidos para a amplitude e fase destas constituintes, deixando de lado todas as outras constituintes de menor amplitude.

A modelação da onda de maré utilizando um modelo que torna mais rápida a convergência para a solução final permitiu efectuar um estudo temporal da amplitude e fase das constituintes M2 e S2.

2. METODOLOGIA

A modelação da onda de maré utilizando o modelo (1) de Godin (1972) torna difícil a análise harmónica, dada a lenta convergência da solução pelo método dos mínimos quadrados (m.m.q.). Tal deve-se ao facto de a fase de cada constituinte ser parte do argumento da função sinóptica.

$$h(t) = Z_0 + \sum_{i=1}^n f_i H_i \cos(V_{0i} + n_i t - g_i) \quad (1)$$

Para ultrapassar este problema foi aplicada a mudança de variável referida por Foreman *et al.* (2009)

$$X_i = H_i \cos g_i; \quad Y_i = H_i \sin g_i \quad (2)$$

onde H_i e g_i representam a amplitude e fase de cada constituinte que é utilizada na modelação da onda de maré através de (1).

Efectuando esta mudança de variável no modelo (1), obtemos

$$h(t) = Z_0 + \sum_{i=1}^n f_i(t) [X_i \cos(V_{0i} + n_i t) + Y_i \sin(V_{0i} + n_i t)] \quad (3)$$

onde X_i e Y_i representam as grandezas a determinar pelo m.m.q., para posteriormente determinar a amplitude e fase de cada constituinte i , através das fórmulas inversas de (2):

$$H_i = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2}; \quad g_i = \tan^{-1} \left(\frac{Y_i}{X_i} \right) \quad (4)$$

Para o estudo realizado neste trabalho, são consideradas as observações horárias de altura de maré desde 1970 a 2010 do marégrafo de Cascais, mais três anos de dados relativamente ao trabalho de Godinho (2011). Até 2005, foram utilizados os dados do antigo marégrafo analógico (marégrafo de poço), e a partir desse ano foram utilizados os dados observados no novo marégrafo digital de Cascais (marégrafo de radar localizado na marina), apesar deste novo marégrafo estar a operar desde finais de 2003, com dados disponíveis a partir dessa data.

Às alturas de maré observada, $h(t)$, foi removida a sobreelevação meteorológica (SM) e outros parâmetros possíveis de modelar fora da análise harmónica, como a constituinte SA, a qual se encontra praticamente sobreposta (com a mesma velocidade de onda, n_i) à variação sazonal de longo período.

Para a modelação conjunta da constituinte SA e variação sazonal utilizou-se a metodologia proposta por Antunes (2010), neste caso, baseada na média decadal da variação anual do nível médio do mar (NMM), para cada década da série de dados.

Na modelação da componente não harmónica (não periódica e periódica não regular) consideraram-se apenas os efeitos atmosféricos: variação de pressão atmosférica (PA) e efeito do vento, através da modelação da SM. Dado que na maior parte das séries (anterior à série de dados do novo marégrafo digital) não dispomos de valores de PA observada, os efeitos atmosféricos foram modelados em conjunto seguindo a metodologia apresentada em Antunes e Godinho (2011) e usada em Godinho (2011). Esta metodologia recorre a uma modelação numérica da componente residual associada à contribuição do forçamento atmosférico por via do efeito barométrico inverso e do efeito do vento.

Esta metodologia provou a obtenção de bons resultados ao nível da precisão estimada para as componentes de amplitude e fase das constituintes principais, M2 e S2, cuja precisão de ajustamento do modelo (3) aos dados das alturas horárias de maré resultou num valor médio na ordem dos 2-3 cm.

Tabela I. Estimativas das constituintes semidiurnas principais, relativas ao ano de 2007.

Constituinte	Amplit. (m)	e.m.q.	Fase (°)	e.m.q.
M ₂	0,991	0,0003	93,34	0,0003
S ₂	0,346	0,0003	120,20	0,0009
N ₂	0,212	0,0003	75,76	0,0016
K ₂	0,098	0,0002	117,31	0,0025

Os valores apresentados na Tabela I expressam os resultados obtidos da precisão estimada dos parâmetros das constituintes principais ($\pm 0,3$ mm na amplitude das constituintes, relativo ao ano de 2007), os quais são elucidativos do rigor alcançado com a metodologia de estimação adoptada na análise harmónica realizada neste estudo. Desta forma, os resultados da análise da variação temporal das constituintes principais suportam uma boa confiança e fiabilidade nas conclusões que daí possam resultar.

3. RESULTADOS

Nesta secção, são apresentadas graficamente as séries temporais dos valores de amplitude (Figs. 1 e 2) e fase (Figs. 3 e 4) das constituintes semidiurnas, M2 e S2, sobreposto com o intervalo de erro associado (1σ), o qual resulta da estimativa da respectiva precisão estimada.

Em termos globais, e ao contrário do que a Tabela I possa indicar, a precisão estimada da amplitude da constituinte S2 (Fig. 2) apresenta, em termos médios, valores superiores aos da respectiva precisão em M2 (Fig. 1), oscilando entre $\pm 0,3$ mm (1%) e $\pm 1,8$ mm (6%) de precisão. Isto evidencia, uma

maior sensibilidade da amplitude da constituinte S2 à série de dados, nomeadamente, à completude da série, ou seja, à presença de períodos sem registo de dados.

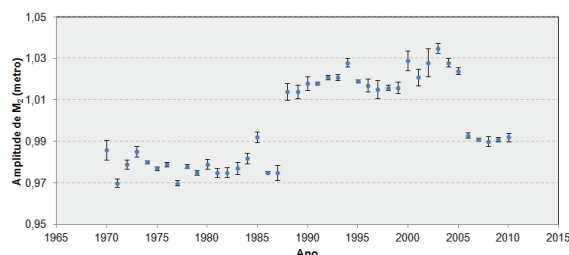


Fig. 1. Variação temporal da amplitude da constituinte semidiurna M2.

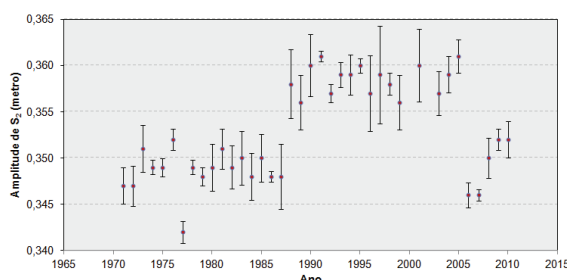


Fig. 2. Variação temporal da amplitude da constituinte semidiurna S2.

A análise das Figs.1 e 2 demonstra, em ambas as constituintes, por um lado uma ligeira tendência, e por outro, a presença de duas discontinuidades. Enquanto a discontinuidade verificada a partir de 2005 pode ser justificada pela mudança da origem dos dados, do marégrafo antigo para o novo marégrafo que se encontra numa localização diferente, já para a discontinuidade de 1987 não foi encontrada qualquer justificação que possa explicá-la. A discontinuidade de 2005 é da ordem dos 1,5 cm (de 4,3%) na amplitude de S2 e 3 cm na amplitude da M2 (de 3%), o que pode ser justificada pelas diferenças de fundo marinho na zona.

Quanto à fase das constituintes, representadas nas Figs. 3 e 4, não se verifica um padrão ou tendência idêntico, apenas, e de forma menos evidente, a mesma discontinuidade em 2005. Já quanto à precisão estimada para estes parâmetros é muito semelhante, na ordem das 6 décimas de milésima de grau, com excepção em três anos, 1974, 2000 e 2002, na fase da S2. Este facto pode estar associado ao respectivo enviesamento, falta de exactidão da estimativa, face ao valor da média dos anos adjacentes e respectiva tendência, causada, em princípio, pela presença de interrupção significativa de dados.

A variação temporal da fase da constituinte M2 denota uma tendência de diminuição até 2005, salvo a excepção de dois *outliers*, de 2000 e 2002, e uma tendência de subida a partir de 2005, associada aos dados do novo marégrafo. Facto que também se verifica na fase de S2 (Fig. 4).

Com uma tendência diferente, temos a fase da constituinte S2, que mostra uma oscilação, com uma amplitude de $1,5^\circ$ e um período na ordem dos 20 anos.

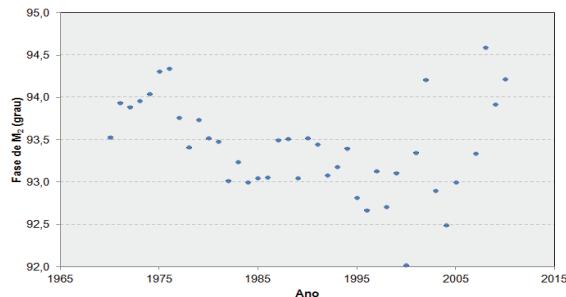


Fig. 3. Variação temporal da fase da constituinte semidiurna M2.

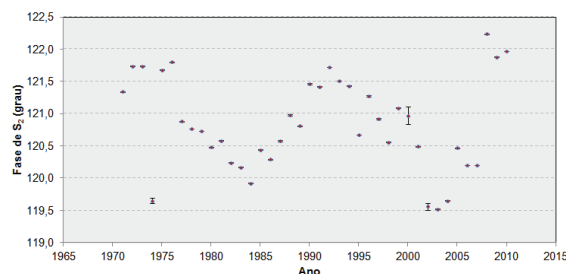


Fig. 4. Variação temporal da fase da constituinte semidiurna S2.

Nestas figuras não se encontram representados os resultados obtidos para a amplitude e fase de S2 para 1970 e a fase de M2 para 2006. Tal deve-se ao facto de se terem obtido valores absurdos. No caso de 1970 tínhamos uma série muito pequena, com menos de seis meses de dados. Em relação à série de 2006, não encontramos justificação para o valor obtido.

4. CONCLUSÃO

Após o processamento das várias séries anuais de alturas horárias de maré verificou-se que a existência de interrupções de dados de alturas de maré de uma série anual leva a um aumento da amplitude dos resíduos e diminuição da precisão dos valores obtidos.

Existe uma maior variabilidade nos resultados obtidos para a amplitude da constituinte S2 do que para a M2, quer em valor relativo quer em precisão estimada. Parece-nos que para melhorar os resultados, ao nível da precisão estimada, obtidos para a constituinte S2 se devem utilizar mais constituintes na modelação da maré, nomeadamente, constituintes que possam ter maior correlação com esta constituinte específica.

Podemos observar, nos gráficos acima, um ligeira tendência de aumento da amplitude e de diminuição na fase de cada constituinte estudada. Esta variação da amplitude das constituintes pode explicar-se pelo aumento do NMM, mas também por alterações do fundo, que originam um aumento da coluna de água afectando, assim, a propagação da onda de maré.

Apesar da fraca precisão alcançada na amplitude da S2, foi possível obter séries temporais, de amplitude e de fase destas constituintes semidiurnas, com evidentes tendências perfeitamente identificáveis. Uma tendência de subida nas amplitudes, entre 1970 e 2007, de $1,5 \text{ mm/ano}$ na M2 e $0,3 \text{ mm/ano}$ na S2 (Godinho, 2011); uma tendência de descida na fase de M2, de $0,02 \text{ }^\circ/\text{ano}$ (Godinho, 2011); e uma oscilação na fase de S2, não verificada em Godinho (2011) pelo facto de aí não ter sido considerado o processamento dos 3 últimos anos.

Estes resultados estão de acordo com um estudo global realizado por Woodworth (2010), para a região da Europa, nomeadamente, o aumento da amplitude de M2 e a diminuição da sua fase.

Com estes resultados será possível, em trabalhos futuros, realizar estudos de análise de correlação destas variações temporais com fenómenos associados, como seja, a variação da coluna de água associada ao efeito da subida do NMM, no que diz respeito à variação da amplitude, e variações da rotação e da inclinação do eixo de rotação da Terra, nomeadamente a desaceleração da rotação da Terra, no que diz respeito à variação da fase.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Instituto Geográfico Português (IGP) pela disponibilização da série de dados dos marégrafos de Cascais.

REFERÊNCIAS

- Antunes, C. (2010). Monitorização da Variação do Nível do Mar". *1^{as} Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, Instituto Hidrográfico, 21-22 de Junho, Lisboa, Portugal, 273-276.
- Antunes, C., Godinho, J. (2011). Estudo da análise harmónica de maré aplicada ao marégrafo de Cascais. *VII Conferência Nacional de cartografia e Geodesia*, 5-6 de Maio, Porto (in press).
- Foreman, M.G.G., Cherniawsky, J.Y. and Ballantyne, V.A. (2009). Versatile harmonic Tidal Analysis: Improvements and Applications. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Vol. 26, 806-817.
- Godin, G. (1972). *The Analysis of Tides*. University of Toronto Press, 264 pp.
- Godinho, J. (2011). *Variação temporal das principais constituintes harmónicas da maré de Cascais*. Tese de Mestrado em Engenharia Geográfica, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 70 pp.
- Woodworth, P.L. (2010). A survey of recent changes in the main components of ocean tide. *Continental Shelf Research*, 30 (15), 1680-1691.

Caracterização da Agitação Marítima no Arco Litoral Tróia Sines para os anos de 2009 e 2010

N. Zacarias (1), J. P. Pinto (1), C. Gama (2) e F. Sansana Silva (1)

(1) Instituto Hidrografico. nuno.zacarias@hidrografico.pt

(2) Universidade de Évora.

Resumo: Neste trabalho procedeu-se ao estudo da agitação marítima, para a área que compreende todo o Arco Litoral Tróia Sines (ALTS) nos anos de 2009 e 2010. Caracterizou-se a agitação marítima ao largo e junto à linha de costa utilizando registos da boia ondógrafo de Sines e resultados das simulações do modelo SWAN, acoplados os modelos ALADIN e Meso-NH como forçamento atmosférico. Verificou-se que os Invernos nestes dois anos foram mais energéticos do que a média dos últimos 20 anos. A agitação marítima é fortemente condicionada pelos principais elementos fisiográficos (Cabo Espichel, Banco do Cambalhão, Canhão de Setúbal e Cabo de Sines) existentes na área de estudo. A faixa costeira entre o limite norte do ALTS e a praia da Galé encontra-se protegida da agitação predominante de NW pelo Cabo Espichel, neste mesmo setor ocorre geração de agitação local, mais frequente nos meses de verão marítimo.

Palavras chave: Agitação marítima, ALTS, SWAN, Zona de rebentação

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos tem-se aprofundado o estudo da agitação marítima na Costa Ocidental Portuguesa com a utilização de novas técnicas de análise bem como de observação. Têm sido feitos vários estudos para compreender o clima de agitação marítima utilizando dados reais observados na rede de boias ondógrafo bem como dados de simulações utilizando modelos de ondas. Neste ultimo caso por vezes torna-se difícil fazer uma boa simulação, com resolução suficiente para observar todos os processos contidos na agitação marítima bem como as transformações que esta sofre junto da linha de costa.

Neste trabalho fez-se uma análise pormenorizada da agitação marítima offshore e junto à linha de costa para o Arco Litoral Tróia Sines (ALTS). São utilizados dados reais e simulações em modo não estacionário com uma grande resolução espacial utilizando o modelo de ondas SWAN para o período desde janeiro de 2009 e junho de 2010. Devido à fisiografia do ALTS esta torna-se uma boa área para se observarem os processos de reflexão, difração, refração e empolamento das ondas e perceber como os elementos fisiográficos existentes modelam a agitação até à zona de rebentação.

2. METODOLOGIA

2.1 Dados reais

Para a caracterização da agitação marítima do ALTS, foram utilizados dados da boia Ondógrafo de Sines pertencente ao Instituto Hidrográfico, fundada na posição 37.9211° N 008.9289° W a 97m de profundidade. Esta é uma boia direcional Datawell do tipo Directional Waverider, as séries temporais são constituídas por elevações e declives relativamente a duas direções perpendiculares entre si, norte-sul e este-oeste. A aquisição dos dados foi

efetuada de 3 em 3 horas durante períodos de 20 minutos. Em situações de temporal a aquisição foi efetuada em modo quase contínuo.

2.2 Temporais

Procedeu-se a caracterização dos períodos de temporal ao longo do período de estudo. O critério usado para a definição de cada período de temporal teve por base os critérios de Costa e Esteves. (2008) no que se refere à altura das ondas, isto é, considerou-se que ocorreu um temporal sempre que a altura significativa atingiu o limiar de 3.5m durante um período de pelo menos 2.5h, tendo-se verificado valores máximos superiores a 4.5m.

2.3 Modelo de Ondas SWAN

Para caracterizar a agitação marítima ao longo do ALTS no período de estudo (“hindcast”) foi necessário recorrer ao modelo de ondas SWAN em modo não-estacionário, uma vez que só dispomos de informação de agitação marítima para a boia ondógrafo de Sines. Recorreu-se ao modelo SWAN que descreve a geração de ondas local, acoplado a um modelo oceanico, WAVEWATCH III (WW3), que forneceu as condições fronteira, que permitiu representar a propagação e transformação das ondas em águas pouco profundas. Os dados relativos ao forçamento meteorológico foram cedidos pelo Instituto de Meteorologia (IM). Foram utilizados os dados do campo de ventos a 10m de altura (velocidade do vento e direção) resultantes de simulações realizadas usando o modelo de previsão do tempo ALADIN. A batimetria utilizada foi disponibilizada pela Divisão de Hidrografia do Instituto Hidrográfico (IH). Os dados disponíveis não são muito recentes. Este facto poderá condicionar a qualidade das simulações do modelo em particular junto à costa. Os dados da batimetria possuem uma escala de 2’’. De forma a obter dados de

altura de água mais próximos da realidade, foi somado à batimetria a altura de maré, isto para cada espaço temporal da simulação. Os dados de maré utilizados foram disponibilizados pelo IH e pertencem ao marégrafo de Sines.

Foram criadas duas grelhas para o modelo SWAN, a malha SWAN_1 que permitiu retirar dados de agitação marítima de onze pontos offshore fornecidos pelo WW3 e a SWAN_2 com uma melhor resolução espacial que permitiu seleccionar dezasseis pontos na zona de rebentação (Tabela I). Esta última teve como condições fronteira os resultados da simulação da grelha SWAN_1. Os pontos foram escolhidos com o com o intuito de analisar o efeito de algumas particularidades da fisiografia do relevo (Cabo Espichel e Serra da Arrábida) ou da batimetria adjacente (Canhão Submarino de Setúbal e Banco do Cambalhão).

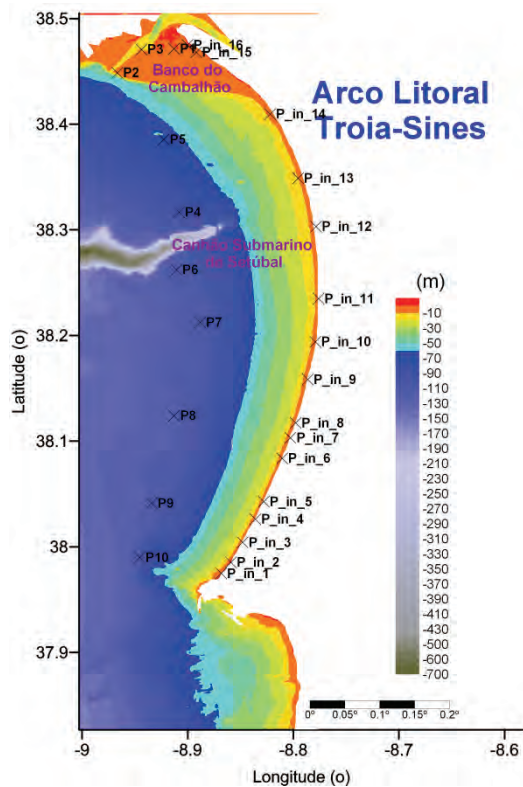


Fig 1. Localização dos pontos utilizados para caracterizar a agitação marítima ao longo do ALTS.

Tab. I. Parâmetros das grelhas computacionais utilizadas nas simulações do SWAN (*fmin* - frequência mínima; *fmax* - frequência máxima; *nf* - número de frequências; *nθ* - número de direcções; *ng* - número de pontos).

Grelhas	Este	Sul	Δx (°)	Δy (°)	$\Delta x * \Delta y$ (°)
SWAN_1	-8.975	37.85	0.220	0.650	0.0022 * 0.00325
SWAN_2	-8.910	37.96	0.140	0.540	0.0007 * 0.0009
Grelhas	<i>fmin</i> (Hz)	<i>fmax</i> (Hz)	<i>nf</i>	<i>nθ</i>	<i>ngx</i> × <i>ngy</i> = <i>np</i>
SWAN_1	0.05	0.6	29	36	100 x 200 = 20000
SWAN_2	0.05	0.6	29	36	200 x 600 = 120000

A implementação de um modelo de reconstituição (“hindcast”), neste caso de agitação marítima, exige

sempre uma validação com dados reais. Neste estudo em concreto foram utilizados os registos da boia de Sines para comparar com os resultados obtidos a partir das simulações do modelo. Foram analisados alguns parâmetros estatísticos, tais como o erro quadrático médio (RMSE), enviesamento (bias), coeficiente de correlação R e o *scatter index* (SI), este último representa na realidade o RMSE normalizado com os valores de observação, permitindo assim compreender a capacidade do modelo de representar as condições de agitação de forma coerente (Rusu, 2011). Sendo X os valores obtidos através do SWAN e Y os valores registados na boia de Sines temos:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}$$

$$bias = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)}{n}$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\left(\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \right)^{1/2}}$$

$$SI = \frac{RMSE}{\bar{Y}}$$

Na Figura 2 está representado o diagrama de dispersão das alturas significativas registadas na boia de Sines com as alturas significativas obtidas a partir do modelo, bem como os valores dos parâmetros estatísticos. Obtivemos um coeficiente de correlação de 0.9483, um SI de 0.175, um RMSE de 0.2923 e um enviesamento de 0.054.

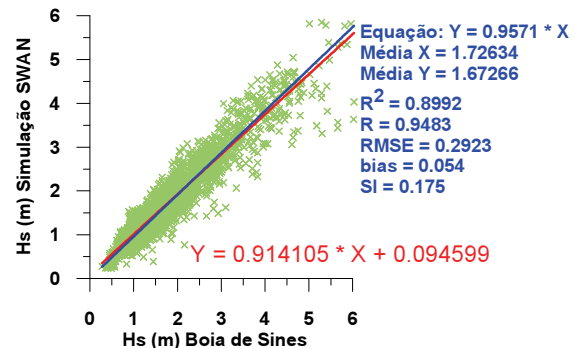


Fig.2. Diagrama de dispersão das alturas significativas registadas na boia de Sines com as alturas significativas obtidas a partir do modelo na posição da boia de Sines. São apresentadas as retas de regressão linear obtidas para a distribuição dos pontos, passando pela origem (azul) e a reta de melhor ajuste não passando pela origem (vermelho).

2.4 Zona de rebentação

A zona de rebentação não é estática e varia ao longo do tempo de acordo com o efeito da maré e as características da ondulação incidente. Utilizou-se então um método para definir a zona de rebentação ao longo do tempo. Esta zona foi definida como a zona onde a onda tem maior probabilidade de sofrer empolamento. Assim, para cada latitude, consideraram-se apenas as células que se encontram a 500 metros da linha de costa, tendo-se determinado o ponto de rebentação na célula que apresenta uma altura significativa mais elevada.

3. RESULTADOS

3.1 Agitação Marítima na Boia de Sines (registos na boia de Sines)

Para o período de estudo não se obteve uma série temporal completa para os registos na boia de Sines. Obtiveram-se 77% de registos válidos, 89% no período de verão marítimo e 63% no período de inverno marítimo.

Um período de um ano e meio não é representativo para se fazer uma análise climatológica. Por este motivo usou-se a análise feita por Costa e Esteves (2008), onde se considerou os dados obtidos na boia ondógrafo de Sines para um período de 20 anos. Analisando a figura 3 observa-se que os meses de janeiro e fevereiro de 2009 e 2010 foram muito mais energéticos do que a média dos últimos 20 anos. Para os restantes meses os valores são muito semelhantes. Para o Período de pico (Tp) os valores são semelhantes em todos os meses.

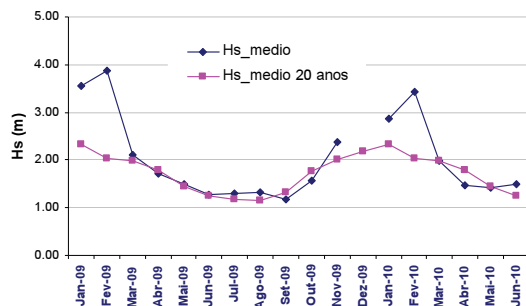


Fig.3. Valores médios mensais para a altura significativa (Hs). A azul valores médios mensais para o período de estudo. A rosa valores médios mensais utilizando uma série de 20 anos (1988-2008) (adaptado de Costa, et al. (2008)).

Quanto à direção observou-se que para os octantes W e NW ocorre uma diferença das ocorrências em cerca de 7%. Para as restantes direções os valores são muito semelhantes. Mais de 95% da agitação provem dos octantes W e NW.

3.2 Padrão da agitação marítima ao largo do ALTS tende por base as simulações do modelo SWAN

Foi feita uma análise dos parâmetros estatísticos de altura significativa (Hs), altura de swell (Hswell) e Tp para cada um dos pontos offshore em todo o período estudado. Verificou-se um aumento progressivo nos valores máximos e valores médios de norte para sul para a Hs e Hswell. Para o Tp ocorre também um aumento dos valores médios ao longo do ALTS. A percentagem de Hswell presente na altura significativa é menor que 30% para os primeiros quatro pontos a norte, aumentando drasticamente entre o Banco do Cambalhão e o Canhão de Setúbal (P5 e P4 respetivamente). A sul do Canhão submarino de Setúbal, a altura de swell presente na altura significativa ronda os 60%. Analisando a figura 4 verificamos que ocorre a rotação gradual da direção da agitação de Sudoeste para Noroeste ao longo do ALTS de norte para sul.

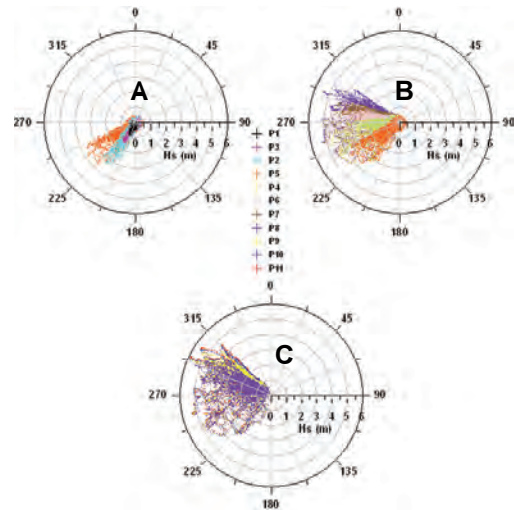


Fig.4. Diagramas polares de altura significativa para os pontos offshore. Os pontos estão representados de Norte para Sul. A – pontos P1, P2, P3, e P5; B – pontos P5, P4, P6 e P8; C – pontos P8, P9, P10 e P11.

É notório o efeito sombra do Cabo Espichel sobre a direção e altura significativa. Este efeito está de acordo com os resultados obtidos por outros autores (Quevauviller, 1987, Gama, 2005, Jacob et al, 2009). O extremo norte do ALTS está protegido da agitação de NW até ao ponto P4 (Norte do Canhão de Setúbal). O Cabo Espichel provoca uma difração da agitação e por este motivo predomina a agitação de WSW e SSW em P1, P3, P2 e P5.

Os dados resultantes da simulação mostram que a norte do Canhão de Setúbal o Hswell possui pouco peso nos valores de altura significativa. Isto deve-se em grande parte ao efeito sombra provocado pelo Cabo Espichel. A análise da agitação nesta região revela que ocorrem períodos em que esta se faz sentir de N e NNE. Sabemos também que nesta área os valores médios de Tp são próximos de 7s. Estas constatações sugerem a ocorrência de geração de agitação local.

3.3 Padrão da agitação marítima na zona de rebentação em situações de temporal

Foram identificados 14 temporais, classificados em 2 grupos tendo em conta a direção da agitação. Um grupo com temporais provenientes do quadrante W – N (figura 5) e temporais provenientes do quadrante W – S (figura 6).

Para os temporais provenientes do quadrante W – N a altura significativa diminui gradualmente de Sul para Norte em todo o ALTS. Para os temporais provenientes do quadrante W – S a altura significativa mantém-se constante até aos 38.34° de latitude. A partir dos 38.42° de latitude a altura significativa diminui significativamente devido à presença do Banco do Cambalhão. Este provoca a rebentação da ondulação ao largo, resultando como consequência valores menores de altura significativa na zona de rebentação. Entre os 38.325° e os 38.390° de latitude em todos os temporais observa-se um empolamento seguido de uma diminuição e novo

empolamento da altura significativa média. Este comportamento, evidencia de facto o efeito do Canhão de Setúbal na altura significativa. Na extremidade sul do ALTS observa-se uma estrutura muito irregular que coincide com a zona imediatamente a norte do Cabo de Sines.

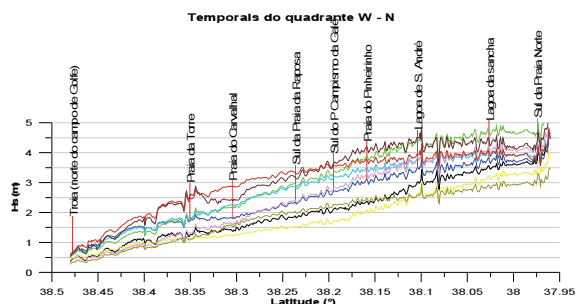


Fig. 5. Altura significativa média para as tempestades provenientes do quadrante W - N ao longo do ALTS.

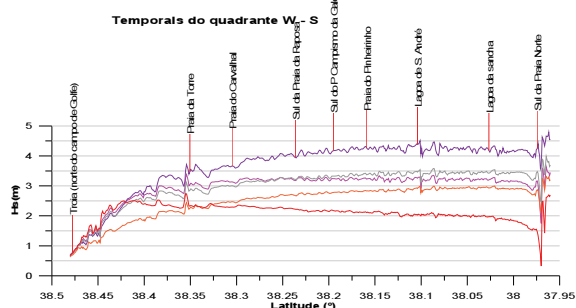


Fig. 6. Altura significativa média para as tempestades provenientes do quadrante W - S ao longo do ALTS.

4. CONCLUSÃO

Conclui-se de facto que o padrão da agitação é fortemente condicionado pelos elementos fisiográficos. Criou-se então um modelo conceptual da influência do Canhão de Setúbal, Cabo Espichel, Cabo de Sines e Banco do Cambalhão no padrão de agitação marítima. Este modelo está esquematizado na figura 7. Nela estão identificadas as faixas da linha de costa sob influência dos quatro elementos fisiográficos. Importa referir que as fronteiras não são fixas podendo mover-se tendo em conta a altura significativa e a direção de pico da agitação que chega à área de estudo. A faixa delimitada pela linha azul representa a zona de influência do Banco do Cambalhão, que se faz sentir para todo o período de estudo. A faixa delimitada pela linha vermelha representa a zona de influência do Canhão de Setúbal, que se manifesta apenas em situações de temporal. As faixas delimitadas pelos tracejados representam as zonas de influência do Cabo Espichel, apenas relevantes quando a agitação provém do quadrante W-N, cerca de 85% do período de estudo. A faixa delimitada pela linha roxa representa a faixa costeira de influência do Cabo de Sines e do banco sedimentar adjacente, esta é mais intensa em períodos de temporal provenientes do quadrante W-S.

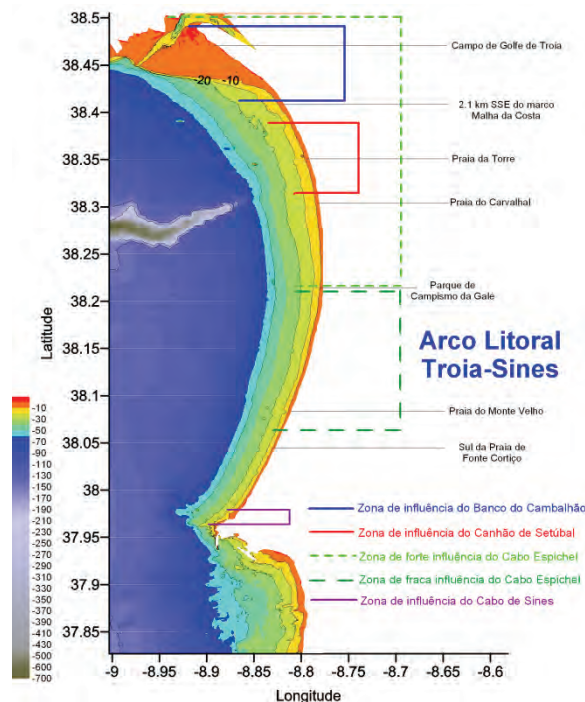


Fig. 7. Modelo conceptual para a influência dos elementos fisiográficos na agitação marítima. A linha azul delimita a faixa costeira sob influência do Banco do Cambalhão; A linha vermelha delimita a faixa costeira sob influência do Canhão de Setúbal; O tracejado verde-claro, delimita a faixa costeira sob forte influência do Cabo Espichel; O tracejado verde-escuro, delimita a faixa costeira sob fraca influência do Cabo Espichel; A linha roxa delimita a faixa costeira sob influencia do Cabo de Sines.

REFERÊNCIAS

- Costa, M., e Esteves, R. (2008). *Clima de Agitação Marítima na Costa de Portugal Continental*. Instituto Hidrográfico. Lisboa: Instituto Hidrográfico.
- Gama, C. (2005). *Dinâmica de Sistemas Sedimentares do Litoral Ocidental Português a Sul do Cabo Espichel*. PhD thesis. Universidade de Évora, Évora.
- Jacob, J., Gama, C., Salgado, C., Liu, J., e Silva, A. (2009). Shadowing effects on beach morphodynamics during storm events on Tróia-Sines ambayed coast, southwest Portugal. *Journal of Coastal Research*, SI56, ICS2009, 73-77.
- Quevauviller, P. (1987). *Etude Geomorphologique, Sedimentologique et Geochimique du Littoral de Galé et de L'Estuaire du Sado (Portugal)*. Ph.D. thesis. Bordeaux, France: Université de Bordeaux.
- Rusu, E. (2011). Strategies in using numerical wave models in ocean/coastal applications. *Journal of Marine Science and Technology*, 19, 58-75.

Lagrangian transport patterns in the Ria de Vigo, NW Spain

F. Huhn (1), A. von Kameke (1), S. Allen-Perkins (2), P. Montero (2), A. Venancio (3) e V. Pérez-Muñuzuri (3)

- (1) Group of Non-Linear Physics, University of Santiago de Compostela, Spain. (florian.huhn@usc.es)
 (2) INTECMAR, Xunta de Galicia, Spain.
 (3) MeteoGalicia, Consellería de Medio Ambiente, Santiago de Compostela, Spain.

Abstract: Estuaries and coastal embayments can exhibit complex flow patterns driven by the tides, local high-frequency winds and the flow on the shelf. We study the surface transport in such a flow in the Ria de Vigo, NW Spain, analyzing the output of the coastal model MOHID with Lagrangian methods and comparing the results to drifter experiments. Lagrangian Coherent Structures (LCS) are extracted from the model flow and can be identified with transport barriers. Comparing the trajectories of surface drifters to these transport barriers in different meteorological situations, we find that the drifter trajectories are in agreement with the coherent water masses predicted by the model. Additionally, we study Lagrangian transport properties of the flow using very high frequency (VHF) coastal radar measurements. The knowledge of the global transport patterns in this coastal region is indispensable for estimating the leeway of contaminations, and for ecological studies that deal with the drift of marine species.

Key Words: Chaotic mixing, Lagrangian Coherent Structures, Estuarine flow, Finite-Time Lyapunov Exponent

Resumo: Estuários e enseadas costeiras podem apresentar complexos padrões de circulação induzidos pela ação da maré, ventos locais de alta frequência e pelo escoamento costeiro. O objetivo deste trabalho é estudar o escoamento na superfície da ria de Vigo, NW, Espanha, analisando os resultados do modelo numérico MOHID com métodos lagrangianos e comparando os seus resultados com experiências com drifters. Lagrangian Coherent Structures (LCS) são obtidos pela hidrodinâmica do modelo e podem ser identificadas como barreiras ao transporte.

Comparando as trajetórias dos drifters na superfície com estas barreiras de transporte em situações meteorológicas diferentes, concluiu-se que as trajetórias dos drifters eram coerentes com as propriedades de transporte das massas de água simuladas pelo modelo. Adicionalmente estudou-se as propriedades do transporte lagrangiano usando as medidas de um radar de alta frequência (VHF). O conhecimento dos padrões de circulação nesta região é indispensável para estimar a deriva dos contaminantes e para estudos ecológicos de espécies marinhas que estão sujeitas à deriva costeira.

Palavras chave: Mistura caótica, Lagrangian Coherent Structures, Escoamento Estuarino, Finite-Time Lyapunov Exponent

1. INTRODUCTION

Even simple time-dependent velocity fields can exhibit chaotic transport, characterized by exponentially fast separation between initially close fluid particles. Therefore, understanding and predicting transport paths in a chaotic coastal flow is a challenging task. In order to study such a tidal and wind-driven coastal flow in the Ria de Vigo, NW Spain, we use Lagrangian Coherent Structures (LCS) (Haller and Yuan, 2000; Peacock and Dabiri, 2010, and references therein) and Synoptic Lagrangian Maps (SLM) (Lipphardt *et al.*, 2006). Both methods are based on the computation of trajectories of fluid particles in the flow. LCS are lines in the two-dimensional surface flow that define dynamically different water masses. These lines are organizing centers for Lagrangian transport in the time-dependent flow. As material lines, LCS are transport barriers and cannot be crossed by fluid

particles. LCS have successfully been used to study open ocean mesoscale flows (e.g., Huhn *et al.*, 2012, Beron-Vera *et al.*, 2010, Lehahn *et al.*, 2007), and several coastal regions (Haza *et al.*, 2010, Gildor, 2009, Shadden, 2009, Branicki and Malek-Madani, 2010).

The second Lagrangian method, SLM, deals with the origin and fate of tracer particles in a flow with open and closed boundaries and is especially useful to identify different transport patterns through a partially open flow domain.

Using both methods, we extract typical Lagrangian patterns in the surface flow of the Ria de Vigo that play a key role for water exchange with the shelf and for the leeway of drifting objects or contaminations. We find a good agreement comparing LCS to the trajectories of real surface drifters from several field experiments.

2. DATA AND METHODS

2.1. Flow data sets

2.1.1 Hydrodynamic Model

We use the surface layer of the 3-D hydrodynamic nested baroclinic hydrostatic model MOHID (IST Lisbon), with velocity fields with a horizontal resolution of 300 m that are archived every hour. The model is run operationally by MeteoGalicia, and is forced by wind, the tides and river outflow. Details can be found in (Huhn *et al.*, 2012), and general information about the model at www.mohid.com and www.meteogalicia.es.

2.1.2 VHF Radar

The CODAR Very High Frequency (VHF) Radar installed recently at the Ria de Vigo provides estimated surface velocity fields with a resolution of about 400 m resolution every 30 min.

2.2 Lagrangian methods

In chaotic flows the properties of trajectories of fluid particles are highly dependent on their initial position and initial time. Therefore, the flow data is analyzed by integrating a large number of Lagrangian trajectories starting at initial positions on a fine grid. We use a 4th order Runge-Kutta advection scheme and a linear interpolation of the velocity field in time and space. The finite integration time is chosen close to typical time scales of the flow such that Lagrangian transport patterns are captured by the trajectories. LCS and SLM are then computed from a high number of trajectories.

2.2.1 LCS from Finite-Time Lyapunov Exponents

LCS that represent transport barriers can be estimated as ridges in the field of the Finite-Time Lyapunov Exponent (FTLE). The FTLE represents the exponential separation rate between initially close fluid particles, such that sharp lines of high separation rates mark the border between dynamically different water masses. We seek for such lines to identify transport barriers in the coastal flow that determine the geometry of the two-dimensional surface transport. By advecting particles in forward and backward time direction, attracting and repelling LCS can be extracted, both being transport barriers. For details about the extraction of LCS in our study see (Huhn *et al.*, 2012, and references therein).

2.2.2 Synoptic Lagrangian Maps

SLM provide information about the origin and fate of trajectories in a flow with closed and open boundaries (Lipphardt *et al.*, 2006). We record the boundary points where a trajectory enters and leaves the bounded domain of interest, as well as the entrance and exit time. From this data we determine the pathways of fluid particles across the domain and compute residence times.

3. RESULTS

3.1. LCS in the Ria de Vigo

LCS are attached to prominent features of the coastal boundary, i.e., islands and capes. This indicates that the geometry of the flow is dominated by the coastal boundaries rather than by turbulent flow structures. Fig.1 exemplarily shows transport barriers in the model flow for a southwind condition. Known retention zones (Ria de Aldan, Ria de Baiona) are cut off from the ambient circulation which could be an explanation for the high plankton concentrations often observed at these locations.

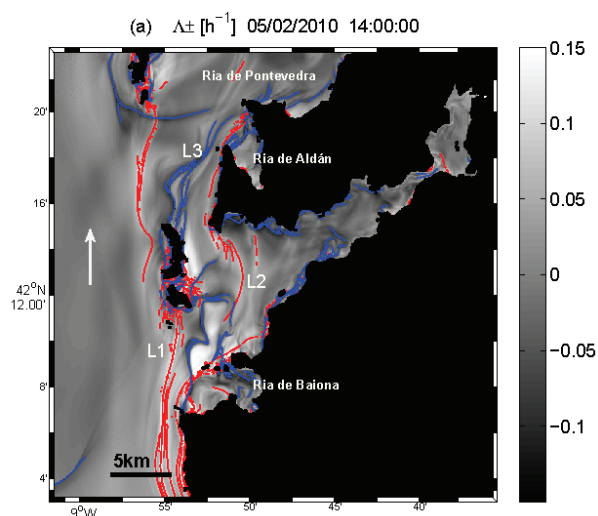


Fig. 1. Attracting (blue) and repelling (red) LCS in the Ria de Vigo reveal a detailed picture of the surface flow during typical southwind conditions. The water body entering the estuary can easily be defined and can be distinguished from the water body drifting by on the shelf.

We compare LCS, representing transport barriers, to trajectories of real surface drifters and find a good agreement (Fig.2). The drifters stay in the water masses defined by the LCS. In some cases drifters slightly cross a transport barrier, so an uncertainty in the position of LCS of about 1 km can be estimated. This is due to modelling uncertainties especially close to the complex boundaries.

3.2. SLM in the Ria de Vigo

SLM show the pathways of trajectories and the in- and outflow through the three open boundaries of the Ria de Vigo: the north mouth, the south mouth and the inner bay (Fig. 3). Flow patterns are dominated by wind forcing and the flow on the shelf.

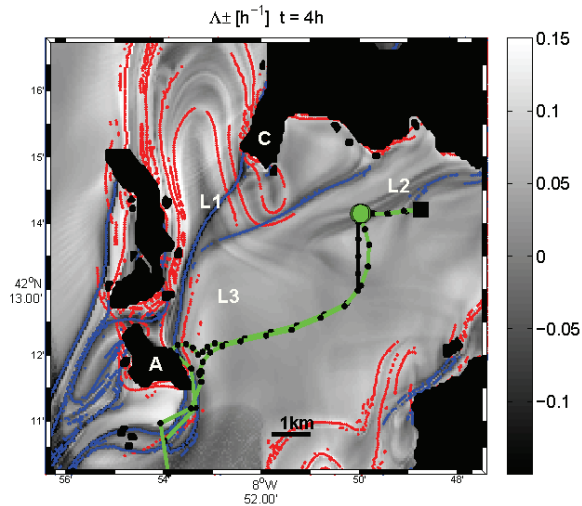


Fig. 2. Attracting (blue) and repelling (red) LCS with trajectories of real surface drifters (green). Drifters stay in the water body defined by the LCS.

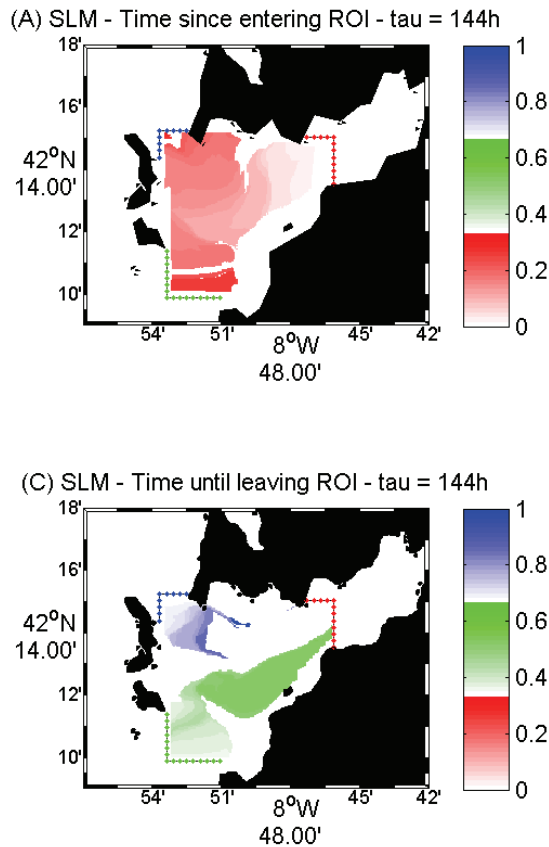


Fig.3. Instantaneous Synoptic Lagrangian Map computed from trajectories in the VHF radar surface velocity field. (Top) Large parts of the surface water (red) enter the domain from the inner bay. (Bottom) The water masses leaving the domain through the south mouth (green) and through the north mouth (blue) can be identified.

Maps of the residence time in the domain of interest show highly intermittent time-dependent Lagrangian patterns with residence times of up to 10 days (Fig. 4).

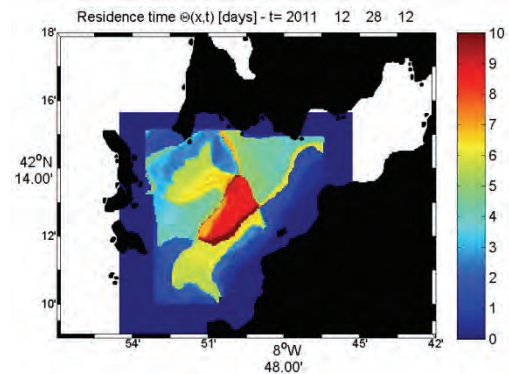


Fig.4. Instantaneous map of residence time of tracer particles in the domain with highly irregular patterns on 28 December 2011. In the center a long persisting fluid patch can be seen that stays in the domain for up to 10 days.

4. CONCLUSIONS

The application of Lagrangian methods to complete two-dimensional velocity data sets from a model and from VHF radar reveals a new view on complex surface transport patterns in the tidal estuary Ria de Vigo. Coastal boundaries play a key role in exchange of water between the estuary and the shelf. The water masses defined by LCS computed from the model are in good agreement with drifter trajectories of real surface drifters. Future work will deal with the relation of surface transport patterns with wind forcing and river outflow.

Acknowledgments

The authors gratefully acknowledge funding through projects DRIFTER (ERACCT2005-016165), RAIAco (0520_RAIA_CO_1_E), and research grant PGIDIT09MDS009DT. Special thanks go to Garbiñe Ayensa Aguirre for helping to collect the drifter data and the Galician Coast Guard for supporting the field work, as well as to Eva Pérez for providing the model data and the GOFUVI Group, Vigo, for providing the VHF radar data.

REFERENCES

- Beron-Vera, F. J., Olascoaga, M. J., and Goni, G. J. (2010). Surface ocean mixing inferred from different multisatellite altimetry measurements. *J. Phys. Oceanogr.*, 40, 2466-2480.
- Branicki, M., and Malek-Madani, R. (2010). Lagrangian structure of flows in the Chesapeake Bay: challenges and perspectives on the analysis of estuarine flows. *Nonlin. Proc. Geophys.*, 17, 149-168.
- Gildor, H., Fredj, E., Steinbruck, J., and Monismith, S. (2009). Evidence for submesoscale barriers to horizontal mixing in the ocean from current measurements and aerial photographs. *J. Phys. Oceanogr.*, 39, 1975-1983.

- Haller, G. and Yuan, G. (2000). Lagrangian coherent structures and mixing in two-dimensional turbulence. *Physica D*, 147, 352-370.
- Haza, A.C., Özgökmen, T.M., Griffa, A., Molcard, A., Poulain, P.M., and Peggion, G. (2010). Transport properties in small-scale coastal flows: relative dispersion from VHF radar measurements in the Gulf of La Spezia. *Ocean Dynamics*, 60, 861-882.
- Huhn, F., von Kameke, A., Pérez-Muñuzuri, V., Olascoaga, M.J., and Beron-Vera, F.J. (2012). The impact of advective transport by the South Indian Ocean Countercurrent on the Madagascar plankton bloom. *Geophys. Res. Lett.*, 39, L06602.
- Huhn, F., von Kameke, A., Allen-Perkins, S., Montero, P., Venancio, A., and Pérez-Muñuzuri, V. (2012). Horizontal Lagrangian transport in a tidal-driven estuary – Transport barriers attached to prominent coastal boundaries. *Cont. Shelf Res.*, doi:10.1016/j.csr.2012.03.005 (in press).
- Lehahn, Y., d'Ovidio, F., Lévy, M., and Heifetz, E. (2007). Stirring of the northeast Atlantic spring bloom: A Lagrangian analysis based on multisatellite data. *J. Geophys. Res.*, 112, C08005, doi:10.1029/2006JC003927.
- Lipphardt, B.L. Jr., Small, D., Kirwan, A.D. Jr., Wiggins, S., Ide, K., Grosch, C.E., and Paduan, J.D. (2006). Synoptic Lagrangian maps: Application to surface transport in Monterey Bay. *J. Mar. Res.*, 64, 221-2247.
- Peacock, T., and Dabiri, J. (2010). Introduction to Focus Issue: Lagrangian Coherent Structures, *Chaos*, 20, 017501.
- Shadden, S.C., Lekien, F., Paduan, J.D., Chavez, F.P., and Marsden, J.E. (2009). The correlation between surface drifters and coherent structures based on high-frequency radar data in Monterey Bay. *Deep-Sea Res. I*, 56, 161-172.

Biogeochemical modelling of the NW Iberian Margin

C. Rocha (1), R. Nolasco (1), N. Cordeiro (1), R. Reboreda (1), J. Dúbert (1) e H. Queiroga (2)

(1) CESAM – Dep. Física, Universidade de Aveiro, Portugal

(2) CESAM – Dep. Biologia, Universidade de Aveiro, Portugal

Abstract: Providing oceanographic data on biological and chemical variables has become an issue of scientific concern over the last years. The demand for this kind of information arises from a range of fields and applications such as scientific research on marine ecosystems, monitoring of seawater quality and decision-making support for marine and coastal management. This work consists of an overview on the incorporation of a nitrogen-based (NPZD) biogeochemical module into a regional oceanic circulation model (ROMS) for the NW Iberian Margin for the 2007 to 2010 period. The study focuses especially in both empirical and objective model performance assessments through comparison of chlorophyll-a model outputs with an extensive satellite dataset produced by Ifremer/CERSAT and in the verification of the model ability to reproduce theoretically expected phenomena. The model validation shows that despite some flaws, as a general underestimation of chlorophyll-a surface values and an anticipation in the starting of the spring bloom, the model response is satisfactory.

Keywords: biogeochemical cycles, chlorophyll-a, ROMS, OC5, Iberian Margin

1. INTRODUCTION

In the mid-latitude regime, the phytoplankton is known to be both light and nutrient limited (Lévy et al., 2005). Being one of the main factors controlling the circulation in the upper layers of the ocean waters (Fraga, 1981), coastal upwelling has an important role in defining the distribution of high primary production areas. In fact, due to the importance of the high biological productivity of the world regions where this phenomenon occurs, they are profusely researched. Several of these studies also include the use of numerical oceanic models with coupled biogeochemical solving capabilities, as Gruber et al. (2006) and Powell et al. (2006).

The Iberian upwelling system is the northern part of the North East Atlantic upwelling and the only upwelling region existing in Europe. A considerable amount of physical and biogeochemical data from historical and recent observations is available for the region. However, no thorough attempt of modelling the biogeochemical dynamics of this important system has been undertaken.

Aiming to create a fully-functional and reliable tool that may improve the current knowledge of this complex marine ecosystem - and even predict the dynamics of its primary biogeochemical elements, a nitrogen-based biogeochemical module was incorporated into a regional oceanic circulation model for the northwestern Iberian Margin.

In this work, we tried to provide an overview of the preliminary performance of this incorporation and identify its most significant limitations, mainly through comparison between model estimated surface chlorophyll-a concentrations and an extensive satellite imagery dataset produced and distributed by Ifremer/CERSAT, which has daily availability and full coverage for the study period and area (<ftp.ifremer.fr/pub/cersat/products/>).

2. NUMERICAL OCEAN MODEL

A high-resolution, $1/27^\circ$ (~ 3 km), optimized configuration of the Regional Ocean Modelling System, (ROMS) with embedded nesting capabilities through Adaptive Grid Refinement In Fortran (AGRIF) (Penven et al., 2006) is used to simulate the ocean dynamics of the Iberian System. ROMS is a split-explicit, free-surface, topography following coordinate model, designed to solve regional problems (Shchepetkin and McWilliams, 2003, 2005).

A biogeochemical module to simulate the evolution of marine ecosystem components was coupled to the hydrodynamic core model. This module uses a simple nitrogen-based NPZD configuration, based in Fasham et al. (1990), computing 4 state variables: Nutrients (nitrate), and single groups of Phytoplankton, Zooplankton and Detritus, all expressed in mmolN m^{-3} . Chlorophyll-a (mg m^{-3}) is derived from phytoplankton concentration using a chlorophyll:C ratio of 0.02 (mg Chla/mg C) and a C:N ratio of 6.625 (mmolC/mmolN), i.e., a Redfield ratio.

3. MODEL PERFORMANCE

This section presents the results attained from some of the techniques used to assess the model performance.

3.1. Overview and basic statistics

The initial analysis was the comparison of the daily/area averaged chlorophyll surface concentration for one year periods of both model and satellite (red and black plot lines in Figure 1), with calculation of differences series (blue lines in Figure 1). The values of model yearly series bias, root mean square (rms) and skill were also

determined based on satellite data and are presented in Table 1.

The assessment of the model predictive skill was done using the function

$$\text{Skill} = 1 - \frac{\sum |X_{\text{model}} - X_{\text{obs}}|^2}{\sum (|X_{\text{model}} - \bar{X}_{\text{obs}}| + |X_{\text{obs}} - \bar{X}_{\text{obs}}|)^2},$$

presented by Wilmott, C.J. (1981). It is a quantitative agreement between model and observation (satellite data) where X is the variable being compared with a time mean. Perfect agreement between model results and satellite observations will yield a skill of one and complete disagreement yields a skill of zero.

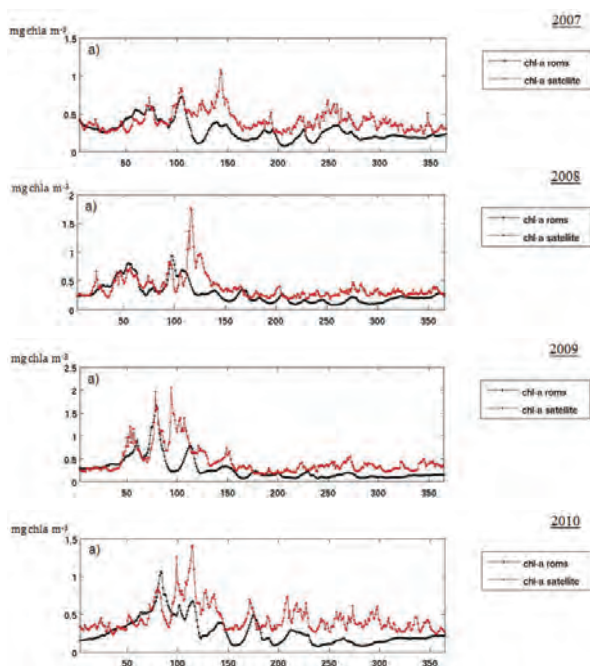


Fig. 2. (a) – 2007, 2008, 2009 and 2010 area averaged surface chlorophyll concentration time series for model outputs (in black) and satellite data (in red). The units are in milligrams of chlorophyll-a per cubic meter.

	2007	2008	2009	2010
bias	-0.134	-0.104	-0.184	-0.176
rms	0.192	0.215	0.308	0.246
skill	0.574	0.661	0.715	0.609

Table 1 - Chlorophyll-a model statistics with satellite data as reference: bias (in mg chla m³), rms (in mg chla m³) and skill for 2007, 2008, 2009 and 2010. "Worst" values highlighted in red and "best" in green.

3.2. Pbias and correlation

Based on daily time series, maps of *percentage model bias* (the sum of model error normalized by the satellite data) and *cross-correlation coefficient* at 0 lag units (correlation between model and satellite data to zero lag) were generated (Figure 3) to assess if the model is systematically underestimating or overestimating and if the variation it produces is similar to the one registered in the satellite data.

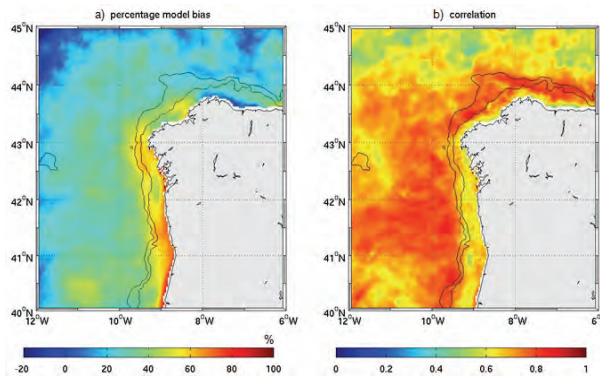


Fig. 3. (a) Model daily outputs percentage model bias for the 2007-2010 period with satellite daily data as reference (b) Cross-correlation coefficient between model and satellite daily data for the 2007-2010 period.

3.3. EOFs

Empirical orthogonal function (EOF) analysis (also referred to as Principal Component Analysis) can be used to determine the dominant orthogonal spatial and temporal signals within a dataset. Analyzing the model and satellite data using this method enables the dominant spatial and temporal patterns to be easily compared. The spatial fields describe each component in terms of its dominant spatial structures, whereas the eigenvectors give the corresponding temporal weightings for each time step. It is important to bear in mind that the absolute values of the components have no meaning, as it is the relative gradients which are important. The eigenvalues indicate the percentage variance explained by each principal component.

EOF analyses were made for monthly composites for both model and satellite datasets and the first four modes are presented in Figure 3. Monthly composites were generated in order to “compress” the information, this way allowing the use of this method on the available data, which otherwise would not be possible because of computational limitations.

4. DISCUSSION

It is important to refer that the choice of a four year period analysis was not random but it was mainly the acceptance of a trade-off based on the typical fluctuations of the biogeochemical variables to be simulated. Modeling a four year period permits to evaluate the reproduction of the intra- and inter-annual variations, as the outputs contain four complete seasonal cycles, while still retaining daily data. Moreover, it allows to undertake a model performance assessment containing two disparate, yet extremely important, scales, as the biogeochemical state variables present both rapid responses to forcing (between them and with the coupled oceanic model) and to seasonal trends.

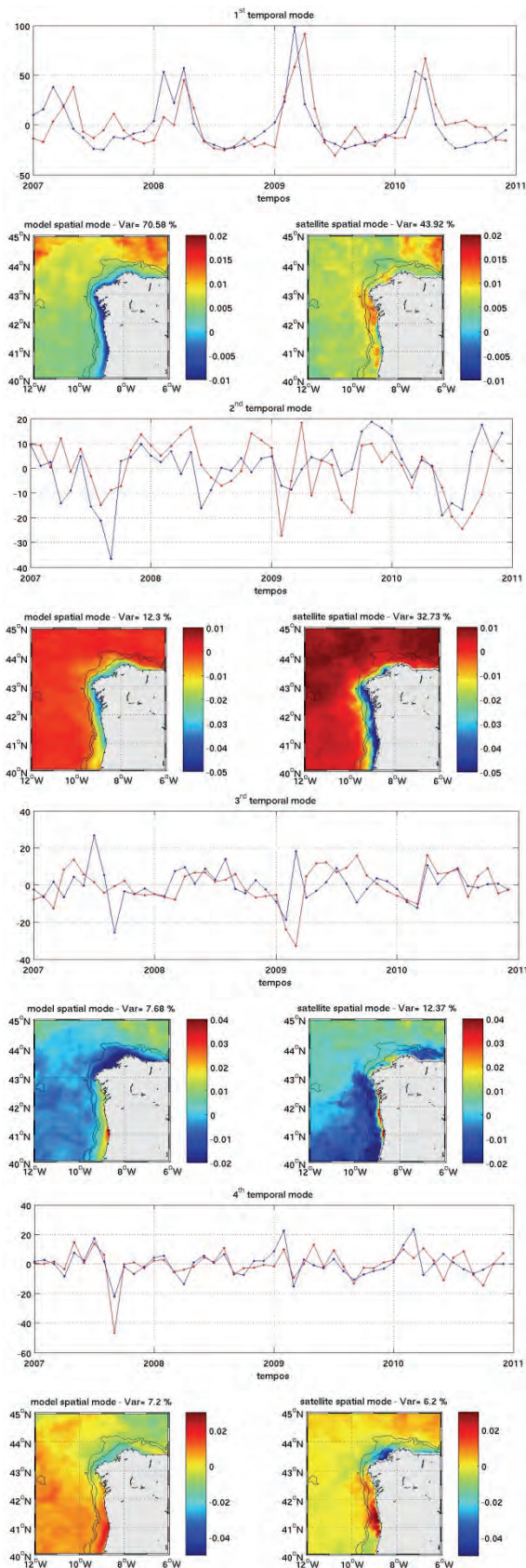


Fig. 4. Model and satellite EOF results for 2007-2010 period. Representation of the first 4 temporal modes (blue line for model, red line for satellite) and correspondent spatial modes (model on the left and satellite on the right).

Collectively, the evaluation of the quality of the biogeochemical model results seems to be positive. The model shows the capability of solving both scales of variations, with the results for seasonal cycles close to the theoretically expected and with a general behavior similar to the observed daily data.

In fact, the seasonal cycle seems to be greatly responsible for the most significant variations, with *spring blooms* and wind-induced coastal upwelling as the more relevant events.

The objective analysis of the model performance, having satellite data as reference, scored acceptable results, with values of *rms*, bias, skill, *pbias* and correlation coefficient within the interval presented by the majority of the actual works on the subject.

However, some errors and flaws were identified, such as a recurrent underestimation of phytoplankton concentrations, identified through the usually smaller chlorophyll-*a* values presented in comparison to the satellite, an anticipation of the *spring blooms*, a condition that may have its origin in an already verified overestimation of the model MLD before the spring season and the incapacity to correctly reproduce the second main peak of chlorophyll-*a* concentration, usually the April bloom.

It can be speculated that these last two errors may be associated, as an anticipation of the *spring bloom* can easily contribute to a quicker nutrient depletion on the surface waters, which would later create a limitation for the second concentration peak to occur. This “*spring bloom* anticipation” kind of problem is also identified in Shutler *et al.* (2011) as is a “temporally early water column stratification in the simulations”, and even though no relation is established between the two conditions, it is also highlighted a poor model performance for the months of April and May. Further analyses would have to be made in order to establish a doubtless relation between the two factors.

Another possible speculation, concerns the supposedly recurrent underestimation of the model. This can, in fact, be an artifact created by the direct comparison of the model surface layer with the satellite data. Oppositely to the infrared SST approach, chlorophyll products use spectral information in the visible band, which gives the sensors a higher penetration capability in the ocean waters, from a depth of between some millimeters up to several meters. This fact can lead to a significant difference, especially if the comparison is based on area averaged data. However, there is not a really good trade-off between this approach and any other one. Defining a specific depth or calculating depth-integrated concentrations, for example, does not seem to act as an improvement to the method, as the sensors penetration varies significantly in dependence of different weather and ocean conditions. Eventually, only an integrated depth daily definition, based on light penetration, would

help in the correction of this issue, but that would imply a parallel approach which was not developed.

5. CONCLUSIONS

A brief overview of the NPZD model outputs and the comparison of these with remote sensing data have provided insight into its performance, which was considered, both empirically as objectively, satisfactory. This achievement makes it possible to state that a coupled biogeochemical-ocean circulation model - a fully-functional tool that may improve the current knowledge of this complex marine ecosystem, predict its simplest dynamics and act as an evolving support for decision-makers and marine scientists alike, is available for the NW Iberian Margin, running at the inter-annual scale. However, this must be seen as a work-in-progress feature, because much is still to improve. In fact, the preliminary results and validation encourages the continuation of the work and incentives efforts to improve the global and specific response of the biogeochemical module by further tweaking module parameters.

Increasing the complexity of the biogeochemical module, for instance, by increasing the state variables in order to allow a differentiated response within each trophic compartment, is another step to further close the gap between model and reality. Improving river run-off is also mandatory, and at least the attempt to estimate seasonal biogeochemical river-ocean fluxes must be addressed. Improvements in the ocean circulation model will surely benefit the biogeochemical module too, as the latter is strongly dependent on the former.

Future works will include the simulation of longer periods, way back to the beginning of remote sensing data availability, specific events characterization, with special focus in simulating periods to which biological and physical data exist and general biogeochemical dynamics studies to specific locations. A successful attempt of incorporating this specific NPZD model (with all the present optimizations) has already been made.

Acknowledgements

This work was developed under RAIA project (BI/0313-RAIA-1-E/UA1), co-funded by POCTEP and FEDER.

REFERENCES

- Fasham, M.J.R., H.W. Ducklow and S.M. McKelvie, 1990. A nitrogen-based model of plankton dynamics in the oceanic mixed layer. *J. Mar. Res.*, 48, pp. 591-639.
- Fraga, F., 1981. Upwelling off the Galician Coast, Northwest Spain. In: Richards, F.A. (Ed.), Coastal Upwelling. AGU, Washington, pp. 176-182.
- Gruber, N., Frenzel, H., Doney, S.C., Marchesiello, P., McWilliams, C., Moisan, R.J., Oram, J.J., Plattner, G. and Stolzenbach, K.D., 2006. Eddy-resolving simulation of plankton ecosystem dynamics in the California Current System, *Deep-Sea Research*, 53, pp. 1483-1516.
- Lévy, M., Y. Lehahn, J.-M. André, L. Mémerly, H. Loisel, and E. Heifetz, 2005. Production regimes in the northeast Atlantic: A study based on Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS) chlorophyll and ocean general circulation model mixed layer depth, *J. Geophys. Res.*, 110
- Penven, P., P. Marchesiello, L. Debreu and J. Lefevre, 2008. Software tools for pre- and post-processing of oceanic regional simulations, *Environmental Modelling Software*, 23 (5), pp. 660-662.
- Powell, T.M., Lewis, C.V.W., Curchitser, E.N., Haindvoegel, D.B., Hermann, A.J. and Dobbins, E.L., 2006. Results from a three-dimensional, nested biological-physical model of the California Current System and comparisons with statistics from satellite imagery. *J. of Geophys. Res.*, Vol.111.
- Shchepetkin, A.F., and J.C. McWilliams, 2003. A method for computing horizontal pressure-gradient force in an oceanic model with a non-aligned vertical coordinate, *J. Geophys. Res.*, 108 (C3), 3090.
- Shchepetkin, A.F., and J.C. McWilliams, 2005. The regional oceanic modeling system (ROMS): a split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model, *Ocean Modelling*, 9 (4), pp. 347-404.
- Shutler, J.D., Smyth, T.J., Saux-Picart, S., Wakelin, S.L., Hyder, P., Orekhov, P., Grant, M.G., Tilstone, G.H. and Allen, J.I., 2011. Evaluating the ability of a hydrodynamic ecosystem model to capture inter- and intra-annual spatial characteristics of chlorophyll-a in the north east Atlantic, *J. Mar. Sys.* 88, pp. 169-182.
- Wilmott, C. J. (1981), On the validation of models, *Phys. Geogr.*, 2, 184-194.

Caracterização do regime térmico das águas marinhas portuguesas com base nos registos das boias ondógrafo

A. Jorge da Silva (1) e F.S. Silva (1)

(1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 49, 1249-093 LISBOA, jorge.silva@hidrografico.pt

Resumo: Os registos de temperatura da superfície do mar nas boias ondógrafo de Leixões, Sines e Faro foram usados para caracterizar o regime térmico das águas costeiras portuguesas ao largo da Península Ibérica durante os últimos quinze anos. Os dados revelam uma sazonalidade caracterizada por uma estação fria, de Dezembro a Abril, com o mínimo em Fevereiro, e uma estação quente, de Junho a Outubro. Embora Faro apresente um claro máximo em Agosto, ao largo da costa ocidental o máximo é mal definido, em consequência do afloramento costeiro, com tendência para ocorrer em Setembro em Leixões e em Outubro em Sines. É evidente uma variação interanual, em particular no verão, e sobretudo em Faro, onde também se identifica uma tendência para um aumento médio da temperatura de cerca de 1.6°C ao longo dos últimos 11 anos. Não se identifica qualquer relação evidente com o índice da Oscilação do Atlântico Norte, o que pode dever-se ao pequeno número de anos analisado.

Palavras chave: Regime térmico, Afloramento costeiro, Oscilação do Atlântico Norte

1. INTRODUÇÃO

As boias ondógrafo operadas pelo Instituto Hidrográfico (IH) sobre a plataforma continental ibérica estão dotadas de sensores de temperatura superficial que permitiram construir sucessões cronológicas da temperatura da superfície do mar ao longo de cerca de quinze anos. Por se tratar do único repositório sistematicamente construído sobre a plataforma continental, considerou-se ser do maior interesse analisá-lo, numa tentativa de caracterização do regime térmico das águas costeiras ao largo da Península Ibérica. Esta tentativa ganha especial interesse quando enquadrada no Programa MONIZEE, que o IH está a tentar implementar.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Fundeadas a, respectivamente, 20, 11 e 6.5 km da costa, as boias ondógrafo de Leixões (1998-2011), Sines (1996-2011) e Faro (2000-2011) recolhem dados térmicos em simultâneo com os dados de agitação marítima. Daqueles, seleccionaram-se apenas os recolhidos a intervalos regulares de 3 horas, para os quais, após escrutínio para identificação e eliminação de valores erróneos, se calcularam estatísticas diárias e mensais.

Em seguida, isolaram-se sucessões cronológicas com um ano de extensão, para identificação de um padrão sazonal médio e respectivas variações. Por outro lado, calcularam-se médias móveis de três meses numa tentativa de remover variações temporais da ordem de um mês, provavelmente associadas a oscilações intra-sazonais da posição do Anticiclone dos Açores. Estas sucessões foram então comparadas com sucessões idênticas do índice da Oscilação do Atlântico Norte (NAO).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores mínimos da temperatura superficial nas boias de Sines (13 °C) e Faro (14°C) (Fig. 1) estão

de acordo com as características do ramo subtropical da Água Central Oriental do Atlântico Norte, que tende a ocupar toda a coluna superficial durante o inverno em cada uma das zonas. Na bóia de Leixões, o mínimo (11 °C) reflecte adicionalmente a contribuição do escoamento fluvial durante o inverno.

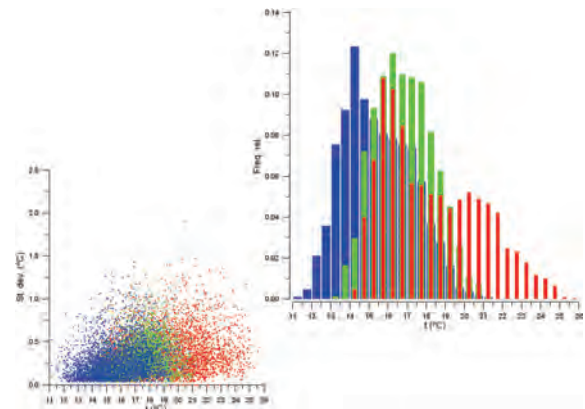


Fig 1. Frequências de ocorrência de valores tri-horários da temperatura da superfície do mar, e respectivos desvios-padrão, por classes de 0.5°C, nas bóias) ondógrafo de Leixões (1998-2011, azul), Sines (1996-2011, verde) e Faro (2000-2011, vermelho).

Os valores máximos reflectem essencialmente a interacção dos efeitos da radiação solar e do vento. Nas bóias de Leixões e Sines estes efeitos parecem resultar num equilíbrio idêntico. Na bóia de Faro, contudo, os máximos estão associados a uma segunda moda da distribuição, e certamente reflectem a influência da Contra-Corrente Costeira (García Lafuente e Ruiz, 2007). Ocasionalmente, esta corrente ultrapassa para W o Cabo de Santa Maria, chegando a contornar o Cabo de S. Vicente, e penetrando na plataforma interna ao largo da costa ocidental (Relvas *et al.*, 2007).

As médias diárias da temperatura revelam, sobretudo no verão, importantes oscilações com períodos da

ordem de um mês (Fig. 2). São evidentes em Leixões e Faro, onde as amplitudes são máximas, chegam a ultrapassar 6°C, sendo menos observáveis em Sines. É possível que estas oscilações térmicas estejam associadas a oscilações na posição do anticiclone, as quais determinam intensificação ou relaxamento do vento. No caso de Faro, a relaxação poderá desencadear reforço da Contra-Corrente Costeira, com conseqüente aumento da temperatura a W do Cabo de Santa Maria. Em Sines, a menor conspicuidade das oscilações poderá dever-se à localização desta estação, mais frequentemente próxima da latitude média do anticiclone.

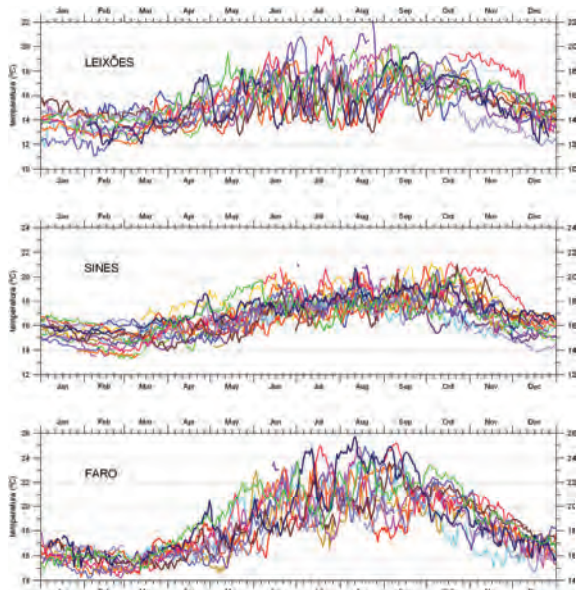


Fig 2. Séries temporais das médias diárias da temperatura da superfície do mar nas bóias ondógrafo de Leixões (1998-2011), Sines (1996-2011) e Faro (2000-2011). Cada ano foi representado com uma cor diferente para permitir uma melhor sugestão da variabilidade, enquanto a sobreposição dos anos sustenta o padrão sazonal.

O padrão sazonal no período analisado (Fig. 3) revela um “inverno” correspondente ao primeiro trimestre, com o mínimo em Fevereiro, e um período “estival” de Junho a Outubro. Enquanto em Leixões e Sines a tendência é marginalmente bimodal, com um ligeiro mínimo relativo em Julho (ou Julho-Agosto), em Faro observa-se um claro máximo anual em Agosto. Estas diferenças são interpretadas como resultantes do afloramento costeiro induzido pelo vento norte na costa ocidental, e da propagação da água aflorada em direcção ao largo. O máximo da temperatura da água ocorrerá assim, na costa ocidental, após a relaxação do campo do vento (Setembro em Leixões, Outubro em Sines), que se processa de norte para sul, em conseqüência do deslocamento sazonal do anticiclone.

Sobrepostas à sazonalidade, são evidentes variações interanuais (Fig. 4): (i) pequenas amplitudes de variação, com temperaturas persistentemente baixas durante o verão, em 2001, 2002 e 2008 nas três estações e em 1998 em Sines; (ii) grande amplitude

em 2006 em Sines e Faro; (iii) ocorrência tardia do máximo estival em 2002 e 2006 na costa ocidental, e em 2002 e 2008 na costa sul. Estas oscilações estão associadas a variações no campo do vento, sendo possível que reflitam variações interanuais da posição média do anticiclone.

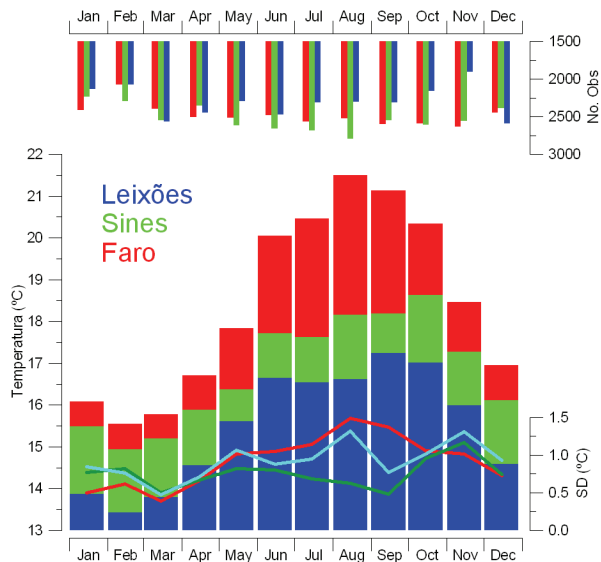


Fig 3. Médias mensais da temperatura da superfície do mar, e respectivos desvios-padrão, nas bóias ondógrafo de Leixões (1998-2011), Sines (1996-2011) e Faro (2000-2011), obtidas a partir dos valores tri-horários inicialmente observados, cujo número se representa no gráfico superior para sustentar a robustez relativa de cada média.

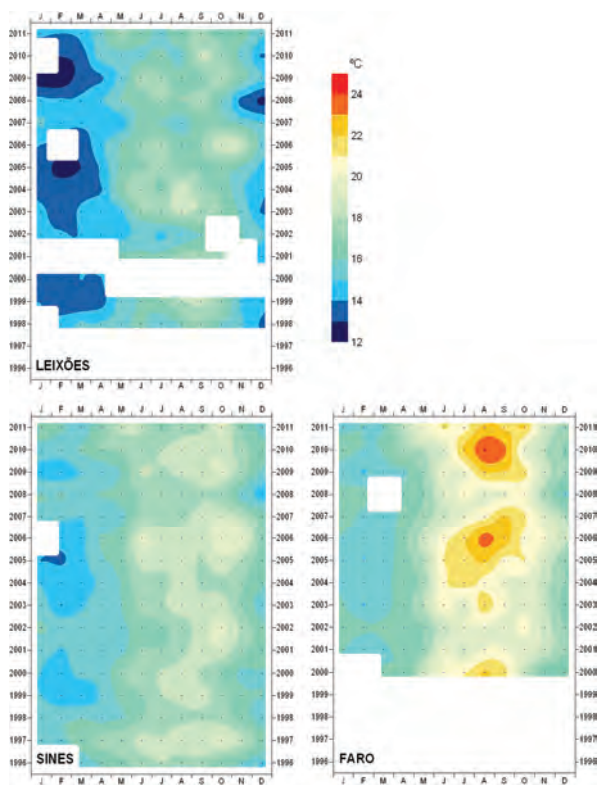


Fig 4. Variação interanual do padrão sazonal da temperatura da superfície do mar, obtido a partir de valores médios mensais nas estações ondógrafo de Leixões, Sines e Faro.

Não se identificam relações evidentes com a NAO (Fig. 5). Apenas na costa sul se identifica uma tendência para um aumento médio anual de 0.1 °C da temperatura de superfície. Para esta tendência, contribuem essencialmente as temperaturas de verão, cujos máximos cresceram de modo evidente entre 2001 e 2006. Na costa ocidental a evolução foi muito diferente, tendo-se aprofundado os mínimos de inverno em Leixões entre 2003 e 2009.

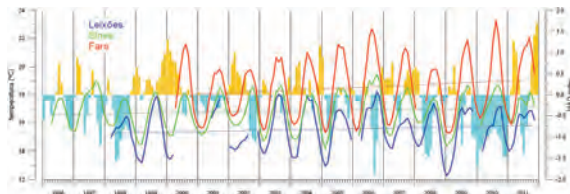


Fig 5. Séries temporais de médias móveis de três meses da temperatura da superfície do mar nas estações ondógrafo de Leixões, Sines e Faro sobrepostas a idêntica série temporal do índice da Oscilação do Atlântico Norte (NAO - valores positivos a amarelo, negativos a azul claro).

Relvas *et al.* (2009) constataram a existência de aquecimento superficial generalizado (0.02-0.03 °C/ano) ao largo da Ibéria Ocidental nas últimas quatro a cinco décadas. Esse aquecimento não foi espacialmente uniforme, sendo influenciado por estruturas de mesoscala. O aumento do contraste térmico entre as águas costeiras e as do largo a Sul do Canhão da Nazaré durante os meses de verão sugeriu ainda, segundo aqueles autores, uma intensificação do afloramento costeiro entre 1985 e 2008.

Não há necessariamente contradição entre estes resultados e os das bóias ondógrafo. Por um lado, a sobreposição temporal dos dois conjuntos de dados é muito pequena. Na realidade, os dados de Relvas *et al.* (2009) não permitem retirar, para o período iniciado em 1996, as mesmas conclusões a que chegaram para os 50 anos por eles analisados. Por outro lado, a amplitude térmica anual foi tendencialmente menor em Sines que em Leixões, tendo ocorrido anos em que os máximos estivais de temperatura pouco diferiram nas duas estações, o que pode indiciar uma maior intensidade do afloramento em Sines., tal como defendido por Relvas *et al.* (2009)

REFERÊNCIAS

- Garcia Lafuente J. e J. Ruiz (2007). The Gulf of Cádiz pelagic ecosystem: a review. *Progress in Oceanography*, 74, 228-251.
- Relvas P., E.D. Barton, J. Dubert, P.B. Oliveira, A. Peliz, J.C.B. da Silva e A.M.P. Santos (2007). Physical oceanography of the western Iberia ecosystem: latest views and challenges. *Progress in Oceanography*, 74, 149-173.
- Relvas P., J. Luís e A.M. P. Santos (2009). Importance of the mesoscale in the decadal changes observed in the northern Canary

upwelling region. *Geophysical Research Letters*, 36, L22601, 4 pp.

Oceanografía Geológica

Quantification and characterization of sediment transport using acoustic backscatter data – S. Pedro de Muel (Portugal)

A. Santos (1), A. Oliveira (1), N. Zacarias (1), J.P. Pinto (1) e M. Ribeiro (1)

(1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 49, 1249-093 Lisboa, ana.santos@hidrografico.pt

Abstract: In order to quantify the physical forcing processes associated to sediment transport in the inner shelf, offshore S. Pedro de Muel (W Portugal), a pyramidal structure was moored in three different sites to serve the following objectives: ADCP relative acoustic backscatter calibration, near-bottom dynamic and sedimentary structure of the water column characterization, and knowledge of the sediment transport and oceanographic forcing factors in during summer conditions. Relative backscatter data was used as a proxy in order to quantify suspended particulate matter concentrations. Estimated suspended sediment fluxes revealed semi-diurnal North/South fluctuations, resulting in a null net sediment transport in the three corridors.

Keywords: sediment transport, relative backscatter, suspended particulate matter, proxies

1. INTRODUCTION

In order to quantify physical forcing processes associated to sediment transport in three corridors linking the Pilot Zone (PZ) for Renewable Energy Experiments, offshore S. Pedro Muel (W Portugal) to the shore, a pyramidal structure was moored in order to record current and suspended particulate matter (SPM) data (figure 1).

The use of ADCP's (Acoustic Doppler Current Profilers) has become widespread amongst the oceanographic community, given the large volume of information made available from a single moored instrument. Its widespread use has increased the attempts to estimate and characterize suspended particulate matter (SPM) in the water column, taking advantage of the acoustic backscatter data used, primarily, to measure currents. However the conversion process of backscatter data into SPM concentrations is not straightforward. Backscatter intensity is affected by innumerable factors including environmental conditions (SPM concentrations and particle size, salinity, temperature and pressure) and the ADCP's characteristics and configuration. In this work, data obtained using a LISST (Laser *in situ* particle size analyser) probe is used in order to determine SPM characteristics. In a next step, according to the methodology developed by Gartner (2004), an attempt was made to correlate LISST time series (volumetric concentrations and grain size) with ADCP backscatter data. Based on this correlation, SPM data can be inferred from backscatter time series and some considerations are made about sediment transport processes in the study site.

2. METHODS

2.1. Field measurements and wave data

The moored pyramidal structure was composed of an ADCP (*RDI Workhorse Sentinel* – 1200 kHz) and a LISST-100 (*Sequoia Instruments*) probe. The structure was moored in 3 sites, one in each of the PZ access corridors, during summer conditions

(September, 2011). This structure allowed a simultaneous reading of both sensors at about 80 cm above sea bottom (figure 2). Wave data used to characterize the wave regime was obtained for the study area using Hydrographic Institute's (IH) wave prediction operational system for the Portuguese EEZ, based on simulations of the oceanic spectral model «WaveWatch III». Meteorological forcing data from the model «ALADIN» was made available by the Portuguese Meteorological Office (IM). Spatial resolution on the model run, bathymetry and wind field was 4 minutes. Bottom sediment samples were collected in the three sites using a Smith MacIntyre Grab sampler in order to calibrate LISST grain size data.

2.2. Data Processing

LISST data was downloaded from the internal memory and volumetric concentrations ($\mu\text{l/l}$) were obtained for each of the 32 geometric size classes. Data/samples were obtained in 10 minutes intervals. For each sample grain size was converted into the logarithmic scale Φ (Friedman & Sanders, 1978) and grain size statistics were calculated according to McMannus (1988) and Taborda & Magalhães (2003). Due to operational constraints LISST data was not available for the North corridor mooring.

Backscatter intensity (in counts) recorded by the ADCP was converted into dB and calibrated in order to estimate SPM concentration time series. The method used for this conversion and calibration is described in detail in Gartner (2004).

Volumetric concentrations measured by the LISST probe can be directly correlated with mass concentrations, taking into account particle density, according to the equation (Eq. 1):

$$C \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = C \left(\frac{\mu\text{l}}{\text{l}} \right) \times \gamma \quad (\text{Eq.1})$$

In which C = concentration and γ = particle density (g/cm^3). Based on the previous knowledge of bottom material composition in the PZ, composed of

siliceous material, conversion between volumetric ($\mu\text{l/l}$) into mass concentrations (mg/l) was made using the value $\gamma = 2.65 \text{ g/cm}^3$.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. SPM characterization

As far as volumetric SPM concentrations are concerned, observations in the South corridor can be separated into two distinct periods: the first one (up to 12:00 – 3/Sep/2011) is marked by lower values, in the order of $10 \mu\text{l/l}$, the second period, corresponding to the remainder of the observations, is marked by a greater value oscillation, with minima of $15 \mu\text{l/l}$ and maxima over $50 \mu\text{l/l}$ (figure 3). These daily concentration oscillations seem to relate relatively well with semi-diurnal tide: minima occur in low tide and maxima are related with flood

and high tide. This concentration regime transition in two different periods seem to be related with a change in wave regime from W to NNW and a progressive significant height increase from $\approx 0.5 \text{ m}$ to 1.5 m by the end of the observational period. As far as grain size is concerned, SPM was made up of coarse silt and very fine sand (average size of $3-4 \Phi$ or $62.5-125 \mu\text{m}$), with a slight grain increase towards the end of the observational period which can be related with an increase in available wave energy. These grain size parameters are closely related with bottom sediments collected for the same site (figure 4).

In the central corridor, SPM volumetric concentrations are two orders of magnitude higher than in the southern site, with maxima as high as $2500 \mu\text{l/l}$. Similarly to what was observed in the first

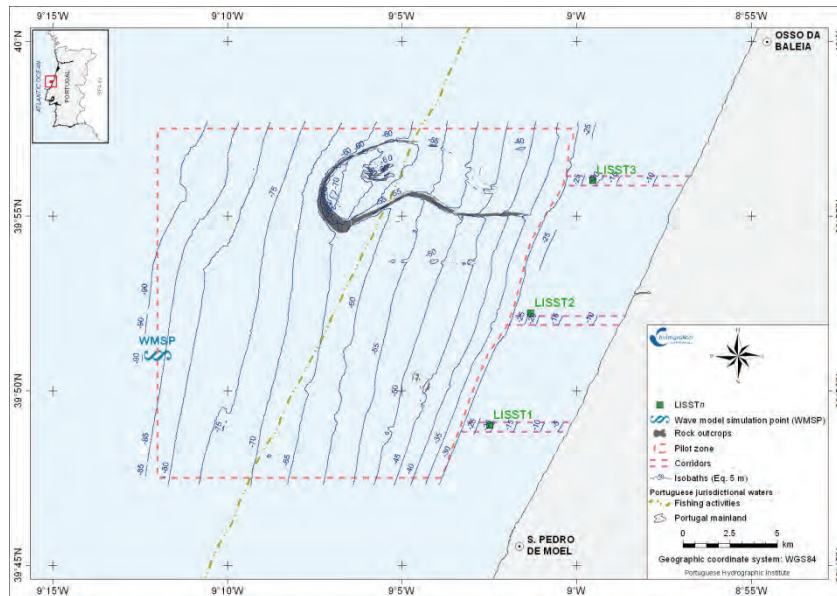


Figure 1: Mooring sites for the pyramidal structure – LISST1 – South Corridor; LISST2- Central Corridor, LISST3 – North Corridor

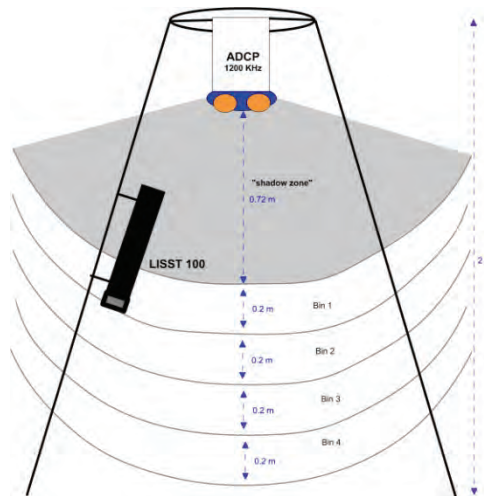


Figure 2: Schematic representation of the mooring structure

site, these observations can also be divided into two distinct periods. In the first period (up to 12:00 10/Sep/2011), concentration and grain size values are similar to the ones recorded in the south corridor. After this date, SPM concentrations increase drastically up to the end of the observational period and modal grain size decreases from a fine/very fine

sand oscillation to coarse silt. This second period can be attributed to a wave regime transition from a N direction with significant wave heights < 1m to a WNW regime with heights over 3 m. In the central corridor fine fraction percentage is directly correlated with wave height (figure 3).

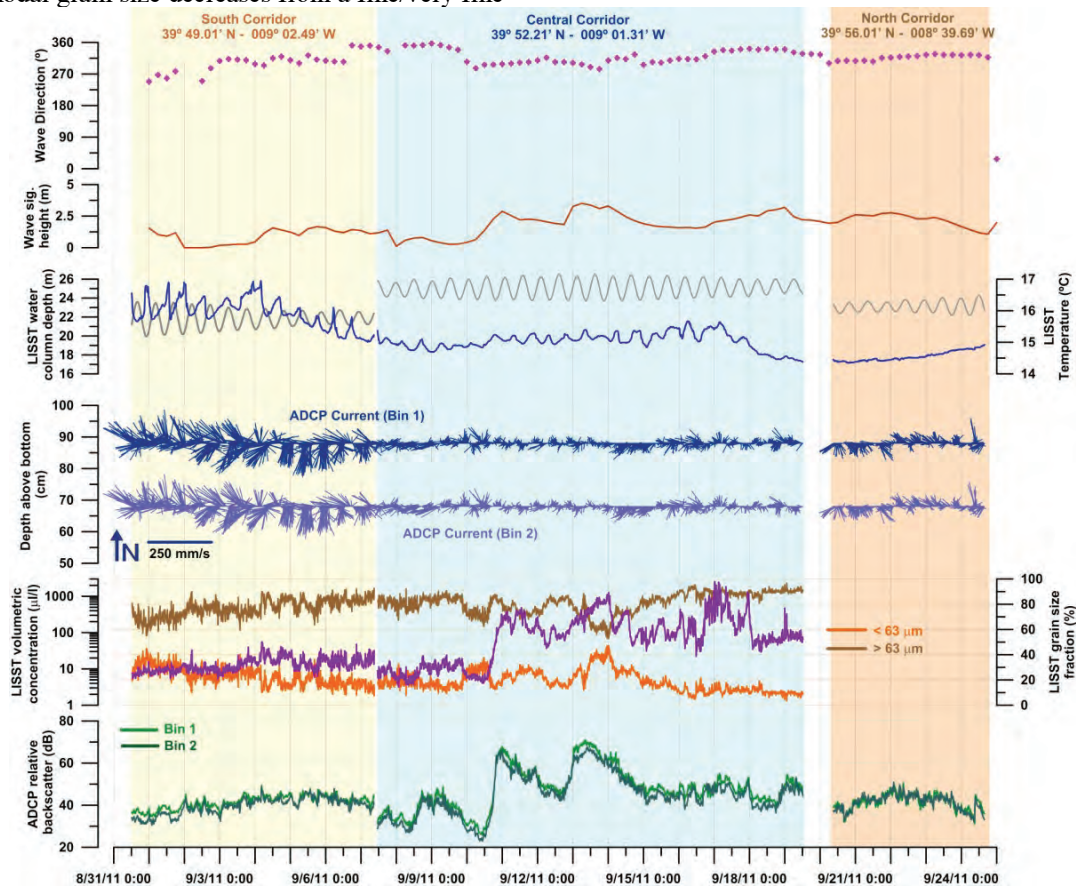


Figure 3: ADCP, LISST and Wave time series for the three mooring sites/periods

Grain size data comparison between LISST parameters and bottom material analysis shows that, during this period, suspended material must not only result from bottom sediment resuspension, but also from finer material lateral advection (figure 4). These fine sediments probably result from temporary fine deposits that can form in the inner shelf close to river mouths (e.g. Liz river), under low energy regimes.

3.2. ADCP acoustic backscatter

Relative backscatter (RB, converted into dB) time series reveal a very close relationship to LISST volumetric concentrations, therefore allowing the same conclusions about SPM variations in both South and Central corridor mooring sites (figure 3). In the North corridor, where no LISST data is available, RB values are similar to those registered in the southern corridor, even though during this third mooring period the wave regime was significantly more energetic.

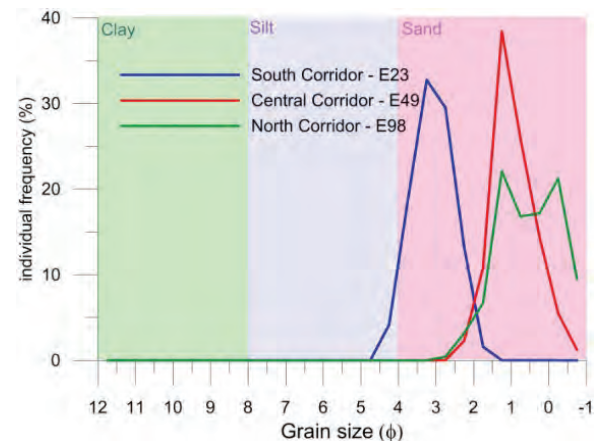


Figure 4: Bottom sediment grain-size curves for the three mooring sites

This might have to do with the fact that in the North corridor no fine sediments were available for resuspension, since bottom sediment cover in this site is coarser than in the previous two sites, and there is no close fluvial discharge (figure 4).

3.3. Relative backscatter transformation

Linear correlations obtained when crossing RB in bin 1 and LISST volumetric concentrations are significant with an R² of 0,502 and 0,655 for the South and Central corridors, respectively. These R² values are in the same order of magnitude as the ones published in Gartner’s original study for correlations between ADCP RB and OBS concentration (Gartner, 2004). In order to minimize the error average values were adopted for coefficients A and B for the correlation between LISST concentrations and RB in the first bin (Equation 2). No relation was found between the estimate error and volumetric concentration or grain size.

$$SPM_{est} = 10^{(0.705+0.0485RB_{bin1})} \quad Eq. 2$$

3.4. SPM transport

Using Eq. 1 and Eq. 2 for mass concentration and RB conversion, estimated SPM fluxes were

calculated using Eq. 3 for the three mooring sites using ADCP current information (figure 6).

$$Mass\ Conc_{mg/l} \times Curr_{mm/s} \times \vec{Dir} = SPM\ Flux_{g/m^2_s} \quad (Eq. 3)$$

In the south corridor, SPM transport is closely related with tidal current inversions, with a flux towards the South during ebb and less intense and towards the North during flood. This semi - diurnal flux fluctuation is more intense during neap tides, when the water column is shallow enough for tidal currents to be able to resuspend bottom material.

In the central corridor, even though there is a very significant increase in SPM concentrations, SPM net transport is almost negligible because current values in this period are very low.

In the North corridor, SPM fluxes also follow semi-diurnal tide fluctuations and are lower than in the previous two sites. This fact may have to do with the coarser nature of bottom material in this spot.

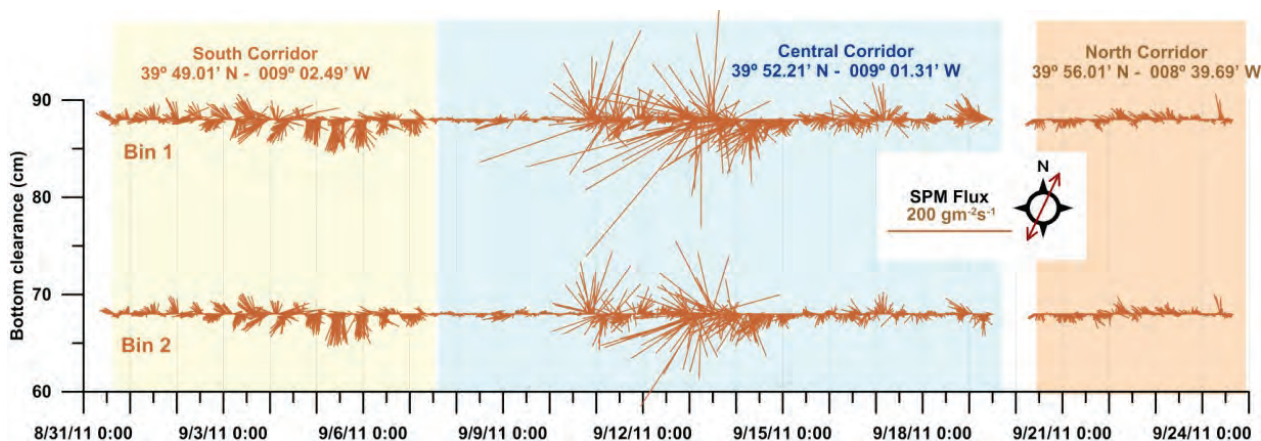


Figure 6: SPM fluxes estimated for the three mooring sites/periods. Shoreline direction is indicated in the north arrow by the red brownish oblique’s line

4. CONCLUSIONS

The use of converted and calibrated ADCP relative backscatter as a SPM has proven satisfactory, with correlation factors in the same order of magnitude as the original study by Gartner (2004).

As far as near bottom sediment transport in the three mooring sites is concerned (summer regime) fluxes can be directly related to semi-diurnal tidal current fluctuations and no net transport direction can be identified. In the Central corridor, an increase in wave regime energy results in an increase in fine particle transit in this spot.

Acknowledgements

This is a contribution to the project “Geophysical characterization of the Pilot Zone for Renewable Energy Experiments” financed by ENONDAS, Energia das Ondas, S.A.

REFERENCES

Friedman, G.M. & Sanders, J.E. (1978). *Principles of Sedimentology*. John Wiley and Sons, New York, 792pp.

Gartner, J.W. (2004). Estimating suspended solids concentrations from backscatter intensity measured by acoustic Doppler current profiler in San Francisco Bay, California. *Marine Geology*, 211, pp 169-187

Mcmanus, J. (1988) Grain size determination and interpretation. In Tucker, M. (ed.). *Techniques in sedimentology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 63-85.

Taborda, R. and Magalhães, F. (2003). A simple method for computing grouped data percentiles: application to grain size analysis. (*Unpublished*).

Dinâmica dos sedimentos em suspensão na área do porto de Sines

A. Oliveira (1), A. Santos (1) e C. Pólvora (1)

(1) Instituto Hidrográfico - Rua das Trinas 49, 1249-093 Lisboa. anabela.oliveira@hidrografico.pt

Resumo: Neste trabalho, pretendeu-se perceber a dinâmica da matéria particulada em suspensão (MPS) associada aos processos meteorológicos e oceanográficos na plataforma adjacente ao porto de Sines, em dois períodos distintos (abril e setembro de 2011). A distribuição espacial da variação da concentração e da granulometria com a maré, foi obtida em perfis verticais com a sonda LISST, em 7 estações, calibrado *in situ* através de colheitas de amostras de matéria particulada em suspensão (MPS). Em laboratório foi realizada o estudo da MPS à lupa e por difractometria de raios X. Durante as campanhas, com baixo regime hidrodinâmico, a MPS é rica em partículas biogénicas, com dimensão da areia fina a muito fina (meso e microplâncton), com valores médios de concentração baixos (2,5mg/l e 1,0 mg/l). O material terrígeno presente na MPS é vestigial e tem dimensão dos siltes finos a argilas com moda centrada nos 7 ϕ . As observações indicam que as partículas em suspensão ricas em material orgânico têm tendência para se concentrarem junto à descarga da central térmica de Sines e depositarem-se, preferencialmente, dentro do porto.

Palavras chave: concentração, granulometria, LISST-ST, Sines.

1. INTRODUÇÃO

A área em estudo compreende a plataforma adjacente ao porto de Sines, uma das áreas costeiras portuguesas que sofreu grandes alterações fisiográficas, devido à implantação (e expansão) do porto de Sines, desde 1973.

Em termos oceanográficos encontra-se naturalmente protegida pelo Cabo de Sines, intrusão subvulcânica anelar formada por rochas gabro-dioritos e sienitos (Inverno *et al.*, 1993), que, devido ao seu efeito de barreira morfológica, provoca uma diminuição local da intensidade dos ventos N e da agitação marítima dominantes de NW-W.

Neste trabalho, descreve-se a dinâmica da matéria particulada em suspensão (MPS) e relaciona-se as suas características (granulometria e concentração), aos processos meteorológicos e oceanográficos.

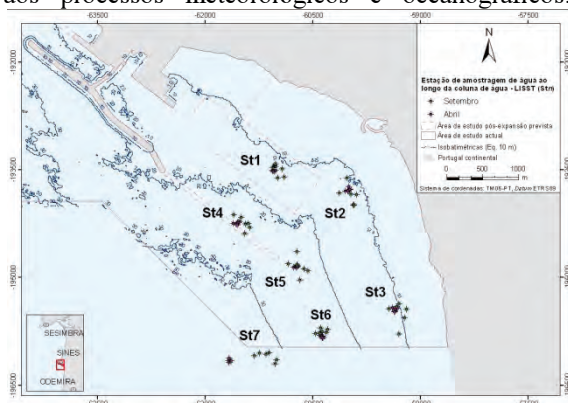


Figura 1. Área em estudo, com a localização das estações amostradas.

2. MÉTODOS

Para o estudo do comportamento hidrodinâmico da área de expansão do Terminal XXI, e tendo em

atenção a existência de uma pluma térmica da central termo-eléctrica, realizaram-se duas campanhas hidro-sedimentológica em situações meteorológicas distintas: primavera (28 e 29 de abril) e verão (26 e 27 de setembro) de 2011. Os trabalhos concentraram-se em 7 estações (fig.1), durante um ciclo de maré (12h).

Para obtenção de perfis de concentração e granulometria da MPS foram realizados perfis de LISST-ST (*Laser in situ transmissometer*) “*Particle size analyzer*”. Em cada estação, foram realizados 6 perfis LISST-ST ao longo do ciclo de maré, com patamares de medição à superfície, nível intermédio e fundo (3-4 min. de leitura por patamar). No primeiro, quarto e sexto ciclo foram colhidas amostras de água para determinação da concentração de MPS e posterior calibração do LISST e análise composicional. Esta colheita foi efetuada utilizando uma bomba de trasfega de superfície a dois níveis: superfície (0.8-1m) e na proximidade do fundo (10-21m) e acondicionadas em recipientes de plástico de 5 litros. Em laboratório (24h seguintes), as águas foram filtradas em filtros de acetato de celulose (0.45 μ m de porosidade e 47mm de diâmetro), secos (40°C, 24h) e pesados para determinação da concentração, em mg/l.

A composição da MPS foi obtida por observação directa dos filtros à lupa binocular (ampliação máxima 115x) e por difractometria de raios X (DRX).

2.1. Tratamento dos dados

A concentração volumétrica (μ l/l) obtida com o LISST-ST, foi calibrada em mg/l, através das concentrações obtidas com as amostras de águas. Para isso, foi calculada a densidade das partículas

para as duas campanhas e obtida a concentração em mg/l, utilizando a seguinte fórmula:

$$C \left(\frac{mg}{l} \right) = C \left(\frac{\mu l}{l} \right) \times \gamma \quad (\text{Eq. 3})$$

C= Concentração

γ = Densidade das partículas (g/cm³)

Como a densidade das partículas em suspensão, não é sempre a mesma, devido a vários fatores, entre eles, a floculação (se há floculação a densidade decresce); mistura de partículas orgânicas e inorgânicas (as partículas orgânicas tendem a ter uma densidade muito menor que os grãos minerais); e a presença de diferentes minerais de densidades diferentes, foi obtida a densidade média das partículas em suspensão, para cada campanha. Na campanha de Setembro de 2011, a densidade calculada variou de 0,099 a 0,234 g/m³ (média 0.10 g/m³), sendo ligeiramente superior na campanha de Abril (média 0,15 g/m³). Estes valores de densidade indicam o predomínio de agregados e uma mistura de partículas orgânicas (ex. diatomáceas, dinoflagelados e copépodes) na composição da MPS, cuja densidade é da ordem dos 0,224 g/m³.

Com os dados das concentrações obtidas com o LISST, para cada uma das classes granulométricas, foram calculadas as percentagens relativas das 32 classes de tamanhos, e respetivos parâmetros estatísticos. Para cada patamar de leitura foi determinado uma curva granulométrica média.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Condições meteorológicas e oceanográficas

3.1.1. Campanha de Abril 2011

A campanha decorreu durante um período de transição inverno/primavera, com condições meteorológicas muito instáveis, tendo-se verificado agravamento das mesmas no último dia da campanha. O vento foi muito variável, ao início do quadrante norte (NNW-NW), rodando, por vezes, para SW–SSW; velocidade máxima do vento, da ordem dos 8,7 m/s de oeste, que ocorreu no final do dia 29 de Abril, acompanhado por arrefecimento da temperatura, precipitação intensa e trovoadas. A altura significativa da onda variou de 1,38 m a 0,74m, com orientação predominante NW-W e período de pico compreendidos entre 10-13.3s; a amplitude de maré foi de 1,75 m (max. 3,26, min. 1,51 m).

3.1.2. Campanha Setembro 2011

A campanha decorreu no início do Outono, com céu limpo e temperatura média de 21°C, em condições tipicamente de verão. O vento soprou do quadrante N-NW moderado, com variação periódica diurna e intensificação da velocidade do vento para a tarde (nortada), atingindo os 7m/s. Nestes dias, a altura significativa da onda variou de 1,3 m a 0,83m, com orientação predominante NW-NNW e período de

pico compreendidos entre 8-11s; a amplitudes de maré foi de 3,49 m (max. 3,96 m; min. 0,47 m).

3.2. Composição dos sedimentos em suspensão

A observação à lupa permitiu observar que, em ambas as campanhas, o grupo de organismos dominantes em suspensão eram os copépodes e as formas larvares de lamelibrânqueos e gastrópodes (mais abundantes em Setembro). As suas dimensões variam entre 500 e 250 μ m. Esporadicamente, foram observadas larvas de Prânizas (*Crustacea, Isopoda, Gnathidae*), com dimensões superiores (2-3 mm) e espículas de radiolários e espongiários. Pertencentes ao fitoplâncton, as diatomáceas e dinoflagelados eram pouco abundantes em Abril mas, pelo contrário, muito abundantes em Setembro.

O DRX, permitiu semi-quantificar a componente mineralógica. A fração mineral em suspensão era maioritariamente constituída por filossilicatos (mica/ilite e clorite). Outros minerais identificados foram a calcite, o quartzo e a plagioclase. Em setembro, ocorreu um aumento substancial da componente carbonatada (calcite), com origem biogénica, ou seja, o seu aumento deve-se essencialmente à presença das conchas carbonatadas das larvas de lamelibrânqueos e gastrópodes, observadas à lupa.

3.3. Concentração dos sedimento em suspensão (LISST versus coletas)

Em Abril de 2011, as concentrações observadas foram baixas, com valor médio de 2,5 mg/l. A distribuição espacial e temporal da concentração está representada na figura 2. É nítido um aumento da concentração para as estações a sul (St3, St6 e St7) da central térmica, e nas realizadas no 2º dia da campanha.

No 1º dia as concentrações observadas por estação, são mais homogéneas e sem grande variação com a maré (aos níveis superficiais os valores são sempre inferiores a 1.6 mg/l), aumentando a concentração, para as estações mais longe do Porto de Sines (St2 e St5). No 2º dia, nas estações frente à praia de S. Torpes, as concentrações são mais elevadas a todos os níveis (valor médio de 4 mg/l), com alguma variação com a maré, sendo máxima nas estações St6 e St7, colhidas na proximidade do fundo (ciclo 3 e 2, respetivamente) (fig.2).

Em Setembro de 2011 (fig.3), o valor médio das concentrações observadas foi ainda mais baixo, da ordem de 1.0 mg/l. Nesta campanha, ao contrário da anterior os valores mais elevados de concentração foram observados à superfície (valor médio de 1.4 mg/l), decrescendo para os níveis inferiores. Como na campanha anterior, dentro da mesma estação, verifica-se alguma variação da concentração com a maré, sendo máxima na estação St2 à superfície (ciclo 5 e 6), frente à central térmica (14 e 4 mg/l, respetivamente).

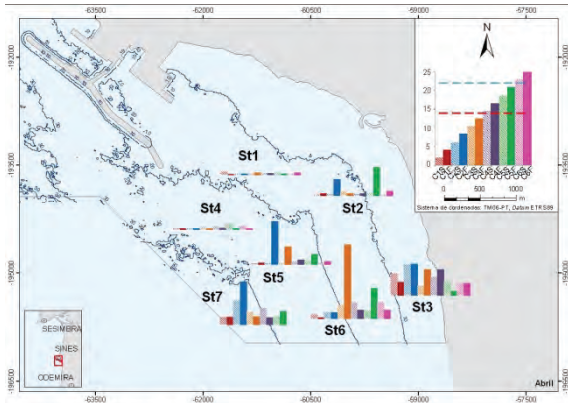


Figura 2. Distribuição da concentração em abril de 2011 (1m e fundo).

Estes resultados podem ser explicados através da composição da MPS e também através das suas dimensões características (ponto seguinte). Em ambas as campanhas, o material constituinte da MPS era essencialmente agregados de matéria orgânica e organismos pertencentes ao mesoplâncton ($>200\mu\text{m}$) e microplâncton (20-200 μm), sendo a componente terrígena muito fina e escassa, reflexo direto da não existência de contribuições estuarinas significativas ou fonte importante de material terrígeno, nas proximidades. Assim, as variações de concentração refletem maioritariamente a distribuição vertical da componente biogénica (zoo e fitoplâncton), presente na massa de água.

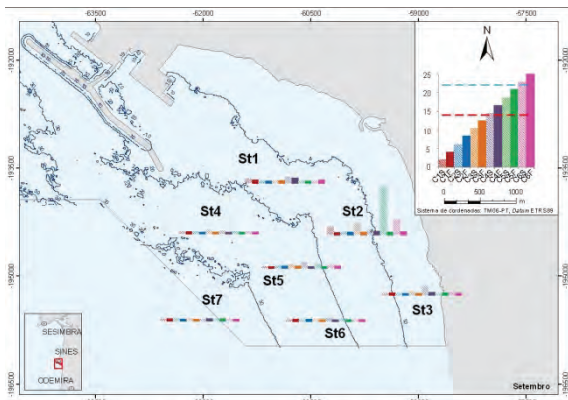


Figura 3. Distribuição da concentração em setembro de 2011 (1m e fundo).

3.4. Granulometria do sedimento em suspensão

Durante a campanha de abril de 2011, as partículas da MPS, observadas “*in situ*” com o LISST, eram essencialmente das dimensões das areias muito finas (percentagem média de areia 68%; max. 98, % min. 27%), com diâmetro médio de 3.4ϕ (max. 5.7ϕ ; min. 1.4ϕ). As areias muito finas eram mal a muito mal calibradas ($\sigma > 1$) e com assimetria positiva (> 0.1). O gráfico de correlação, média-desvio padrão, mostra dependência com a média (fig.4).

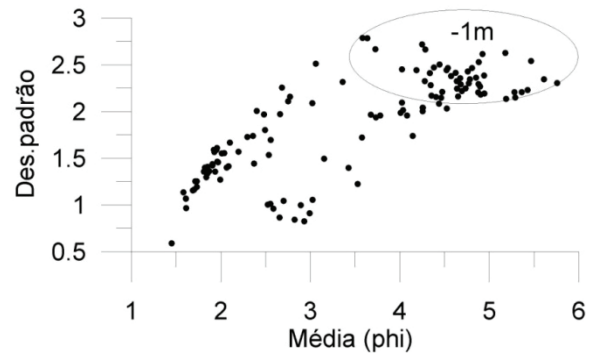


Figura 4. Gráfico de correlação média-desvio padrão para a MPS (abril de 2011), obtida com o LISST.

Esta tendência deve-se à origem maioritariamente biogénica deste material que é formado por organismos com classes dimensionais bem definidas. As amostras de superfície (-1 m) têm diâmetro médio mais elevado e desvio padrão superior (muito mal calibradas), em relação às amostras de fundo.

Em todas as estações, a curva granulométrica é polimodal. A análise composicional (lupa e DRX) permitiu identificar a composição das partículas que fazem parte das principais modas detetadas pelo LISST. Assim, a classe dimensional mais importante (moda principal), classe entre $1-2\phi$ ($500-250\mu\text{m}$), compreende o mesoplâncton (copépodes, larvas de gastrópodes e lamelibrânqueos), muito abundante neste ambiente. Esta classe tem percentagens superiores nas estações St3, St6 e St7 (2º dia da campanha). Foram ainda detetadas duas modas secundárias nos 4ϕ ($63\mu\text{m}$) e 7ϕ ($8\mu\text{m}$), que correspondem respetivamente a partículas siltosas mais grosseiras, pertencentes ao microplâncton (diatomáceas, dinoflagelados, foraminíferos e radiolários) e restos de carvão e, a mais fina (silte fino), essencialmente terrígena, composta por filossilicatos, mica (biotite) e argilas. Nas estações St2, St3 e St5, junto ao fundo, ocorre uma moda aos $2-3\phi$ ($250-125\mu\text{m}$), que pela observação dos filtros, parece corresponder a um aumento de palhetas de biotite (mica) em suspensão.

Em setembro de 2011, as partículas da MPS, eram das dimensões da areia muito finas a fina (média de 73%; max. 98% min. 59%), com diâmetro médio de 3.1ϕ (Max. 3.8 ; Min. 1.6ϕ). As areias finas eram mal a muito mal calibradas ($\sigma > 1$) e com assimetria sempre muito positiva.

O gráfico de correlação, média-desvio padrão, mostra também dependência com a média (fig.5), destacando-se da tendência global, as amostras de superfície da estação St2 (com concentração superior). Na estação St2, as amostras de superfície tem diâmetro médio e assimetria mais baixas (moderadamente a mal calibradas) que as restantes amostras.

Em setembro também se observaram curvas granulométricas polimodais, com a moda principal centrada na classe entre 1-2 ϕ (500-250 μ m). Nesta classe, a análise composicional confirmou, novamente, a grande abundância de organismos pertencentes ao mesoplâncton (copépodes, larvas de gastrópodes e lamelibrânqueos), com percentagem, geralmente, superior à verificada em abril de 2011.

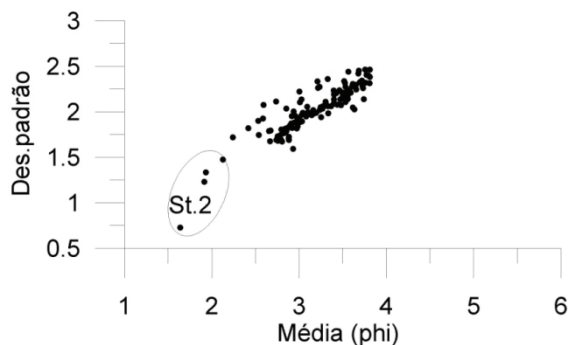


Figura 5. Gráfico de correlação média-desvio padrão para a MPS (setembro de 2011), obtida com o LISST.

Em relação às duas modas secundárias identificadas em Abril de 2011, a moda centrada no silte fino (7 ϕ), também é reconhecida, correspondendo à dimensão do material terrígeno em suspensão (filossilicatos) mas a moda dos 4 ϕ sofreu um desvio para os 5 ϕ (31 μ m), ou seja, evidência uma alteração na composição do microplâncton, com maior abundância de outros grupos do fitoplâncton (com dimensão menor), nomeadamente diatomáceas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante as campanhas, com baixo regime hidrodinâmico e altura da onda sempre inferiores a 2m, a MPS era essencialmente formada por partículas biogénicas, com dimensão da areia fina a muito fina (meso e microplâncton). O material terrígeno presente na MPS tem dimensão de siltes finos a argilas com moda centrada nos 7 ϕ . Estas partículas finas em suspensão só se depositam em ambientes calmos e confinados, ou a maiores profundidades (>60-80 m). Na plataforma adjacente ao porto de Sines, os sedimentos de fundo são essencialmente arenosos (Pólvora *et al.*, 2012, *este volume*), com a moda principal centrada nas areias finas (2.25-2.75 ϕ), não havendo condições hidrodinâmicas para a deposição de partículas desta dimensão. Contudo, nas áreas protegidas do porto de Sines, os sedimentos colhidos apresentam uma moda principal nos 6.25 ϕ e contêm 85% de material silto-argilosos (percentagem de silte 63% e de argila 22%), sendo um local propício para a deposição deste material que se encontra em suspensão.

As observações indicam que as partículas em suspensão ricas em material orgânico têm tendência para se concentrarem, principalmente no verão, junto à descarga da central térmica de Sines e a

depositarem-se preferencialmente dentro do porto de Sines.

Estes resultados vão ser futuramente validados com dados correntométricos.

Agradecimentos

Este trabalho é uma contribuição para o projeto “Caracterização ambiental da área de expansão marítima do porto de Sines e região envolvente”, financiado pela APS. Agradece-se aos elementos da guarnição “UAM Fisália” todo o apoio prestado nas campanhas de campo.

REFERÊNCIAS

- Inverno, C.M.C, Manupella G., Zbyszewski, G., Pais, J. And Ribeiro, M.L. (1993) – Maciço Eruptivo de Sines, *In*: Notícia explicativa da carta geológica de Santiago do Cacém, na escala 1:50 000, folha 42-C, *Serv Geol. Port.*, 34-46.
- Polvora, C., Oliveira, A., Luz, C., Duarte, J. & Baptista, C. (2012). Modificações sedimentares na plataforma continental adjacente ao Porto de Sines. (*este volume*)

Sediment Trend Analysis for continental shelf between Cascais and Espichel Cape

M. J. Balsinha (1), A. Rodrigues (1), A. Oliveira (1), C. Fernandes (1) e R. Taborda (2)

(1) Hydrographic Institute, Rua das Trinas, 49, 1249-093 Lisboa, maria.balsinha@hidrografico.pt

(2) Faculty of Sciences, University of Lisbon, Campo Grande, Edificio C6, 1749-016 Lisboa

Abstract: Sediment Trend Analysis (STA) can be a powerful tool in the understanding of sedimentary environments, and their relationship with the different forcing factors. The basic assumption inherent in STA in a given sedimentary environment is that differences in sediment grain-size distributions are closely related to sediment transport. The aim of this work is to test the application of STA to deduce present day sedimentary transport processes, in the continental shelf off the Tagus estuary between Cascais and Espichel Cape using three sediment trend analyses: GSTA – Grain Size Trend Analysis, GSTAST – Grain Size Trend analysis with significance test and TRANSVEC. Although STA results generally agrees with the conceptual sediment transport models proposed for this shelf section, in order to get more accurate results, there is a further need for observational data, like bottom currents and suspended sediment data.

Keywords: Sediment trend analysis, sediment transport, modelling, transport vector

1. INTRODUCTION

The basic assumption inherent in Sediment Trend Analysis (STA) is that differences in sediment grain-size distributions can be due to sediment transport. When considering the particles and the formation of deposits is essential to take into account the processes involved. According to Dias (2004) there are two types of processes that inter-act in deposits formation: Delivery and distribution processes. Delivery processes are responsible for supplying sediments into a depositary; on the other hand, distribution processes are responsible for distribution and accumulation of particles in the depositary and, consequently, the formation of deposits. The sediments considered in this work are the neoteric (modern deposits formed by particles that are constantly being supplied to the depositary), proteric (modern deposits formed by particles that arrived the depositary before the processes acquire the actual configuration) and amphoterics (modern deposits formed by particles that not only are being transported but also by particles that have been transported in the past).

STA uses the changes in sediments grain-size distributions to create patterns of net sediment transport. According to McLaren (1981) and McLaren and Bowles (1985), grain-size distributions are likely to change from one deposit to the next in the direction of net sediment transport.

McLaren and Bowles (1985) presented a one-dimensional approach whereby individual sample sequences are tested for statistical validity (Z -score) to determine the preferred transport direction. Gao and Collins (1991, 1992) and Gao (1996) proposed a two-dimensional vector approach to estimate trends, some elements of which were revised by Chang *et al.* (2001). A somewhat different basis in the vector

approach was described by Le Roux (1994) and Le Roux *et al.* (2002).

Most of the applications of these methods are not applied on open marine environment, because transport directions are unknown. In this context a two-dimensional approach is more realistic (Gao and Collins, 1991; Gao and Collins, 2001).

Generally, STA has been mainly used for unidirectional transport in rivers and longshore drift in beaches. Considering the three aforementioned methods, Gao and Collins, Chang and the Le Roux, the Gao and Collins method is the most widely used in open marine environments. Therefore, the Gao and Collins method is the most used for the definition of trend vectors based on the statistical study of grain-sized parameters.

2. OBJECTIVES

Basically, the main objective of this work is get a better insight and understanding of the transport patterns at the continental shelf off Tagus estuary between Cascais and Espichel Cape.

This goal was pursued using three different methods (Gao and Collins, Chang and LeRoux) implemented on three programs (**GSTA** - Grain-Size Trend Analysis (Gao and Collins (1992)), **GSTAST** - Grain-Size Trend Analysis with Significant Test (Chang *et al.* (2001)) and **TRANSVEC** (Le Roux (1994))). Gao and Collins is a two-dimensional method that determines trend vectors through regular or irregular grids of sampling sites, comparing the grain-size parameters of each sample with its neighbour. This comparison is made based on a distance that represents the spatial scale of sampling. On each sample a trend is defined and a dimensional vector is drawn from the higher sorting coefficient towards that with a lower sorting coefficient. Trend vectors are then summed to

produce a single vector for each sampling site and a filtering operation is finally applied to reduce any remaining noise.

The Chang method is based on Gao and Collins method, but instead of averaging length vectors a significance test is used to avoid identifying trend vectors by chance.

Finally, Le Roux method is based on the fact that sediment transport occurs along a wide unidirectional front instead from point to point as assumed by the above methods. In this method a group of five stations are used to determine the vector mean direction and magnitude of transport. Firstly, the grain-size parameters are combined into a single dimensionless number, in which each parameter have equal importance. Conventional vector analysis allows the calculation of a vector mean and magnitude. Finally, the distribution of the resultant vector data is also analyzed using a statistical test (Watson non-parametric test).

3. STUDY AREA

3.1. Continental shelf off the Tagus estuary

The continental shelf off the Tagus estuary is located in the Portuguese continental margin between parallels 38° 24'N and 38° 42'N, and meridians 9° 24'W and 9° 33'W. This sector of the Portuguese continental shelf is 20-34 km wide and the shelf break is located at 130-150 m depth (Vanney & Mougenot, 1981). Morphologically, the continental shelf and slope are characterized by two slope incisions. The Lisbon canyon is deeply carved in the slope and continental shelf, while the Cascais canyon is only developed in the slope.

3.2. Oceanographic features

The western coast of Portugal is a high energetic environment as is fully exposed to NW swells from the North Atlantic (Vitorino *et al.*, 2002). Summer wave heights are typically lower than 2 m along the entire west coast, while winter conditions are characterized by swells with wave heights of about 3-4 m in the NW and 2 m in the SW (Costa, 1992/3/4).

The occurrence of northerly winds blowing along the Portuguese coast causes coastal upwelling during the summer. This divergence causes upwelling of cold, less salty and nutrient-rich waters over the whole shelf while some filaments of upwelled water can reach more than 200 km offshore associated with caps (Fiúza, 1983). Coastal convergence (downwelling) dominates during the rest of the year (Fiúza *et al.*, 1982), taking place when the wind stress acting on the sea surface is oriented polewards.

3.3 Shelf sedimentary deposits

The submarine area between Cascais and Espichel Cape is dominated by a non-consolidated

sedimentary cover with dispersed rocky outcrops, mostly clustered near Espichel Cape and Cascais (Instituto Hidrografico, 2003). Vanney and Mougenot (1981) identified the occurrence of a deltaic system in the shelf area adjacent to the estuary. This prodelta system accumulates riverine and marine-borne fine-grained materials (Lima, 1971; Monteiro *et al.*, 1977; Jouanneau *et al.*, 1998). This continental shelf could be divided in two areas, a large muddy shelf sediment body between 50 to 130 m water depth (Instituto Hidrográfico, 2003) and a sandy cover between 0 and 50 m depth characterized by a gentle gradient (Fig.1).

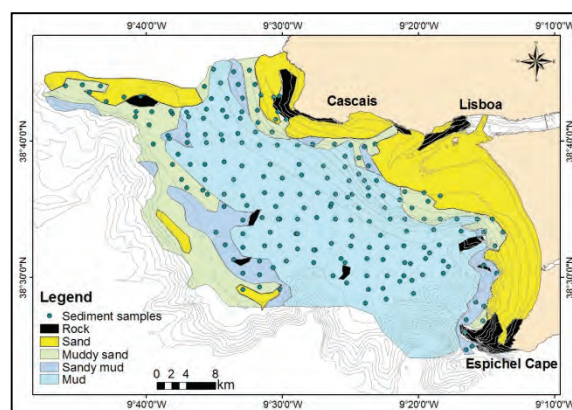


Figure 1 – Sedimentary deposits and samples of Tagus estuary continental shelf.

4. METHODS

On the continental shelf 211 samples of non-consolidated surface sediments, distributed along several E-W profiles were selected (Fig. 1). Samples of unconsolidated superficial sediments were collected using a grab-type Smith-McIntyre sampler, during the cruise sponsored by the Portuguese Hydrographic Institute, in the framework of the SEPLAT program (which aimed to mapping of surface sediment on the Portuguese Continental Shelf and upper slope). Sedimentary analysis included grain-size and determination of Calcium Carbonate content; the fine particles were treated using the pipette method.

The granulometric classes between 0.125 – 0.0039 mm (3 – 8 phi) were extracted from the entire granulometric curve for modelling. According to McCave (1995) fine sediment, show increasingly noncohesive behaviour above 10 micra, (6.5 phi) and cohesive below this size. The results given by the three models allowed the inclusion of sediments till 0.0039 mm (8 phi), since below this diameter the results given were not supported by the sediment pattern distribution. For each sample station, three parameters were extracted by the method of moments: mean (μ), sorting (σ) and skewness (Sk). Distribution maps were constructed using *Golden Software Surfer 8.01* and vector maps were realized through the application of three STA programs: GSTA, GSTAST and TRANSVEC.

5. RESULTS

5.1. Textural Analysis

Textural classification indicates that most samples are well sorted with small deviations to medium well sorted (Fig.2). Also they vary from symmetric to a very positive symmetry (Fig.3).

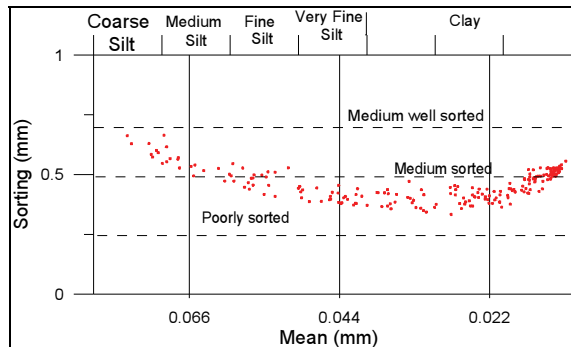


Figure 2 – Textural characterization: mean versus sorting.

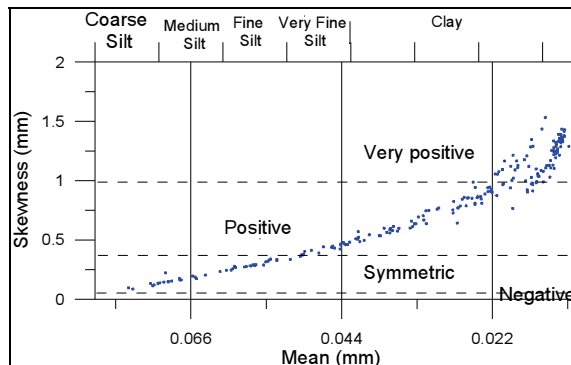


Figure 3 – Textural characterization:- mean versus skewness.

The spatial distribution map of sediment mean, (Fig.4) shows an elliptical shape deposit, with the larger axis oriented NW – SE with very fine sediments in the middle gradually evolving to coarser sediments (coarse silt). This deposit is well sorted in the centre, with moderated well sorted sediment all around the deposit, except in the vicinity of the Tagus estuary (Fig.5). Skewness pattern has a similar pattern to the mean (Fig.6), with positive and very positive sediments in the middle area and symmetric sediments in the margins.

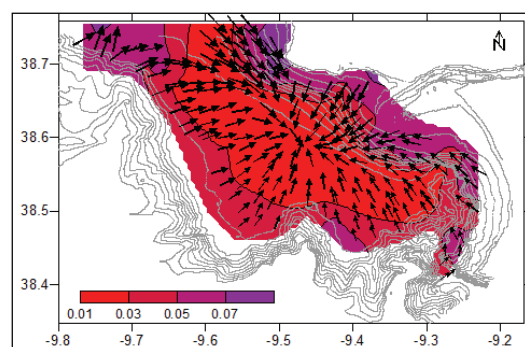


Figure 4 – Spatial distribution of mean and vector distribution pattern using GSTA program.

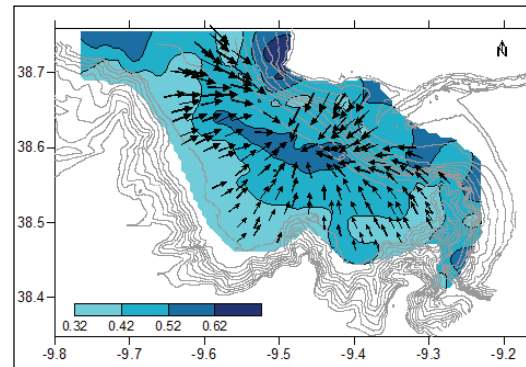


Figure 5 – Spatial distribution of sorting and vector distribution pattern using GSTAST program.

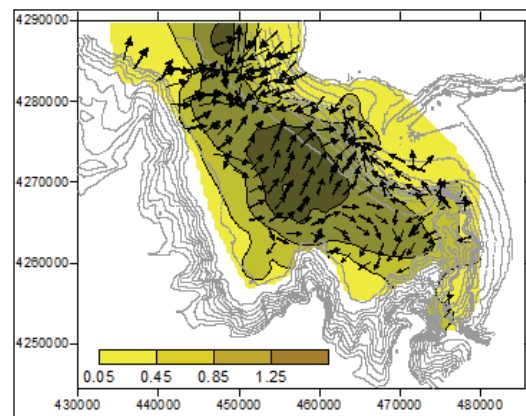


Figure 6 – Spatial distribution of skewness and vector distribution pattern using TRANSVEC program.

The sediment transport patterns computed by the Gao and Collins and Chang programs are very similar. Nevertheless, despite the similar results, the 163 vectors validated in Chang are significantly less than the 211 vectors validated in Gao and Collins (Fig.5) due to the significance test. Both results point to an accumulation area where vectors converge, that coincides with the area where the sediments are finer and well sorted, defined by the NW-SE Tagus mud patch (Fig. 4 and 5). The riverine sediment contribution is well described by vectors oriented from the river mouth to the continental shelf, as well as the south littoral drift. Both programs indicate higher magnitudes in the northern sector than in the southern (Fig. 4 and 5). Output from the Le Roux results are more complex, as vector convergence vectors do not coincide with the Tagus mud patch (Fig.6). There is also a suggestion of sediment dispersal in the southern area. Also the magnitude difference between northern and southern areas can be due to the fact that the northern area is much more exposed to the prevailing oceanic regime.

6. CONCLUSIONS

Results presented so far, apparently indicate that GSTA model is the one that best fits the sediment transport pattern revealed by sedimentary deposits. The transport pattern given by GSTA represents the

depositional environment of the area. Although STA results generally agrees with the conceptual sediment transport models proposed for this shelf section, in order to get more accurate results, there is a further need for observational data, like bottom currents and suspended sediment data. A more detailed sedimentological study is essential to interpret and validate the outputs of STA programs. In case of polymodal grain-size distributions the STA methods should be applied to a single population, which is in equilibrium with specific oceanographic forcing conditions, either past or present.

Acknowledgements

The first author benefits from a PhD grant (SFRH/BD/45878/2008) awarded by the Portuguese Foundation for Science and Technology.

REFERENCES

- Chang, Y., Scrimshaw, M., Lester, J., 2001. A revised grain-size trend analysis program to define net sediment transport pathways. *Computers & Geosciences* 27, 109–114.
- Costa, M., 1992/3/4. Agitação marítima na costa Portuguesa. *Anais do Instituto Hidrográfico* 13, 35- 40.
- Dias, J.M.A., 2004. Evolução do conceito de sedimento reliquia (versão preliminar). <http://w3.ualg.pt/~jldias/JAD/ebooks/Reliquias.pdf>
- Fiúza, A., Macedo, M., Guerreiro, M., 1982. Climatological space and time variation of the Portuguese coastal upwelling. *Oceanologica Acta*, 5 (1), 31 e 40.
- Fiúza, A., 1983. Upwelling patterns of Portugal. Coastal upwelling, its sedimentary record. In: Suess, Thiede (Eds.), Part A. *Responses of the Sedimentary Regime to Present Coast*. Plenum Press, New York, (IV: 10a) pp. 85 a 98.
- Gao, S., Collins, M., 1991. A critique of the McLaren Method for defining sediment transport paths — discussion. *Journal of Sedimentary Petrology* 61 (1), 143–146.
- Gao, S., Collins, M., 1992. Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of transport vectors. *Sedimentary Geology*, 81 (1–2), 47–60.
- Gao, S., 1996. A fortran program for grain-size trend analysis to define net sediment transport pathways. *Computers & Geosciences*, 22 (4), 449–452.
- Gao, S., Collins, M.B., 2001. The use of grain size trends in marine sediment dynamics: a review. *Chin. j. oceanology. limnology*. 19 (3), 265–271.
- Instituto Hidrografico, 2003. Sedimentos superficiais da plataforma continental, Cabo da Roca ao Cabo de Sines.
- Jouanneau, J.-M., Garcia, C., Oliveira, A., Rodrigues, A., Dias, J., Weber, O., 1998. Dispersal and deposition of suspended sediment on the shelf off the Tagus and Sado estuaries, SW Portugal. *Progress in Oceanography* 42, 233 e 257.
- Le Roux, J., 1994. Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of “transport vectors” – comment. *Sedimentary Geology* 90, 153–156.
- Le Roux, J.P., O’Brian, R.D., Rios, F., Cisternas, M., 2002. Analysis of sediment transport paths using grain-size parameters. *Computers & Geosciences* 28 (5), 717–721.
- Lima, L., 1971. Distribuição dos Minerais Argilosos na Plataforma Continental entre os Cabos Raso e Espichel, 1º Congresso Hispano-Luso-Americano de Geologia Económica, Madrid.
- McCave, I. N., Manighetti, B. and Robinson, S. G. (1995). Sortable silt and fine sediment/composition slicing: Parameters for paleocurrent speed and paleoceanography. *Paleoceanography*, vol. 10, n 3, pp.593-610.
- McLaren, P., 1981. An interpretation of trends in grain-size measures. *Journal Sedimentary Petrology*. 51 (2), 611–624.
- McLaren, P., Bowles, D., 1985. The effects of sediment transport on grain-size distributions. *Journal Sedimentary Petrology* 55 (4), 457–470.
- Monteiro, J. Hipólito, Gaspar, L., Dias, J.M. Alveirinho (1977) - Avaliação dos Recursos Minerais da Margem Continental Metropolitana. *Boletim de Minas*, 13(4):1-11, Lisboa, Portugal. ISSN: 0006-5935.
- Vanney, J.-R., Mougnot, D., 1981. La plate-forme continentale du Portugal et les provinces adjacentes: Analyse Geomorphologique. *Memórias dos Serviços Geológicos de Portugal*, 28, 86p.
- Vitorino J, Oliveira A, Jouanneau J-M, Drago T. 2002. Winter dynamics on the northern Portuguese shelf: Part 1. Physical processes. *Progress in Oceanography*;52:129–53.

Índice de suscetibilidade à ação marítima. Aplicação à Ria Formosa

P. Freire (1), F. Sancho (1) e F. S. B. F. Oliveira (1)

(1) Laboratório Nacional de Engenharia Civil. pfreire@lnec.pt

Resumo: Neste trabalho apresenta-se uma nova metodologia de determinação da suscetibilidade à ação marítima, aplicada à Ria Formosa. Definiu-se um índice de suscetibilidade que se baseia em 3 sub-índices: i) suscetibilidade ao galgamento, determinado através da comparação dos níveis máximos estimados do espraiamento, para diferentes períodos de retorno, com a cota atual do cordão dunar; ii) suscetibilidade à rutura do cordão dunar, avaliado com base na largura das ilhas barreira; iii) suscetibilidade ao recuo da linha de costa, estabelecido através da taxa de evolução da mesma, corrigida de acordo com o recuo estimado da linha de costa face à subida do nível médio no mar. A aplicação desta metodologia ao sistema de ilhas barreira da Ria Formosa conduziu à identificação de zonas críticas que ameaçam a continuidade da estrutura arenosa da barreira.

Palavras chave: erosão, inundação, ilhas barreira, parâmetros morfológicos, espraiamento, nível médio do mar

1. INTRODUÇÃO

A proposta e avaliação de medidas de proteção e reabilitação da zona costeira deve sustentar-se no conhecimento prévio da propensão da faixa costeira a ser afectada pela ação marítima, ou seja da sua suscetibilidade. Os sistemas ilhas barreira são um caso particular de estruturas costeiras peculiarmente sensíveis a desequilíbrios entre os agentes forçadores, as características morfológicas e as variáveis que refletem as tendências evolutivas do sistema. Em Portugal, tem sido dada grande atenção ao sistema ilhas barreira da Ria Formosa, havendo várias propostas metodológicas para a identificação e classificação da suscetibilidade à ação marítima deste sistema (e.g. Andrade, 1990; Matias *et al.*, 1998; Ferreira *et al.*, 1998; Vila-Concejo *et al.*, 2006; Ferreira *et al.*, 2006; Garcia *et al.*, 2010). Face à multiplicidade de metodologias já apresentadas, e tendo em conta os dados disponíveis e as variáveis mais relevantes, o presente estudo teve como objetivo a definição e aplicação de um índice de suscetibilidade à ação marítima nas ilhas barreira, que considerasse o efeito do galgamento e rutura do cordão dunar, e o recuo da linha de costa.

2. ZONA DE ESTUDO

O sistema ilhas barreira da Ria Formosa, localizado no Sotavento Algarvio (Fig. 1), apresenta grande importância socioeconómica local e regional, sendo o seu valor ambiental reconhecido a nível nacional e internacional (encontra-se inserida na área do Parque Natural da Ria Formosa e pertence à Rede Natura 2000). Esta unidade fisiográfica de forma triangular, alongada para nordeste, inclui um cordão litoral arenoso descontínuo que se desenvolve segundo duas direcções principais (NW-SE e NE-SW). Este

sistema tem tido um número variável de barras de maré e ilhas, em resultado de uma dinâmica de padrões de migração e de abertura e fecho pelos agentes modeladores e intervenções humanas. Actualmente compreende uma península, a península do Ancão a oeste, e 6 ilhas, de poente para nascente: Barreta, Culatra, Armona, Tavira, Cabanas e Cacela. Nesta estrutura arenosa abrem-se 7 barras de maré, designadas, de poente para nascente, de: barra do Ancão (ou de S. Luís), Faro - Olhão, Armona, Fuzeta, Tavira, Cabanas (de Cacela ou Lacém) e barra nova de Cacela. As barras de Faro - Olhão e Tavira estão fixadas por estruturas rígidas. O cordão arenoso protege e mantém no interior um extenso corpo lagunar, de substrato vasoso e areno-vasoso, constituído por sapais, rasos de maré, canais de maré e pequenas ilhas.



Fig. 1. Localização da zona de estudo.

3. DEFINIÇÃO DO ÍNDICE DE SUSCETIBILIDADE À AÇÃO MARÍTIMA

O índice de suscetibilidade definido neste trabalho inclui o efeito do galgamento e rutura do cordão

dunar, e o recuo da linha de costa, e baseia-se em: cotas do terreno face a níveis de sobrelevação e espraio; largura das ilhas barreira; tendência de recuo ou de avanço da linha de costa. O índice de susceptibilidade à ação marítima, I_s , é dado por:

$$I_s = I_g + I_w + I_r$$

em que I_g representa a susceptibilidade ao galgamento, I_w representa a susceptibilidade à abertura de barras e à rutura (e inundação) da ilha e I_r representa a susceptibilidade ao recuo da linha de costa.

O sub-índice I_g descreve a susceptibilidade do sistema dunar da ilha barreira a ser galgado, comparando as cotas do terreno obtidas em determinado instante com os níveis estimados do galgamento oceânico. Esta componente não inclui aspectos ligados à resiliência da duna face ao galgamento, consistindo, portanto, numa abordagem simplificada. No entanto, este sub-índice permite captar o factor mais importante de susceptibilidade ao galgamento que se traduz pela diferença ou razão entre o nível de galgamento e a cota da duna (e.g., Sallenger, 2000). O sub-índice I_w representa, também de uma forma simplificada, a susceptibilidade de uma ilha à abertura de novas ligações entre o mar e a laguna, ou seja à sua rutura transversal total. Esta rutura resulta da ação dos agentes hidrodinâmicos (sobrelevação, agitação marítima, galgamento oceânico, correntes de maré) e do enfraquecimento do campo dunar (abaixamento, erosão, desflorestação, etc.), versus a robustez da ilha barreira. Considerou-se que a largura do sistema dunar relativa à distância de intrusão média de galgamentos oceânicos traduz essa robustez. O sub-índice de susceptibilidade ao recuo da linha de costa, I_r , inclui a tendência evolutiva da linha de costa a longo termo, atual e futura. Para condições semelhantes de largura da ilha e cotas máximas do sistema dunar, um trecho com tendência erosiva será mais suscetível que outro em acreção. Na construção deste sub-índice a taxa de evolução, obtida através da análise da evolução da linha de costa, é corrigida de acordo com o recuo estimado da linha de costa face à subida do nível médio das águas do mar, contabilizando assim as estimativas de tendência actual e futura da evolução (recuo/avanço) da linha de costa. Cada um dos sub-índices referidos é classificado de 1 a 4, correspondendo, respectivamente a susceptibilidade baixa (1), moderada (2), elevada (3) e extrema (4). A classificação final de classes de susceptibilidade à ação marítima é a indicada na Tabela I.

Tabela I – Classes de susceptibilidade.

Classe de susceptibilidade	I_s
Baixa	$I_s \leq 4$
Moderada	$4 < I_s \leq 7$
Elevada	$7 < I_s \leq 10$
Extrema	$10 < I_s \leq 12$

4. APLICAÇÃO À RIA FORMOSA: RESULTADOS E DISCUSSÃO

O índice de susceptibilidade à ação marítima definido em 3 foi aplicado à península do Ancão e ilhas da Barreta, Culatra e Armona, para as quais existia uma cobertura topográfica detalhada.

4.1. Sub-índice de susceptibilidade ao galgamento

Este sub-índice é quantificado pela seguinte relação, considerando os períodos de retorno dos níveis de espraio de 10, 25 e 50 anos:

$$I_g = \begin{cases} 1 & \text{se } h_c > N_{50} \\ 2 & \text{se } N_{25} < h_c \leq N_{50} \\ 3 & \text{se } N_{10} < h_c \leq N_{25} \\ 4 & \text{se } h_c \leq N_{10} \end{cases}$$

sendo h_c a cota da crista do cordão dunar, referente ao ZH, e N_x (com $x=10, 25$ e 50 anos) a cota máxima do espraio associada ao período de retorno de x anos, obtido através da soma do nível de água com a elevação do espraio. Este procedimento traduz o cenário mais pessimista de ocorrência do máximo espraio em coincidência com o máximo nível de água, incluindo o efeito da subida do nível médio do mar e da sobrelevação meteorológica. A metodologia considerada no cálculo do espraio encontra-se descrita em detalhe em Sancho *et al.* (2011). As cotas máximas do cordão dunar foram determinadas com base no modelo digital de terreno obtido a partir do levantamento LIDAR realizado em 6 e 7 de novembro de 2009, considerando-se a cota média ao longo da linha cumeada em transeptos distanciados entre si de 100 m. Os resultados evidenciam que as ilhas da Culatra e da Armona são as que apresentam cotas mais baixas dos cordões dunares, e que a península do Ancão apresenta cotas mais elevadas em quase toda a sua extensão, com exceção o extremo nascente e a cerca de 1.5 km para leste da zona frontal à “ponte da ilha de Faro”. As ilhas/península analisadas apresentam, de um modo geral, susceptibilidade extrema ao galgamento, sendo poucos os sectores onde a susceptibilidade ao galgamento é baixa ou moderada. O conhecimento histórico da frequência de galgamentos observada em todo o conjunto de ilhas barreira permite confirmar os resultados aqui obtidos. De referir que nesta análise não estão consideradas as alterações mais recentes (pós 2009) da configuração do sector leste da ilha da Armona que alteraram certamente esta tendência.

4.2. Sub-índice de susceptibilidade à abertura de barras e à rutura (e inundação) da ilha

Trabalhos anteriores (Matias *et al.*, 2008), baseados na análise das cicatrizes de galgamentos observados nas ilhas barreira, apuraram que a distância de intrusão média dos galgamentos é cerca de 50 m, com um desvio padrão de 40 m. Considerando estes

valores e as larguras das ilhas barreira definiu-se o sub-índice I_w de acordo com o seguinte critério:

$$I_w = \begin{cases} 1 & \text{se } L_w > 300 \text{ m} \\ 2 & \text{se } 200 < L_w \leq 300 \text{ m} \\ 3 & \text{se } 100 < L_w \leq 200 \text{ m} \\ 4 & \text{se } L_w \leq 100 \text{ m} \end{cases}$$

em que L_w é a largura da ilha/península. Admitiu-se para tal que uma ilha seria extremamente suscetível se L_w fosse inferior a cerca de duas vezes a intrusão média (~100 m), e que as classes seguintes seriam espaçadas de 100 m. Para a quantificação deste sub-índice determinou-se a largura das ilhas barreira, definida como a largura da zona arenosa entre os limites inferiores da vegetação, do lado oceânico e lagunar, extraída dos ortofotomapas de 2009, do Instituto Geográfico Português. Os resultados mostram que são a península do Ancão e a ilha da Armona aquelas que apresentam maior extensão com largura inferior a 100 m. A ilha da Barreta é a que apresenta menor suscetibilidade à rutura total, devido à largura superior do cordão arenoso, enquanto a península do Ancão e o sector oriental da ilha da Armona apresentam suscetibilidade extrema devido à reduzida largura.

4.3. Índice de suscetibilidade ao recuo da linha de costa

Com base nas taxas de evolução da linha de costa obtidas através da comparação de fotografia aérea de diferentes datas (Freire *et al.*, 2011) definiu-se o sub-índice I_r de acordo com o critério:

$$I_r = \begin{cases} 1 & \text{se } T_e \geq 0 \text{ m.ano}^{-1} \\ 2 & \text{se } -1.5 \leq T_e < 0 \text{ m.ano}^{-1} \\ 3 & \text{se } -3 \leq T_e < -1.5 \text{ m.ano}^{-1} \\ 4 & \text{se } T_e < -3 \text{ m.ano}^{-1} \end{cases}$$

em que T_e é a taxa de evolução da linha de costa, correspondendo os valores positivos a avanço desta, ou seja acreção, e os negativos a recuo, ou seja erosão. Admitiu-se que uma ilha/península seria extremamente suscetível ao recuo se T_e fosse superior a -3 m.ano^{-1} , valor próximo do proposto por Julião *et al.* (2009). A taxa de evolução da linha de costa, T_e , foi corrigida de acordo com o recuo estimado da linha de costa face à subida do nível médio das águas do mar (Freire *et al.*, 2011), segundo a metodologia apresentada em Ferreira *et al.* (2006). Os resultados mostram que a península do Ancão apresenta em quase toda a sua extensão uma suscetibilidade moderada ao recuo da linha de costa, sendo apenas no extremo oriental que a suscetibilidade é reduzida. Na ilha da Barreta a suscetibilidade é moderada a elevada ao recuo da linha de costa no extremo oriental, enquanto os sectores ocidental e central apresentam suscetibilidade baixa. Na ilha da Culatra a suscetibilidade é moderada a elevada no extremo ocidental e predominantemente reduzida na restante

extensão da ilha. A ilha da Armona apresenta na parte nascente uma suscetibilidade elevada ao recuo da linha de costa; no centro e a ocidente, o índice oscila entre suscetibilidade reduzida a moderada, sendo pontualmente elevada.

4.4. Índice de suscetibilidade à ação marítima

Com base nos valores obtidos anteriormente foi calculado o índice de suscetibilidade global, cuja expressão geográfica é apresentada na Figura 2. A suscetibilidade elevada em certos sectores da península do Ancão deve-se fundamentalmente à componente elevada a extrema da suscetibilidade ao galgamento e rutura total da península, que é compensada pela suscetibilidade baixa a moderada ao recuo da linha de costa. De referir que este resultado (para o galgamento e rutura) não tem em conta a existência de uma defesa costeira aderente no lugar da “praia de Faro”, que impede ou dificulta a ruptura da ilha, pelo que será de esperar um índice de suscetibilidade global menor na zona habitada e protegida. Na ilha da Barreta a suscetibilidade é predominantemente baixa a moderada, sendo o sub-índice mais gravoso o da suscetibilidade ao galgamento (que chega a ser extrema em grande parte da ilha). Na ilha da Culatra, que apresenta valores superiores e mais frequentes de suscetibilidade elevada do que a ilha da Barreta, os índices mais elevados resultam maioritariamente da contribuição da suscetibilidade ao galgamento e à rutura da ilha nos sectores central e oriental. No sector ocidental, os factores predominantes são o galgamento e o recuo da linha de costa. Estes resultados são confirmados pelos galgamentos reportados na povoação do Farol, apesar de protegida por estruturas costeiras, que impedem o aumento do recuo da linha de costa. Finalmente, na ilha da Armona, no sector oriental sobrepõem-se negativamente os três efeitos: suscetibilidade ao galgamento, ruptura e recuo da linha de costa.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho apresenta-se um novo índice de suscetibilidade à ação marítima, considerando o galgamento e rutura do cordão dunar, e recuo da linha de costa. Esta metodologia foi aplicada à Ria Formosa, mais precisamente à península do Ancão e ilhas da Barreta, Culatra e Armona. Os resultados mostram que os sectores mais suscetíveis à acção marítima (com suscetibilidade extrema) são uma frente de aproximadamente 1 km de extensão na ilha da Armona, a leste, secundando-lhe uma grande extensão da península do Ancão, na frente de 2 km para nascente da “ponte da ilha de Faro”, onde a suscetibilidade está no limite entre elevada a extrema. Realça-se que não foram consideradas nesta análise as alterações recentes da configuração de parte deste sector da ilha da Armona (em frente à povoação da Fuzeta) decorrentes de trabalhos de recuperação e consolidação do cordão dunar.

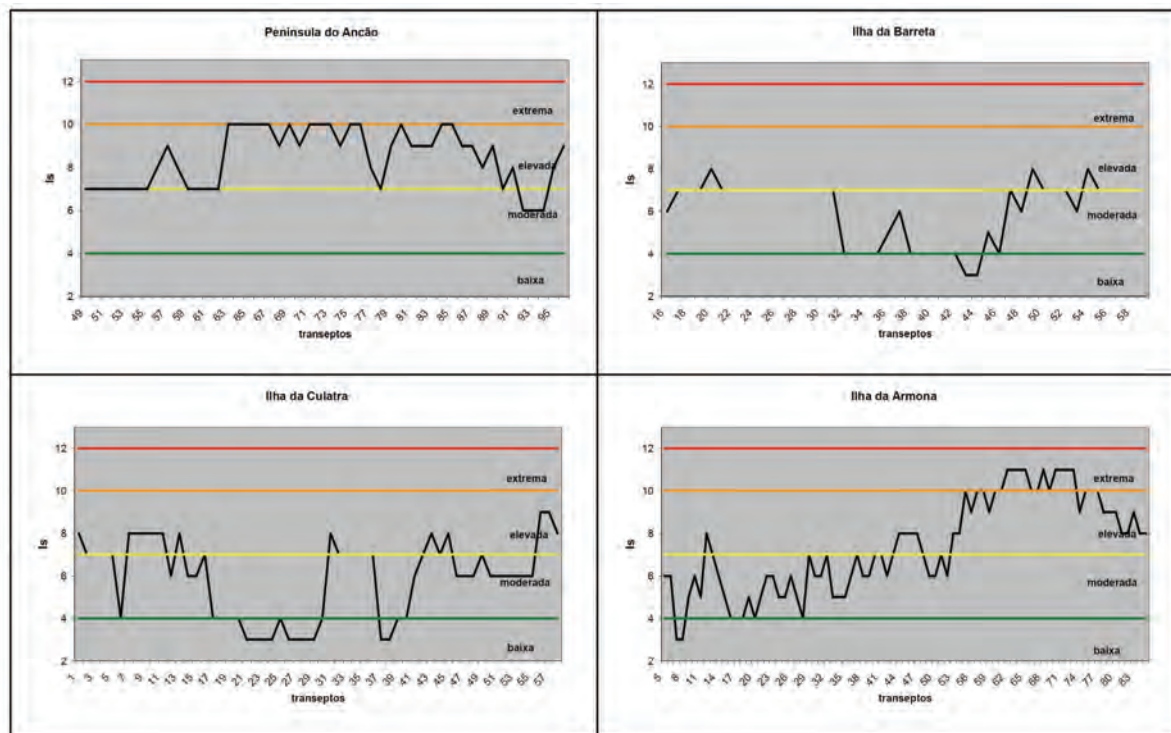


Fig. 2. Variação do índice de suscetibilidade, I_s , ao longo da península do Ancão e ilhas da Barreta, Culastra e Armona e classes de suscetibilidade.

Os resultados obtidos com a presente metodologia são de um modo geral concordantes com resultados de estudos de suscetibilidade anteriores (e.g. Andrade, 1990; Matias *et al.*, 1998; Ferreira *et al.*, 1998; Garcia *et al.*, 2010).

Agradecimentos

Este trabalho foi efetuado no âmbito do estudo “Valorização Hidrodinâmica da Ria Formosa e Mitigação do Risco das Ilhas Barreira” realizado para a Sociedade Polis Litoral Ria Formosa S.A (Contrato de Prestação de Serviços 101/9/CN009), à qual os autores agradecem a autorização de publicação dos resultados. Um agradecimento aos técnicos Luís Simões Pedro, Fernando Brito e Lourival Trovisco pelo processamento de dados.

REFERÊNCIAS

- Andrade, C. (1990). Estudo da susceptibilidade ao galgamento da Ria Formosa. *Geolis*, IV(1-2): 69-76, Lisboa, Portugal.
- Ferreira, Ó., Taborda, R., Dias, J.A. (1998). Morphological vulnerability index: a simple way of determining beach behaviour. *Proc. Int. Conf. Coastal Eng., ASCE*, Copenhagen, vol. 4: 3206-3214.
- Ferreira, Ó., Garcia, T., Matias, A., Taborda, R., Dias, J.A. (2006). An integrated method for the determination of set-back lines for coastal erosion hazards on sandy shores. *Continental Shelf Research*, 26:1030-1044.

- Freire, P., Sancho, F., Oliveira, F. (2011). Valorização hidrodinâmica da Ria Formosa e mitigação do risco nas ilhas barreira. *Relatório 1: Mitigação do risco nas ilhas barreira. 1ª Fase - Identificação das zonas de risco*. Rel. 40/2011 – NEC, fevereiro 2011, LNEC, Lisboa, 129 pp.
- Garcia, T., Ferreira, Ó., Matias, A., Dias, J.A. (2010). Overwash vulnerability assessment based on long-term washover evolution. *Natural Hazards*, 54: 225-244.
- Julião, R. P., Nery, F., Ribeiro, J.L., Branco, M. C., Zêzere, J.L. (2009). *Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal*. Autoridade Nacional de Protecção Civil, 91p.
- Matias, A., Ferreira, Ó., Vila-Concejo, A., Garcia, T., Dias, J. A. (2008). Classification of washover dynamics in barrier islands. *Geomorphology* 97: 655-674.
- Sancho, F., Oliveira, F. S.B.F., Freire, P. (2011). Níveis Máximos do Espreadimento no Litoral da Ria Formosa. *7as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*. Porto, 6 e 7 de outubro de 2011, 12 p.
- Sallenger, A.H. (2000). Storm impact scale for barrier islands. *Journal of Coastal Research*, 16/3: 890-895.
- Vila-Concejo, A., Matias, A., Pacheco, A., Ferreira, Ó., Dias, J.A. (2006). Quantification of inlet-related hazards in barrier island systems. An example from the Ria Formosa (Portugal). *Continental Shelf Research*, 26:1045-1060.

Variações sazonais das associações de foraminíferos e ostracodos da plataforma continental algarvia

C. I. Luz (1), F. Fatela (2), M. C. Cabral (2), T. Drago (3) e A. Rodrigues (1)

- (1) Instituto Hidrográfico, Divisão de Geologia Marinha - cecilia.luz@hidrografico.pt
 (2) Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Departamento e Centro de Geologia
 (3) Instituto Português do Mar e da Atmosfera

Resumo: As microfaunas de foraminíferos e ostracodos bentónicos da plataforma continental algarvia, entre o Cabo de São Vicente e a Ria Formosa, foram analisadas em 18 amostras de sedimentos superficiais (-58m a -125m), colhidas no inverno e na primavera de 2008.

Foram identificadas 128 espécies de foraminíferos bentónicos e 76 espécies de ostracodos. Tendo por base a abundância relativa e o padrão de distribuição foram estabelecidas 3 associações para cada uma das microfaunas.

A análise realizada permitiu identificar produtividade elevada e o desenvolvimento das microfaunas em meios de diferente energia hidrodinâmica. A leste do canhão de Portimão regista-se um meio de baixa energia; na zona a oeste, rica em nutrientes, verifica-se o aumento de espécies oportunistas de foraminíferos bentónicos em Junho, onde a microfauna reflecte maior hidrodinamismo e remobilização dos sedimentos, possivelmente devido à influência do fenómeno de *upwelling* costeiro.

Palavras chave: foraminíferos, ostracodos, produtividade, plataforma algarvia

1. INTRODUÇÃO

As microfaunas de foraminíferos e ostracodos bentónicos encontram-se distribuídas em ambientes marinhos de todo o mundo, vivendo em associação com os sedimentos ou na coluna de água.

São mais de 60 000 as espécies de foraminíferos conhecidas e estima-se que o número de espécies de ostracodos seja de 33 000, possuindo estes o maior registo fóssil de todos os artrópodes (Horne *et al.*, 2002). Os dois grupos vêm do Câmbrio à actualidade.

A diversidade de espécies e a sua adaptação a condições ambientais de largo espectro confere aos dois grupos grande valor paleoecológico e estratigráfico (Athersuch *et al.*, 1989).

O estudo da microfauna marinha em Portugal incide sobretudo na plataforma ocidental. Salienta-se que este é o primeiro trabalho da plataforma algarvia, quer sobre a distribuição sazonal de foraminíferos, quer sobre ostracodos (*s.l.*).

No âmbito do projeto POPEI realizou-se em 2008 uma amostragem sazonal na plataforma continental algarvia. Parte da amostragem destinou-se especificamente ao estudo da microfauna de foraminíferos e ostracodos bentónicos.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na plataforma continental algarvia, entre o Cabo de S. Vicente e a Ria Formosa, a sul do paralelo 37°00'N e compreendida entre os meridianos 008°00'W e 009°00'W (Figs. 1 e 5).

Foram realizadas duas campanhas, uma no inverno, outra na primavera (Tabela I), ambas em condições meteorológicas favoráveis, assumindo porém que

terá ocorrido fenómeno sazonal de *upwelling* costeiro na segunda amostragem.

Tabela I – Registo das campanhas

	1ª Campanha	2ª Campanha
Estação do ano	Inverno	Primavera
Mês/Ano	Janeiro 2008	Junho 2008
Navio	NRP “Auriga”	Navio de Pesca “Noruega”
Tipo de colhedor	Smith-McIntyre	Boxcorer

Colheram-se 18 amostras de sedimentos (9 por campanha) entre -70m e -150m (Figs. 1 e 5). A localização das estações de colheita (1, 3, 5, 6, 8, 9, 12, 13 e 14) foi pré-estabelecida, tendo por base a carta SED 7/8 - Carta dos Sedimentos Superficiais do Cabo de S. Vicente ao Rio Guadiana, editada pelo Instituto Hidrográfico (IH). As manchas de sedimentos seleccionadas correspondem a sedimentos finos com fracção arenosa inferior a 50%.

3. PLATAFORMA CONTINENTAL ALGARVIA

A plataforma continental algarvia apresenta morfologia regular com largura variável, pendor suave e bordo bem definido entre -110m e -150m. Apresenta vasta extensão de sedimentos lodosos, particularmente abundantes para leste do Canhão de Portimão, que marca a fronteira entre a predominância de sedimentos bioclásticos e litoclásticos (Moita, 1986).

De forma simplificada, os depósitos podem ser descritos do seguinte modo (Moita, 1986):

Acumulação de formações lodosas - zonas dos pró-delta dos rios Arade e Guadiana;

Acumulação de lodos - plataforma média e vertente superior;

Areias e formações arenosas - plataforma média, exterior e bordo;

Areias costeiras - ao longo de toda a costa sul (até cerca de 30m de profundidade).

A agitação marítima apresenta dois rumos predominantes: SW a W (68%) e SE (Costa, 1994). O regime de correntes é fraco na plataforma, com predominância das correntes de deriva sobre as correntes de maré. A deriva litoral ocorre até à batimétrica dos 30m, paralelamente à costa. Regista-se ainda a ocorrência de *upwelling* costeiro entre Junho e Setembro (e.g. Relvas e Barton, 2002).

4. MÉTODOS

Assume-se que os colhedores utilizados permitiram a preservação da amostra de sedimento, sem perda da sua camada superficial, e que os 20cm iniciais correspondem à deposição actual ou sub-actual, reflectindo as condições ambientais e sedimentares recentes.

O 1º centímetro de sedimento superficial foi colhido e armazenado em tubos de plástico, a que se juntou etanol a 95%, para preservar os microorganismos que se encontravam vivos na altura da colheita.

No laboratório procedeu-se à separação e tratamento da fracção > 63µm para posterior triagem, contagem e classificação da microfauna:

Crivagem a húmido - separação das fracções superior e inferior a 63µm;

Rosa de bengala - aplicação da solução à fracção superior a 63µm para coloração do protoplasma dos organismos vivos na altura da colheita;

Secagem - em estufa a 40°C a fim de preservar as carapaças;

Quarteamento - repartição da amostra com micro-quarteador mecânico, garantindo a homogeneidade da amostra e fiabilidade dos resultados;

Triagem da microfauna - à lupa binocular de todos os indivíduos, vivos, mortos, jovens e adultos;

Observação à lupa binocular - contagem e identificação inicial;

Microscópio electrónico de varrimento - observação pormenorizada das carapaças, ornamentações, abertura, entre outras.

Foram determinados os valores em carbono orgânico total (COT) e carbono inorgânico total (CIT) por espectrometria por absorção de infravermelhos, de acordo com o método indirecto (Norma Europeia EN 13137/2001).

5. RESULTADOS

Foraminíferos bentónicos

Foram triados 8 369 indivíduos, distribuídos por 128 espécies.

A maioria dos indivíduos estava morta na altura da colheita.

As espécies mais abundantes identificadas nas manchas de sedimentos lodosos da plataforma continental algarvia, entre o cabo de S. Vicente e a Ria Formosa, são *Brizalina difformis* (Williamson, 1862), *Bulimina gibba* Fornasini, 1901, *Bulimina marginata* d'Orbigny, 1846, *Bolivina ordinaria* Phleger & Parker, 1952, *Brizalina spathulata* (Williamson, 1858), *Brizalina subaenariensis* (Cushman, 1922), *Cassidulina laevigata* d'Orbigny, 1826, *Cassidulina obtusa* Williamson, 1858, *Cibicides pseudoungerianus* (Cushman, 1922), *Cassidulina teretis* Tappan, 1951, *Elphidium gerthi* Van Voorthuysen, 1958, *Epistominella vitrea* Parker, 1953, *Globocassidulina subglobosa* (Brady, 1881), *Gyroidina umbonata* (Silvestri, 1898) e *Nonion fabum* (Fitchel & Moll, 1798).

Textularia deltoidea Reuss, 1850, corresponde à única espécie de concha aglutinada.

Foram consideradas 3 associações de foraminíferos bentónicos (Fig. 1), com base na abundância relativa e no padrão de ocorrência das espécies dominantes (> 10%) e das comuns (5 a 10%).

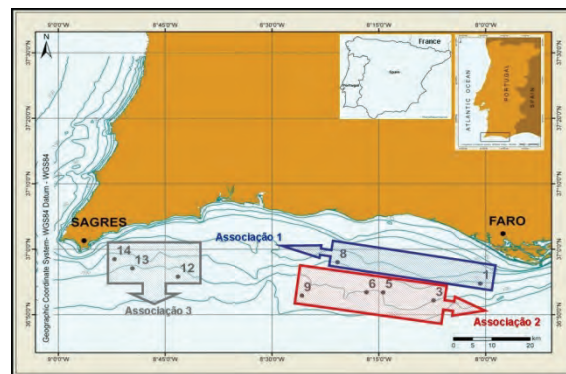


Fig. 1. Localização das amostras e das associações de foraminíferos bentónicos

A **associação 1** apresenta como espécies dominantes *B. ordinaria* e *B. spathulata* (Fig. 2). Estas espécies são referidas por alguns autores (e.g. Murray, 1971) como típicas de meios ricos em matéria orgânica e de plataforma média e externa.

Foram ainda identificadas espécies tipicamente marinhas, de ambientes ricos em matéria orgânica: *Asterigerinata* cf. *mamilla* (Williamson, 1848), *B. gibba*, *C. laevigata*, *C. obtusa*, *C.* cf. *pseudoungerianus*, *E. gerthi*, *E. vitrea* e *N. fabum* de abundância relativa < 5%.

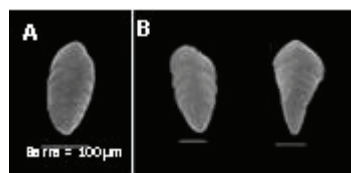


Fig. 2. A – *B. ordinaria*; B – *B. spathulata*

As espécies oportunistas aumentam em Junho: *B. ordinaria*, *A.* cf. *mamilla*, *B. spathulata* e *C. obtusa*. *B. spathulata* é associada a fenómenos de *upwelling*.

A **associação 2** distingue-se da associação 1 por apresentar como espécies comuns *B. marginata* e *B. subaenariensis* (Fig. 3).

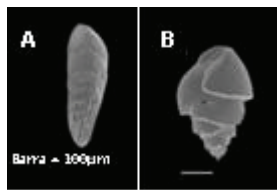


Fig. 3. A - *B. marginata*; B - *B. subaenariensis*

Em Junho há aumento da abundância das espécies oportunistas, referidas como comuns nas zonas de *upwelling* do Atlântico: *G. subglobosa*, (segundo Sen Gupta & Machain-Castillo, 1993 in Martins, 2003) e *B. spathulata*, (Guerreiro *et al.*, 2009).

Os valores de CIT confirmam a existência de um local de acumulação de carapaças carbonatadas, com elevada produtividade local e acumulação de partículas orgânicas favoráveis ao desenvolvimento da microfauna.

A **associação 3** distingue-se das associações 1 e 2 pela presença de espécies dos géneros *Dentalina*, *Fissurina* e *Lagena* (Fig. 4), típicas da plataforma média e facilmente transportadas por correntes.

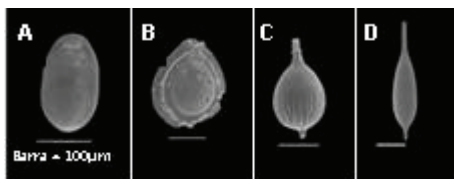


Fig. 4. A, B - *Fissurina* spp.; C, D - *Lagena* spp.

Os valores de CIT (3,6% e 4,6%, na 1ª e 2ª campanha, respectivamente) confirmam igualmente que se trata duma zona com elevada produtividade e acumulação de partículas orgânicas. O aumento significativo dos teores em COT e CIT, em Junho, evidencia a possível influência do *upwelling* costeiro.

Ostracodos bentónicos

Foram triados 3 649 indivíduos, distribuídos por 76 espécies.

As espécies mais abundantes são *Costa runcinata* (Baird, 1950), *Pterygocythereis jonesi* (Baird, 1850) e *Palmoconcha guttata* (Norman, 1865).

A influência das águas costeiras é evidenciada pela ocorrência de espécies típicas de ambientes litorais: *Aurila convexa* (Baird, 1850), *Urocythereis britannica* Athersuch, 1977, *Loxoconcha elliptica* Brady 1868, *Semicytherura striata* (Sars, 1866). A espécie *Krithe* aff. *praetexta* (Sars, 1866) aparece na generalidade das amostras.

Foram consideradas 3 associações de ostracodos apresentadas na Fig. 5.

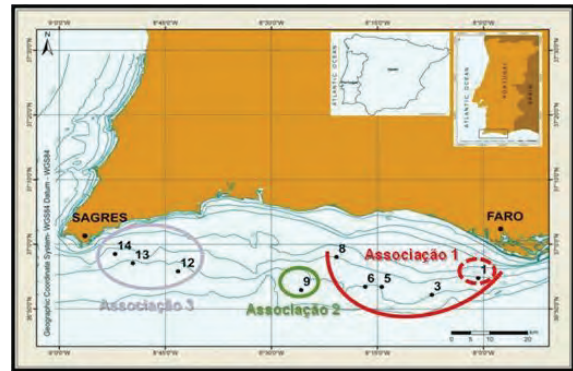


Fig. 5. Localização das amostras e das associações de ostracodos

A **associação 1** apresenta como espécies dominantes *P. jonesi*, *Rectobuntonia rectangularis* (Ruggieri, 1954) e *P. guttata* (Fig. 6), típicas de meio marinho da plataforma continental. É de destacar a zona próxima da estação 1 por apresentar maior número de espécies litorais e estuarinas. A presença de *Argilloecia* sp. e *Celtia quadridentata* (Baird, 1850) reforça a indicação da existência de espécies típicas das profundidades a que são identificadas.

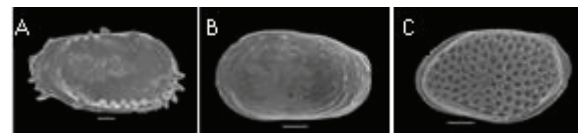


Fig. 6. A - *P. jonesi*; B - *R. rectangularis*; C - *P. guttata* (barra=100µm)

A maioria das populações está representada sobretudo por indivíduos jovens e mortos.

A **associação 2** (Fig. 7) é caracterizada pela presença de maior quantidade de espécies típicas de águas profundas: *Cytherella alvearium* Bonaduce, Ciampo & Masoli, 1976, *Cytheropteron monoceros* Bonaduce, Ciampo & Masoli, 1976, *R. rectangularis* e *Henryhowella sarsi* (G. W. Müller, 1894).

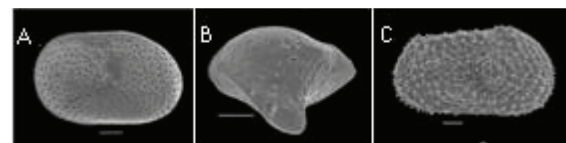


Fig. 7. A - *C. alvearium*; B - *C. monoceros*; C - *H. sarsi* (barra=100µm)

Em Junho nas associações 1 e 2 há redução do número de espécies mas aumento das abundâncias relativas.

A **associação 3** apresenta maior número de espécies e indivíduos que as associações 1 e 2. É caracterizada por larga maioria de valvas de indivíduos jovens.

As espécies identificadas são típicas de meio marinho profundo - *C. runcinata*, *P. guttata*, *P. jonesi*, de ambiente litoral - *Hemicytherura videns* (G. W. Müller, 1894), *Heterocythereis albomaculata* (Baird, 1838), *Caudites calceolatus* (O. G. Costa, 1853), *Xestoleberis* spp. e de águas pouco profundas

- *A. convexa*, *Callistocythere littoralis* (G. W. Müller, 1894), *Xestoleberis* sp. (Fig. 8).

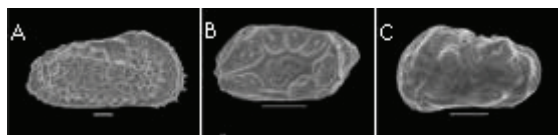


Fig. 8. A – *C. runcinata*; B – *H. videns*; C – *C. littoralis* (barra=100µm)

Cytherella vulgata (Ruggieri, 1962), *Hemicytherura hoskini* Horne, 1981, *Microcytherura fulva* (Brady & Robertson, 1874), *Neocytherideis subulata* (Brady, 1868), *Pseudopsammocythere* cf. *reniformis* (Brady, 1868), *Buntonia sublatissima* (Neviani, 1906), *Cytherella* cf. *robusta* Colalongo & Pasini, 1980, *Cyteropteron* aff. *alatum* (Sars, 1866) e *C. sulcatum* Bonaduce, Ciampo & Masoli, 1976, são espécies constantes desta associação (Fig. 9).



Fig. 9. A – *B. sublatissima*; B – *C.* aff. *alatum*; C – *N. subulata* (barra=100µm)

Em Junho regista-se ligeiro aumento de valvas e carapaças desgastadas, o que sugere remobilização dos sedimentos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As microfaunas identificadas mostram que as manchas de sedimentos analisadas são zonas de deposição ricas em material de natureza carbonatada. A preservação das conchas de foraminíferos e das valvas de ostracodos, nos vários estádios ontogénicos, indicam a existência de um meio com fraco hidrodinamismo. No entanto a presença maioritária de valvas de ostracodos (e a escassez de carapaças) revela alguma remobilização dos sedimentos. Os teores de carbono confirmam a presença de um meio favorável ao desenvolvimento de microfaunas. Junto ao cabo de S. Vicente estes teores são elevados e verifica-se o aparecimento de maior número de espécies. A influência do *upwelling* costeiro em Junho é sugerida pelo aumento da abundância de espécies oportunistas de foraminíferos bentónicos e pelo aumento da concentração de carbono orgânico.

Agradecimentos

Este trabalho é uma contribuição do projeto financiado pela FCT “*High-resolution oceanic paleoproductivity and environmental changes. Correlation with fish populations - POPEI.*” (PDCT/MAR/55618/2004) e coordenado pelo INRB, L-IPIMAR (actual Instituto Português do Mar e da Atmosfera - IPMA).

Agradece-se às equipas participantes nas campanhas “*POPEI 0108*” (NRP “*Auriga*”) e “*Crustáceos 2008*” (“*Noruega*”), nas pessoas do Dr. João Duarte (IH) e Dra. Cristina Silva (IPMA), respectivamente.

REFERÊNCIAS

- Athersuch, J., Horne, D. J., Whittaker, J. E. (1989) *Marine and Brackish water ostracods*. Kermack, D.M. & Barnes, R.S.K. (ed.). *The Estuarine and Brackish-water Association*. The Linnean Society of London, 343 pp.
- Costa, M. (1994). Agitação marítima na costa portuguesa. *Anais do Instituto Hidrográfico*, Nº 13, pp. 35-40.
- Guerreiro, C., Rosa, F., Oliveira, A., Cachão, M., Fatela, F., Rodrigues, A. (2009). Calcareous nannoplankton and benthic foraminiferal assemblages from the Nazaré Canyon (Portuguese continental margin): preliminary results. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 5.
- Horne, D., Cohen, A., Martens, K. (2002). *Taxonomy, morphology and biology of Quaternary and living Ostracoda*. In: *The Ostracoda: Applications in Quaternary Research*. AGU *Geophysical Monograph Series*. A. R. Chivas and J.A. Holmes, (Ed.). Am. Geophysical Union 10.1029/131GM02, Washington, D. C.
- Martins, V. (2003). *Margem Continental NW Ibérica: estudo de mudanças paleoceanográficas e paleoclimáticas durante o Quaternário*. Dissertação de Doutoramento à Universidade de Aveiro. Aveiro, Portugal, 605 pp.
- Moita, I. (1986). *Carta dos Sedimentos Superficiais. Notícia Explicativa da Folha SED 7 e 8*. Instituto Hidrográfico, Lisboa, Portugal.
- Murray, J. (1971). *An atlas of British recent foraminiferids*. Heinemann Educ. Books, 244 pp.
- Relvas, P., Barton, E. D. (2002). Mesoscale patterns in the Cape S. Vicente (Iberian Peninsula) upwelling region. *Journal of Geophysical Research*, 107, NO.C10, 3164.

Beach to Canyon Head Sedimentary Processes Project

J. Duarte (1), R. Taborda (2) e Beach to Canyon Project Team (1, 2)

- (1) Instituto Hidrográfico. joao.duarte@hidrografico.pt
 (2) Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Abstract: The Nazaré Canyon is one of the largest submarine canyons in Europe featuring a remarkable connection with the coastline. This strong connection is not common among the submarine canyons and it is related with a marked active set of processes which drives the sand capture from the canyon-head surrounding beach. The Beach to Canyon Project was designed to take steps towards the understanding of the complex sediment transport mechanisms that generate sediment injection into the Nazaré canyon-head, creating what appear to be a stable erosional head retreat and a major driver of canyon morpho-sedimentary dynamics. A wide set of data are being collected in order to achieve the Project objectives: High resolution multi-beam survey, beach topography, wave and beach morphology video-monitoring, near-shore current data, sediment sampling (superficial and coring) and a tracer experiment.

Keywords: canyon head, sediment, beach, capture

1. INTRODUCTION

The most remarkable pathways of sediment to and from the high depth regions of the sea are the submarine canyons. Almost 6000 submarine canyons can be identified in all world active and passive continental margins (Harris & Whiteway, 2011) but only quite a few tens can establish a direct connection with the shoreline. This connection is mainly controlled by the canyon head, being frequently associated with a coastline indentation, creating a singular set of sedimentary and hydrodynamic processes that promote sediment capture.

In this particular group of canyons one can find deep incision and long paths, creating a distinct morphology referred as type “gouf” by J. R., Vanney & D. Mougenot, 1990, cutting the continental shelf throughout the abyssal plain. The relation between this particular type of submarine canyon and the head and beach morphodynamics is not clear and needs to be clarified.

The Beach to Canyon Project intends to take steps in understanding this relationship on the Nazaré Canyon (Fig. 1) by studying the set of sediment transport processes and oceanographic forcing conditions between the beach around the canyon-head rim and the downstream canyon section. This Project, promoted by Fundação da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa and Instituto Hidrográfico, is funded by Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT).

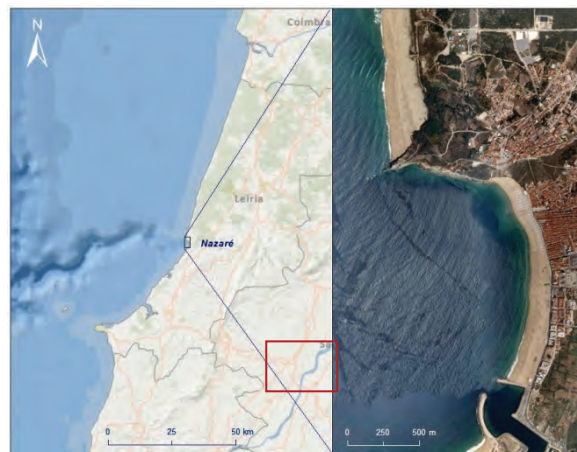


Figure 1. Beach to Canyon Project target area

2. PROJECT APPROACH

The main issue to be addressed on this project is to understand the set of complex sediment transport mechanisms that generate sediment injection into the Nazaré canyon head, creating what appear to be a stable erosional head retreat and beach sand capture. This is a primary and unavoidable step for subsequent research on proximal sediment supply budgets and inner canyon transport processes in terms of frequency, magnitude and nature.

In general terms, the research plan is divided into the following steps:

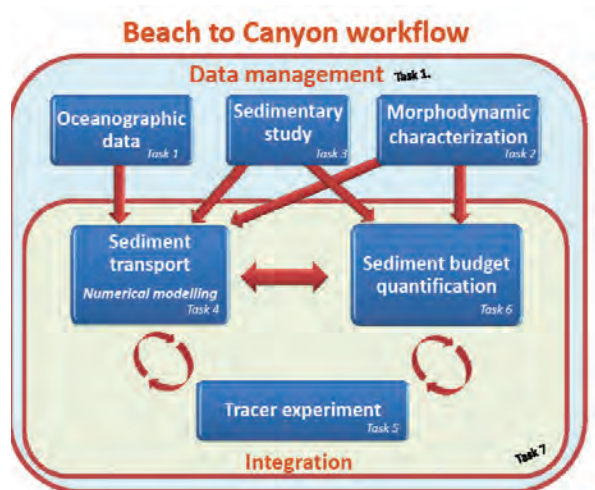
- Knowledge of oceanographic forcing processes (waves and currents; pre-existing data analysis and numerical modeling)
- Nearshore short term morphodynamic assessment (observational data and modeling)
- Sediment pathways and transport volumes estimation (trace experiment and modeling)

The convergence of the above research plan will result on the development of a conceptual model of canyon head supply and longshore sediment transposition to the adjacent littoral system.

The project is structured in 7 tasks related to each other accordingly to the Project workflow (Fig. 2):

1. Literature Review and Data Management
2. Morphodynamic Characterization of Nazaré Head and Coastal Stretch
3. Sedimentary Study
4. Sediment Transport Modeling
5. Sedimentary Trace Experiment
6. Sediment Budget Quantification
7. Integration – Conceptual Model

Figure 2. Beach to Canyon Project workflow



This task structure pretends to combine previous knowledge and data from oceanographic, hydrographic and sedimentological sources with new data from the same domains and numerical modeling of waves, circulation and sediment transport.

The acquisition of new data and numerical modeling will focus on solving the main issues concerning the understanding of the canyon-head capturing process and adjacent beach morphodynamic, which are:

- Prevailing hydrodynamic forcing and sediment transport physical processes.
- Time and space variation of each identified sediment transport processes.
- Sand loss sectors and respective estimated volumes.
- Littoral short-term morphologic evolution and influence of the anthropogenic intervention.
- Identification of high efficient erosion processes starting from the littoral system.
- Short and long-term axial incision mechanisms in correlation with the coarse grained sediment transport load.

- General geo-hazard assessment based on storm scenarios and canyon-head submarine landslide risk in connection with coarse sediment proximal accumulation prisms.
- Evaluation of coarse sediment supply potential to the deep ocean in what concerns the contribution on building distal depositional sequences with significant hydrocarbon potential.

The set of data that are being acquired to address the above issues include the follow:

- High Resolution Multi-Beam Hydrography
- Single Beam nearshore bathymetry
- Beach Topography
- Beach Video Monitoring
- Current and Waves measurement
- Beach Sediment Sampling
- Canyon Axis Coring

This Project will also beneficiate from relevant data sources from MONICAN Project (multi-parametric buoys moored on the Nazaré Canyon), SIMOC Project (radar superficial wave and current data) and video monitoring of Norte beach.

3. PROJECT STATUS

The Beach to Canyon Project has a 3 year long duration and started on the first July 2011. Nevertheless, the financial support by FCT was known a couple of months earlier which permitted to initiate some activities, especially the ones that demanded considerable management caution, in what concerns higher skilled human resources and technology. That was the case of the high resolution multibeam survey made by Brigada Hidrográfica of the first Nazaré Canyon 5 km, using a Kongsberg EM 3002 system, which included the canyon-head area (figure 3). This survey was anticipated to May 2011 and will be carefully compared with the one that was made in the scope of the IH internal Project SECNA in the year 2000.

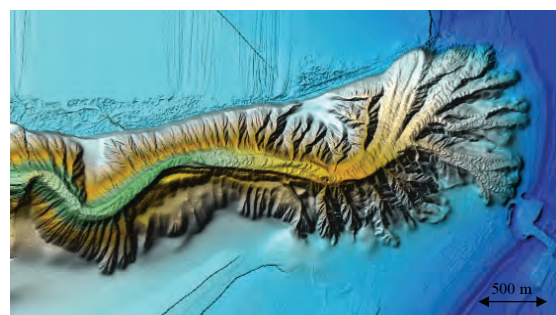


Figure 3. Preliminary digital terrain model obtained from the multibeam survey (Kongsberg EM 3002 system) of the first 5 km of the Nazaré Canyon, between 5 m to 300 m depth, showing the canyon-head complex structure. This survey was taken on May 2011 by Brigada Hidrográfica of Instituto Hidrografico.

With respect to the actual status of the project the following activities can be highlighted:

- Instalation of two video-monitoring cameras on the Nazare Cape and Sítio da Nazare, adding observational capacity by covering two key areas (see Taborda et al., this volume): (a) the offshore area adjacent to the Nazaré headland, where there is a strong wave deformation related with the presence of the Nazaré canyon head, and (b) Baía da Nazaré beach (Figs 4 and 5).
- One high-resolution multibeam survey of the canyon head and adjacent shelf (Fig. 3);
- Topo-hydrographic survey using a single-beam system and DGPS was also made, covering the submerged and emerged beach around the canyon head. This survey was performed in conjunction with the former.
- Coring of the two major sand injection points of the canyon-head system to access the nature and the retaining thickness of the sediment that is being provided directly to the canyon (Fig. 6).
- Acquisition of an high-frequency acoustic (1.5Mhz) SONTEK Mini-ADP with large memory capacity to measure current in limit layer and waves for at least 2 months. This equipment will be moored near Guilhim (Nazare Cape), which is considered the most important sector of sand injection into the canyon.
- Acquisition of a ET862S-R-L Long Life IXSEA GAPS transponder for acoustic positioning; this device will be attached on a concrete weight and will be launched on the beach sand reception area inside the canyon-head at approximately 100 m depth to be tracked down-canyon with the bottom solid sand movement.
- Installation and optimization of a workstation platform to operate the ROMS (Regional Oceanic Modeling System) software on Linux OS.



Figure 4. Video monitoring camera located at Sítio da Nazaré. The image viewed by this camera can be observed in the figure 5.



Figure 5. View of Baía da Nazaré beach from the Sítio da Nazaré. The video-monitoring system is recording the beach variations with high frequency resolution (1Hz).



Figure 6. Core sample obtained on the axis of the most active branch of the Nazaré Canyon head. The column is highly homogenous and shows a medium to coarse sand signature.

4. FUTURE ACTIVITIES

The most relevant data acquisition will be taken throughout this year. This will include the mooring of the MiniADP, launching the GAPS transponder and follow the littoral sand movement inside the canyon. At the same time regular sediment sampling of the beach and inner shelf will occur, combined with topo-hydrographic activities. A tracer experiment is planned to October 2012. Up to 10 T of tracer sand will be launched at Norte beach in order to access transport volumes, beach to canyon losses and level of sand transposition around the Nazaré headland.

Acknowledgments

FCT project B2C - Beach to Canyon Head Sedimentary Processes (PTDC/MAR/114674/2009). The Beach to Canyon team wishes to thank the Nazare Municipality, Capitania do Porto da Nazaré and Confraria de Nossa Senhora da Nazaré for providing major support on field activities and also

for recognizing the importance of the project objectives.

REFERENCES

- Peter, H.; Whiteway, T. (2011). Global distribution of large submarine canyons: Geomorphic differences between active and passive continental margins. *Marine Geology*. 285, 69-86.
- Taborda, R., Silva, A., Duarte, J. & Carapuço, A.M. (2012). Coastal video monitoring: the Nazaré system (*this volume*).
- Vaney, J. R., Mougnot, D. (1990). A Gouf-type canyon, the Canhão-da-Nazaré (Portugal). *Oceanol. Acta* 13 (1), 1-14.

(Paleo)ecology of calcareous nannoplankton from the Central Portuguese Margin: first results from applying COMpositional Data Analysis (CODA)

C. Guerreiro (1, 2, 3), M. Cachão (2), H. De Stigter (3), A. Oliveira (1), A. Rodrigues (1) e V. Pawlowsky-Glahn (4)

(1) Instituto Hidrográfico (IH) – Divisão de Geologia Marinha; catarina.guerreiro@hidrografico.pt

(2) Centro de Geologia and Dep. Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa; mcachao@fc.ul.pt

(3) NIOZ - Royal Netherlands Institute for Sea Research; henko.de.stigter@nioz.nl

(4) Universidad de Girona – Dep. Inf. y Mat. Aplicada; vera.pawlowsky@udg.edu

Abstract: Physical forcing mechanisms associated with submarine canyons, such as the enhancement of upwelling and bottom sediment resuspension, are expected to provide a nutrient source that will favor increased phytoplankton density. On the other hand, the high terrigenous sedimentation rates and the strong bottom dynamics typical of such marine systems are expected to dilute and disturb the paleoecological signal preserved in the seabed. Our main challenge is to distinguish the ecological signal from the taphonomical effects intensified within these marine systems.

Here we report the first application of COMpositional Data Analysis (CODA) to investigate coccolith assemblages preserved in 85 superficial sediment samples from the Nazaré canyon (NC) and Lisbon-Setúbal canyon (LSC) and adjacent shelf and slope areas (off central Portugal). By implementing the use of log ratios (*ibr*, isometric log ratios) CODA provides symmetry and subcompositional coherence between the variables, thus avoiding spurious correlations and leading to more reliable paleoecological interpretations.

Results showed clear paleoecological differences between canyons and adjacent shelf-slope areas, and between NC and LSC. Coastal/neritic coccolith species are more associated with the canyons while the adjacent regions are richer in oceanic coccoliths, and NC has a more coastal/neritic (paleo)ecological signature while LSC appears to be more oceanic.

Keywords: (Paleo)ecology; coccoliths; CODA; Nazaré and Lisbon-Setúbal canyons; Portuguese Margin

1. INTRODUCTION

Coccolithophores are the predominant phytoplankton group within calcareous nannoplankton, used as (paleo)environmental proxies and markers of oceanographic processes (e.g. Ziveri *et al.*, 2004; Silva *et al.*, 2008), and with an exceptional fossil record provided by both open ocean (e.g. Ziveri *et al.*, 2004) and continental shelf/slope sedimentation (e.g. Cachão & Moita, 2000).

Increased phytoplankton density associated to submarine canyons appears to result from upwelling enhancement and bottom sediment resuspension occurring in these regions (e.g. Hickey, 1995; Klinck, 1996). Yet, high terrigenous sediment rates and strong bottom dynamics typical of canyons are expected to dilute and disturb the (paleo)ecological signal preserved in the seabed.

The Nazaré canyon (NC) and the Lisbon-Setúbal canyon (LSC) are the two largest canyons cutting across the central Portuguese margin (Figure 1), both exhibiting a transition from erosive proximal to more depositional distal sections (e.g. Arzola *et al.*, 2008), but showing differences in terms of present day functioning: while active particle resuspension and transport occurs from the upper to the lower NC, the LSC is mainly trapping vertical particle flux (De Stigter *et al.*, 2007; 2011). Our goal is to understand what sort of impact these canyons have in the (paleo)ecology of coccolithophores, for which the main challenge will be in extracting the ecological

signal from the taphonomical effects intensified in such regions (e.g. dilution, dissolution, advection).

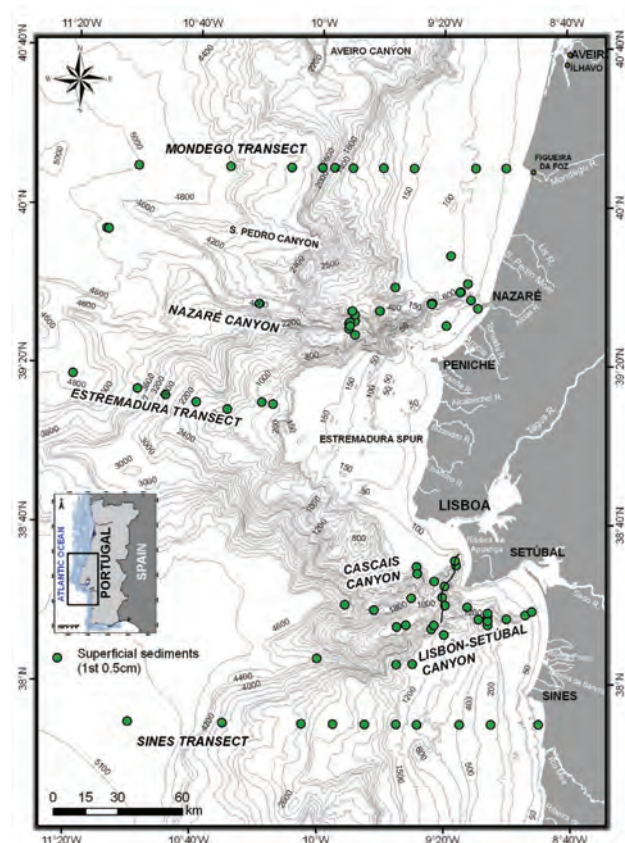


Figure 1. Geographical location of the selected sediment sampling stations.

Determining the species relative percentage values from the absolute abundances (nanno/g) has been the standard analytical approach to recognize species' ecological inter-relationships independently of the increasing terrestrial dilution effect and/or bottom dynamics near shore. Nevertheless, the closure problem and the inconsistency of percentage determinations are expected to affect results by leading to spurious correlations and biased statistical analysis.

By implementing the use of isometric log ratios (*ilr*) COmpositional Data Analysis (CODA) makes two comparable variables symmetric, *i.e.* their distances towards the center between them are the same. Such symmetry is essential to avoid spurious correlations by giving them subcompositional coherence, and thus leading to more reliable comparisons and interpretations (Buccianti & Esposito, 2004; Pawlowsky-Glahn & Egozcue, 2006).

Here we report the first results obtained from using CODAPACK software (Version 2.01.9) especially designed for CODA, by applying *ilr* to the coccolith assemblages from superficial sediments collected along the NC and LSC canyons and adjacent shelf and slope regions.

2. MATERIAL AND METHODS

Coccolith assemblages were analysed from around 85 core top samples (top 0.5 or 1cm of box- and multicores). Sediment coring was concentrated on the central Portuguese continental margin, in approximately E-W direction, covering the following sectors: (1) one transect covering the Nazaré (NC), and a collection of samples covering the Lisbon-Setúbal and Cascais canyons (LSC); (2) two transects covering a complete section coast – open ocean from the continental margin off cape Mondego and cape Sines (background), and (3) one transect covering the open continental slope of Estremadura Spur (Figure 1). Slides were prepared following the random settling procedure (Flores & Sierro, 1997) and observed under optical polarizing microscope (Olympus BX-40), at 1250× magnification. A minimum of 300 individual nannoliths (*i.e.* coccoliths) was counted and identified in each slide to determine their absolute abundances (nanno/g), according to the following equation:

$$(1) \quad N = n \times \frac{V}{V_p} \times \frac{Pa}{Oa} \times \frac{1}{W}$$

Where, N = nanno/g, n = number of counted nannoliths, V = Total volume of sample suspended in water (10.000µl), V_p = volume pipetted and injected into the Petri dish, Pa = Petri dish area, Oa = observed area (number of vision fields multiplied by the vision field area of the microscope; 1 VF Olympus BX-40 = 0,02 mm²), and W = weight of the sediment sample.

To minimize effects of differential diagenetic dissolution, only the larger and more robust species

(>3 micron) were considered. Eight species of coccolithophores were selected for this study: *Coccolithus pelagicus s.l.* (Cp), *Helicosphaera carteri* (Hc) and *Gephyrocapsa oceanic* (Go) of neritic/coastal affinity; and *Gephyrocapsa muelleriae* (Gm), *Calcidiscus leptoporus* (Cl), *Umbilicosphaera sibogae*, *Umbellosphaera irregularis* and *Rhabdosphaera* spp. of oceanic affinity (*e.g.* Cachão & Moita 2000; Silva *et al.*, 2008). Considering the weak signal of the latter three taxa, of typically warm and oceanic preferences, in waters offshore Portugal (Cachão *et al.*, 2000) they were grouped into one single taxonomic variable (UUR).

Five compositional balances (*ilr*) were determined by applying a sequential binary partition (SBP) to the six taxonomic groups, based on our pre-existing knowledge of their ecological preferences. The SBP was performed by taking the whole group (6 species) and dividing it into two groups (*e.g.* 3 oceanic spp. *vs.* 3 neritic/coastal spp.) following the procedure described in Guerreiro *et al.* (2011). The resulting balance (β_1) reflects the (geometric) mean behavior of the first group *vs.* the (geometric) mean behavior of the second group. Each group was subsequently divided again until each group was represented by one single species. Dendrograms representing the compositional balances (*ilr*) were automatically obtained using CODAPACK software (Version 2.01.9).

3. RESULTS

The dendrogram (Figure 2) gives information about the relative importance of each (paleo)ecological assemblage (oceanic *vs.* coastal/neritic) within the investigated sectors. Each sector (assumed to be well represented by a group of samples) is illustrated by a box plot and a "vertical arm" with the same colour, the length of both giving information about the compositional variability (*i.e.* > length = > variability). The position of the vertical "arm" in the box plot indicates the mean of the balance in that specific sector.

Each balance (β) is represented by a black vertical "arm", which length is proportional to the variance explained by the balance, if all the samples are considered together, *i.e.* as one unique sample. The relative weight of each (paleo)ecological signature in the different sub-groups of samples (*i.e.* investigated sectors) is given by the horizontal distance between the box plot and the black vertical "arm" correspondent to the centre of the balance, *i.e.* the shorter it is towards the centre of the balance, the heavier is their geometric mean in the data set. It means that the geometric mean weighs more in that specific group of samples.

The most striking differences between the five sectors shown in the dendrogram in Figure 2a are given by β_1 , which discriminates the coastal/neritic species from the oceanic species. When discriminating differences among oceanic species

(β_2 and β_4) and among coastal/neritic species (β_3 and β_5) separately, no significant differences between the investigated sectors are revealed.

β_1 indicates that the oceanic species are generally more strongly recorded in the studied dataset, as indicated by the relatively shorter “horizontal arm” in relation to the centre of the dendrogram (*i.e.* left side). When comparing the five sectors, the graphic clearly shows the canyons’ relatively stronger relation with the coastal/neritic species, in opposition to Estremadura and Sines which are more strongly related with the oceanic species. The NC recorded the clearest coastal/neritic (paleo)ecological signature while Estremadura region is apparently the richer in coccoliths from oceanic species. Mondego transect shows the highest variability with a coccolith assemblage common to both canyons and adjacent shelf/slope.

Go, Hc and Cp are shown in β_2 and β_4 with a low variability both within and between the different sectors. β_3 shows the greater importance of Gm in comparison to UUR and Cl, as indicated by the much shorter “arm” that separates Gm from the center of β_3 . Gm is more important in Mondego transect and in the canyons in comparison to Estremadura and Sines transects.

In the second dendrogram (Figure 2b) assemblages from shallower and deeper than 500 m are differentiated, allowing to distinguish variations in the coccolith assemblage related to depth for each studied sector.

β_1 illustrates a general tendency of coastal/neritic species to be recorded in shallower regions, while the oceanic species are generally better recorded at greater depths. Moreover, a clearly N – S decreasing importance of the coastal/neritic assemblage is

recorded in the shallower areas, *i.e.* the Mondego and NC shallower regions are richer in coastal/neritic species, while LSC and Sines areas have a more oceanic signature at the same depth range.

In the deeper regions this N-S trend is not recorded, but a clearer distinction between canyons (lighter blue box plots) *vs.* off canyons (darker blue box plots) is visible. At depths >500m, the canyons (particularly NC) tend to be richer in coccoliths from coastal/neritic species in comparison with the adjacent areas. Estremadura transect is the region with the clearest oceanic signature.

β_2 and β_4 reveal a very low variability within and between the different sectors at both depth ranges, although some variability tends to increase towards higher depths off the canyons. β_3 illustrates a N-S decreasing importance of Gm in the shallower areas, and a general decreasing importance towards higher depths (especially off canyons); β_5 shows a nearly absent variability within and between the different studied sectors.

4. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

While avoiding the major statistical problems of dealing with percentages CODA allowed to clearly confirm the existence of a coastal/neritic (Hc, Go and Cp) and an oceanic assemblage (Gm, Cl, UUR) with the latter revealing a relatively higher weight in the studied dataset. This is interpreted as resulting from the high absolute and relative abundances of Gm in the entire investigated region. Indeed,

although this species is usually associated to more temperate ecological conditions (Ziveri *et al.*, 2004) and to colder water masses in the beginning of upwelling west off Portugal (Silva *et al.*, 2008), its

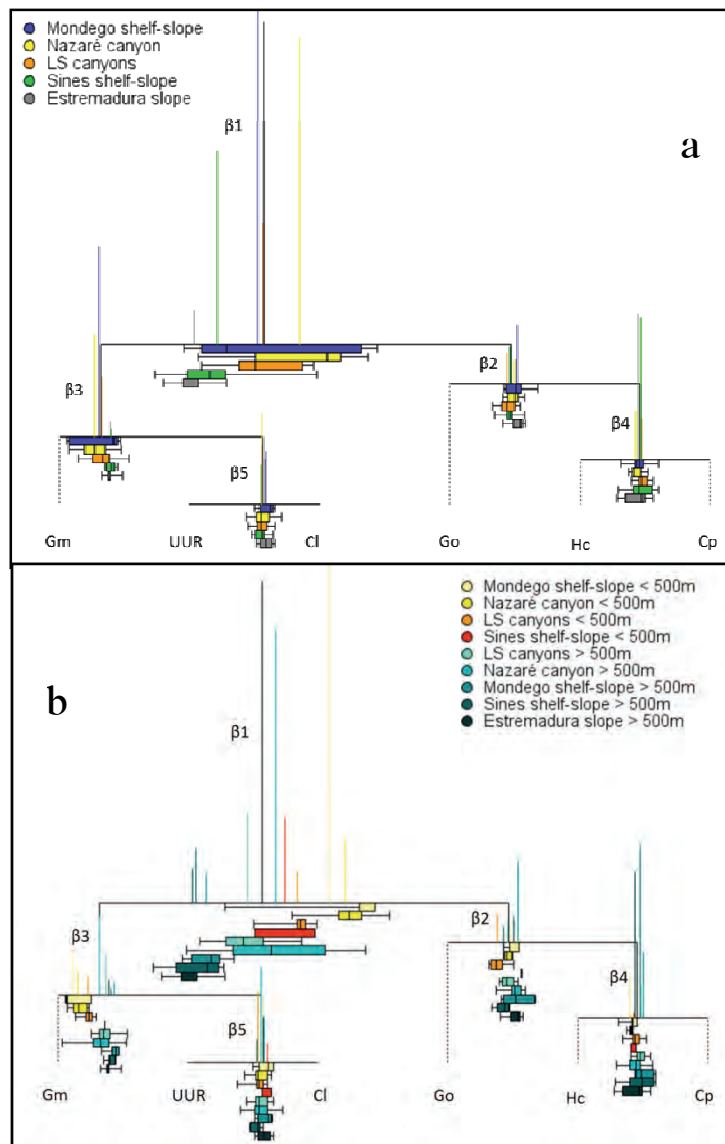


Figure 2. Dendrograms obtained from applying a sequential binary partition (SBP) to the dataset, representing the five compositional balances extracted from six selected taxonomic groups (SBP described in Guerreiro *et al.*, 2011): (a) data organized according to geography; and (b) data organized according to geography and depth (<500m and >500m).

sediment record indicates a rather abundant and cosmopolitan distribution in the central Portuguese margin, *i.e.* of the three oceanic species, Gm seems to be better adapted to more turbulent and nutrient-rich coastal regions.

As expected, the coastal/neritic species (Go, Hc and Cp) are more associated to shallower depths, while the opposite is observed for the oceanic species. This gradient is more clearly recorded off the canyons (especially in Estremadura and Sines transects), while the canyons frequently reveal a more mixed signature, with NC recording a more coastal/neritic (paleo)ecological imprint and LSC being relatively richer in coccoliths from oceanic species.

The relatively higher diversity of coccolith species in the canyons may reflect their capacity to promote the exchange of water masses between more coastal and oceanic regions, in comparison to the adjacent shelf/slope regions. This is particularly noticeable in the dendrogram from Figure 2b, where the NC (>500m depth) shows a rather wide (paleo) ecological range in comparison to the other sectors for the same depth range; for one and, this major valley is able to "bring the oceanic conditions" almost to the beach, and on the other hand, to simultaneously promote a strong dynamic where the coastal species will be better adapted to survive.

On the contrary, the LSC heads is located further offshore, and its sediment dynamics appear less affected by dynamic processes of the coastal thus displaying a more stable dynamics, mainly trapping particles from vertical flux. This apparently results in a relatively more pelagic sedimentation (De Stigter *et al.*, 2011) characterized by a (paleo) ecological signature richer in coccoliths from oceanic species (Cl, UUR).

In the near future results presented here will be integrated with data from sediment grain-size and sediment accumulation rates in order to improve the accuracy of (paleo)ecological interpretations in the context of such dynamic marine systems as submarine canyons.

Acknowledgments

The authors are grateful Dr. Juan Egozcue for the fruitful discussions and Marc Comas for his help with CODAPACK. This work was funded by HERMES (GOCE-CT-2005-511234) and Cd Tox-CoN (FCT-PTDC/MAR/102800/2008) projects.

Multicores collected during RV Pelagia cruise 64PE252 (2006), funded by the Netherlands Org. for Scientific Res. Samples prepared and analyzed in NANOLAB, CEGUL. First autor benefits from an PhD grant (FCT-SFRH/BD/41330/2007).

REFERENCES

Arzola, R., Wynn, R., Lastras, G., Masson, D. & Weaver, P. 2008. Sedimentary features and processes in the Nazaré and Setúbal submarine

canyons, west Iberian margin. *Mar.Geol.* (250):64 – 88.

Buccianti, A. & Esposito, P. 2004. Insights into Late Quaternary calcareous nannoplankton assemblages under the theory of statistical analysis for compositional data. *PALAEO* (202): 209-227

Cachão, M. & Moita, T. 2000. *Coccolithus pelagicus*, a productivity proxy related to moderate fronts off Western Iberia. *Marine Micropaleontology*, 39 (1/4):131 – 155

Cachão, M., Oliveira, A. & Vitorino, J. 2000. Subtropical winter guests, offshore Portugal. *J. of Nannoplankton Res.* 22(1):19-26

De Stigter, H., Jesus, C.C., Boer, W., Richter, T., Costa, A., Van Weering, T. 2011. Recent sediment transport and deposition in the Lisbon–Setúbal and Cascais submarine canyons, Portuguese continental margin. *Deep Sea Res. Part II: Topical Studies in Oceanography*

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

Flores, J.A. & Sierro, F.J. 1997. Revised technique for calculation of calcareous nannofossil accumulations rates. *Micropaleontology*, 43(3): 321–324

Guerreiro, C., Cachão, M., De Stigter, H., Oliveira, A. & Rodrigues, A. 2011. Compositional data analysis as a potential tool to study the (paleo)ecology of calcareous nannoplankton from the Central Portuguese submarine canyons (W off Portugal). *4th International CODAWORK*, Sant Feliu de Guixols, Spain, 11pp.

Hickey, B.M. 1995. Coastal Submarine Canyons. In: Proceedings Aha Huliko'a Hawaiian Winter Workshop 1995, *Topographic Effects in the Ocean*, 95-110

Klinck, J.M. 1996. Circulation near submarine canyons: a modeling study. *J.G.R* (101):1211-1223

Pawlowsky-Glahn, V. & Egozcue, J.J. 2006. Compositional data and their analysis: an introduction. From Buccianti, Mateu-Figueras & Pawlowsky-Glahn (eds) *Compositional Data Analysis in the Geosciences: From Theory to Practice*. Geological Society, London.

Silva, A., Palma, S. & Moita, M. T. 2008. Coccolithophores in the upwelling waters of Portugal: Four years of weekly distribution in Lisbon bay. *Cont. Shelf Res.* (28):2601–2613

Ziveri, P., Baumann, K.-H., Bockel, B., Bollmann, J. & Young, J.R. 2004. Biogeography of selected Holocene coccoliths in the Atlantic Ocean. In: H.R. Thierstein & J.R. Young (Eds). *Coccolithophores - From Molecular Processes to Global Impact*. Springer-Verlag, 403-428.

Medições geoacústicas em sedimentos marinhos da plataforma continental próxima a Arraial do Cabo-RJ – Brasil

I. Simoes (1), F. Xavier (1), L. Barreira (1), L. Artusi (2), H. Macedo (3), Y. Alvarez (1), R. Romano (1) e J-P. Hermand (4)

- (1) Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM) – Marinha do Brasil; isabel@ieapm.mar.mil.br
- (2) Secretaria de Ciência Tecnologia e Inovação da Marinha (SECCTM) – Marinha do Brasil
- (3) Centro de Hidrografia da Marinha (CHM) – Marinha do Brasil
- (4) Universidade livre de Bruxelas.

Resumo: O projeto *Ocean Acoustic Exploration* (OAEX) visa à colaboração internacional em pesquisa e está sendo desenvolvido com a participação de pesquisadores de Portugal, Bélgica, Canadá e Brasil na área da acústica submarina. A realização de um experimento oceânico envolveu a coleta de testemunhos de sondagem, transmissão de sinais acústicos e coleta de dados oceanográficos. Os testemunhos analisados geraram dados de velocidade compressional (V_p), impedância acústica, porosidade e densidade dos sedimentos marinhos. A granulometria dos sedimentos encontrados varia entre areia média e silte médio. A correlação entre os parâmetros geológicos, físicos e acústicos definiu os valores médios de V_p , densidade, impedância acústica e porosidade para cada classe granulométrica encontrada. Os dados geoacústicos gerados serviram, juntamente com dados oceanográficos e batimétricos, de entrada para um modelo de predição acústica, onde foram simulados os padrões de chegada de um sinal em distintos receptores. Os resultados foram condizentes com os dados experimentais.

Palavras chave: acústica submarina, sedimentos marinhos, geoacústica

1. INTRODUÇÃO

O projeto *Ocean Acoustic Exploration* (OAEX) iniciou-se em 2009 a fim de desenvolver sinergias e reforçar a colaboração entre a Comunidade Europeia, o Brasil e o Canadá, no campo do monitoramento acústico submarino e das tecnologias marinhas. Neste sentido, o OAEX estimularia a troca de experiências nas áreas de acústica oceânica para a exploração geofísica, do monitoramento da circulação oceânica e das comunicações acústicas submarinas. Os trabalhos desenvolvidos anteriormente pelos grupos europeu e canadense, quanto às técnicas de monitoramento ambiental oceânico utilizando o sensoriamento remoto acústico e as comunicações acústicas submarinas, puderam ser aplicados no monitoramento da área do Cabo Frio, que vinha sendo estudada pelos parceiros brasileiros usando as ferramentas oceanográficas convencionais.

Entre os objetivos do projeto constava o desenvolvimento de um modelo ambiental detalhado da área de interesse, inicialmente baseado apenas em dados pretéritos. No entanto, como durante a execução do projeto foram realizados experimentos acústicos (OAEx' 10) a fim de obter dados reais de emissão e recepção acústica, aproveitou-se para realizar também a coleta de testemunhos geológicos (*cores*). Estes *cores* foram analisados com o *Multi-Sensor Core Logger* que forneceu dados de velocidade compressional, densidade, porosidade e impedância acústica.

Os dados obtidos em laboratório, assim como outros dados ambientais (batimetria, temperatura e salinidade da água do mar) alimentaram o modelo de propagação acústica *Bellhop* e mostraram que este está bem ajustado, uma vez que gerou dados compatíveis com os encontrados na situação real.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na costa sudeste brasileira, sobre a plataforma continental do estado do Rio de Janeiro (figura 1).

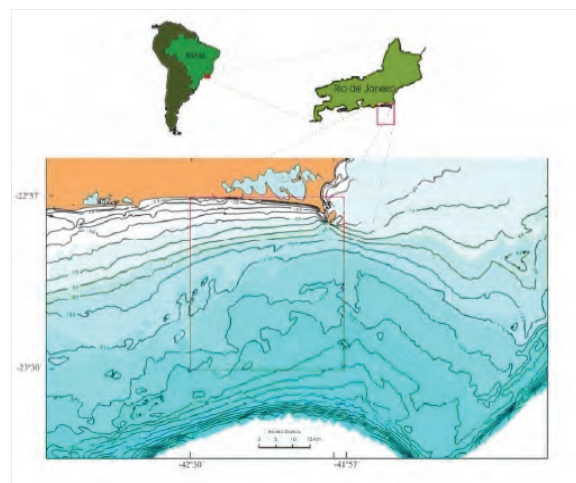


Fig.1: Mapa de localização da área deste estudo (Artusi, 2004).

A cidade de Arraial do Cabo desenvolveu-se no ponto onde a linha de costa apresenta uma brusca mudança de direção (de L-O para NE-SW). Em frente a este cabo está a ilha do Cabo Frio. No fundo marinho, o paralelismo das linhas batimétricas reflete o contorno da linha de costa e morfologicamente a feição mais marcante é a depressão ao sul desta ilha, utilizada como passagem natural pelas correntes de ressurgência (fenômeno comum nas estações de verão e primavera) e pelas correntes de *downwelling* durante os eventos de mau tempo (Simões, 2007). A profundidade local varia entre 40 e 140 metros.

3. METODOLOGIA

Os cores foram coletados em 2009, a bordo do Aviso de Pesquisas Oceanográficas Aspirante Moura (*AvPqAspMoura*) utilizando um testemunhador a pistão. A escolha dos locais de amostragem considerou as peculiaridades oceanográficas, da geologia do fundo marinho e da batimetria.

Os testemunhos foram transportados para o Laboratório de Geologia Marinha (LAGEMAR) da Universidade Federal Fluminense (UFF) a fim de serem analisados pelo *Multi - Sensor Core Logger* (MSCL) da GEOTEK, sistema que permite medições como a velocidade compressional (V_p), densidade, porosidade, e impedância acústica (figura 2).

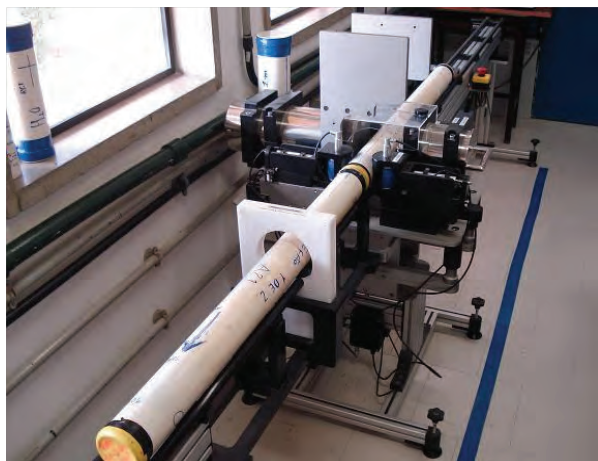


Fig.2: Multi - Sensor Core Logger (MSCL) da GEOTEK.

Após a perfuração, os testemunhos foram seccionados verticalmente para coleta de amostras de sedimentos a cada 10 cm. Estas amostras foram divididas em duas frações: uma para determinar o conteúdo de carbonato de cálcio (CaCO_3) e outra para a análise granulométrica. A metodologia seguida foi a de Folk & Ward (1957) e a classificação granulométrica adotada é a de Wentworth (1922).

Com os dados geológicos foram feitos estudos sobre a caracterização do canal acústico marinho nas condições do Experimento OAEx'10, a partir

de sinais linearmente modulados chamados de *Linear Frequency Modulation - LFM*. Os sinais foram transmitidos de uma fonte acústica, instalada no *AvPq Asp Moura* e recebidos em um *array* vertical de hidrofones com 8 elementos instalado em outra embarcação, o navio *Guarapari*. Foram realizadas várias transmissões em diferentes distâncias entre os navios, nas proximidades da Ilha de Cabo Frio, em Arraial do Cabo. As LFMs recebidas foram correlacionadas com as réplicas das transmitidas caracterizando o canal acústico, para cada hidrofone, de uma maneira direta. Em seguida, essa resposta do canal foi comparada com a resposta calculada a partir de dados de amplitude e atrasos gerados pelo modelo de propagação acústica Bellhop de acordo com os parâmetros ambientais do experimento. O modelo Bellhop baseia-se na técnica de traçado de raios a fim de obter uma solução aproximada da equação da onda acústica (Porter & Liu, 1994).

4. RESULTADOS

As análises granulométricas identificaram sedimentos das classes areia média, areia fina, areia muito fina, silte grosso e silte médio, conforme a distribuição esperada dos sedimentos mostrada no mapa de tipos de fundo da área (Artusi, 2004) (figura 3).

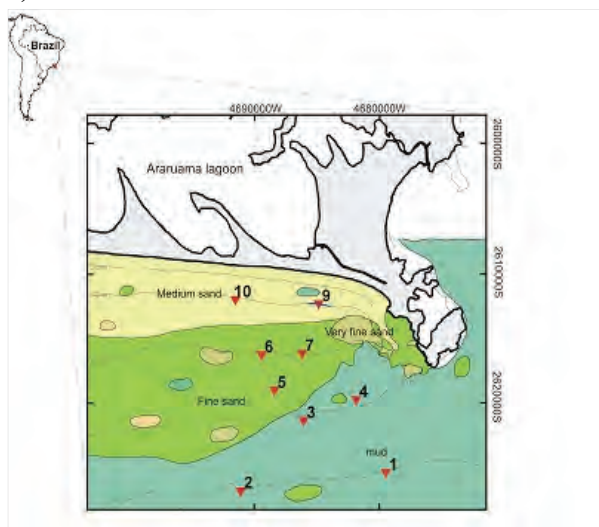


Fig.3: Mapa de distribuição de sedimentos do fundo marinho (Artusi, 2004).

Os teores de CaCO_3 variaram entre 2 e 22% e também estão de acordo com a distribuição do carbonato na área (Artusi, 2004).

Os dados obtidos com o perfilador de testemunhos estão apresentados nas tabelas I, II, III e IV.

Os dados obtidos indicam que o conteúdo de lama e a porosidade aumentam em direção ao mar aberto, e que o teor de areias, a velocidade compressional, a densidade e a impedância acústica diminuem nesta direção.

Tabela I

Sedimento	Vp médio (m s)
Areia média	1671
Areia fina	1684
Areia muito fina	1606
Silte grosso	1551
Silte medio	1544

Tabela II

Sedimento	Densidade média (g cm ³)
Areia média	2,191
Areia fina	1,996
Areia muito fina	1,869
Silte grosso	1,770
Silte medio	1,674

Tabela III

Sedimento	Impedância acústica média (m s)
Areia média	3755,41
Areia fina	3312,24
Areia muito fina	2948,03
Silte grosso	2709,76
Silte medio	2732,54

Tabela IV

Sedimento	Porosidade média (%)
Areia média	32,4
Areia fina	43,7
Areia muito fina	51,1
Silte grosso	56,2
Silte medio	56,7

No âmbito da acústica, os resultados obtidos a partir dos dados reais e dos dados modelados foram analisados juntamente com os perfis de velocidade do som e batimétrico do transecto analisado, denominado TX9. A fim de tornar os dados modelados mais fiéis à realidade, o modelo Bellhop considerou ainda dados de velocidade compressional e densidade do sedimento (Tabelas I e II). O fundo local era recoberto por sedimentos de tamanho areia média a fina e o perfil batimétrico apresentava-se suave, sem grandes variações e com profundidade máxima de 47m. A camada de mistura oceânica estava nos 5 primeiros metros de profundidade, e a partir deste ponto, o perfil de velocidade do som apresentava um gradiente

negativo até os 17m de profundidade, deixando os 3 últimos hidrofones do *array* numa camada com características isotérmicas (figura 4).

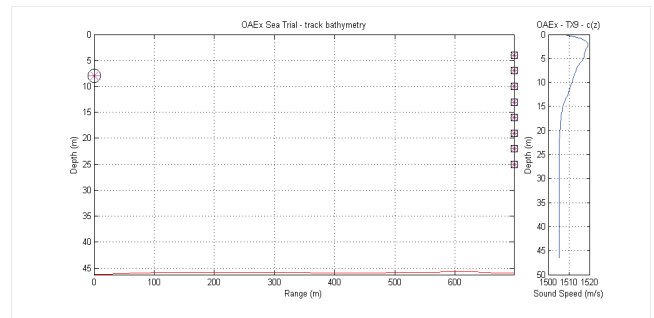


Fig.4: TX9. Perfis batimétrico e de velocidade do som com a geometria dos transdutores no experimento OAE' 10

A resposta do canal acústico obtida para a LFM de alta frequência mostrou uma significativa semelhança entre os dados reais (figura 5) e os dados modelados (figura 6), tendo suas melhores respostas nos hidrofones 2, 3 e 8 em função do multicaminhamento e da superposição das ondas sonoras, que gerou padrões de interferência construtiva.

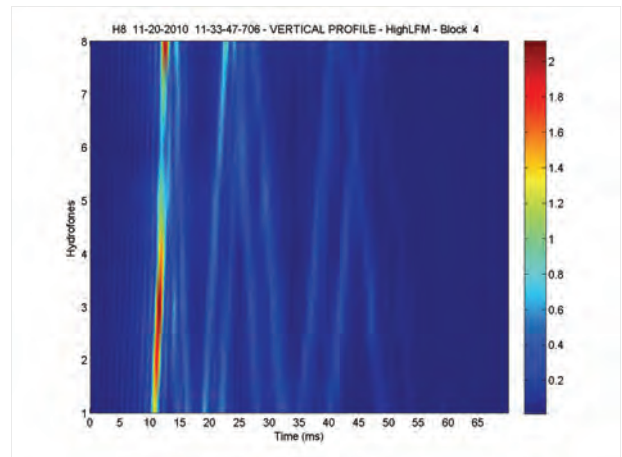


Figura 5: Dados reais com LFM's de alta frequência.

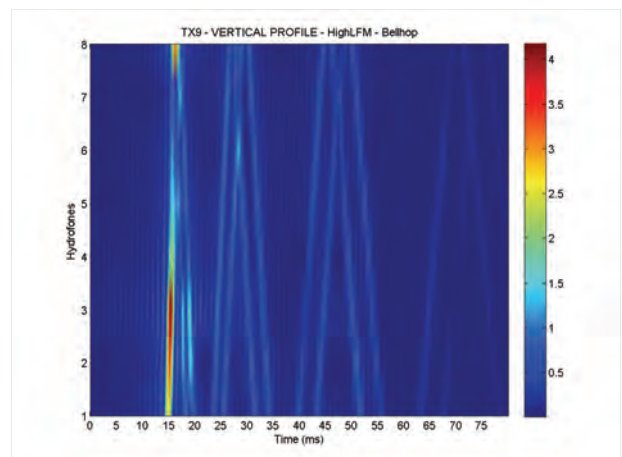


Figura 6: Dados modelados com LFM's de alta frequência.

5. CONCLUSÕES

O estudo da propagação acústica em águas rasas é fortemente influenciado pela interação do pulso sonoro com o fundo marinho (Hamilton, 1980). Estudos anteriores realizados na região mostram que o embasamento acústico ocorre a cerca de 60 metros abaixo da coluna de sedimentos, nas proximidades da ilha do Cabo Frio (Artusi, 2004). Desta forma, as características geoacústicas dos sedimentos marinhos desempenham um papel chave na definição da geometria dos experimentos acústicos, na melhoria dos resultados gerados pelos modelos de propagação acústica e na validação dos métodos de inversão.

Os dados obtidos mostram que as propriedades acústicas são coerentes com a batimetria e com a distribuição superficial dos sedimentos. Os resultados encontrados são coerentes com os citados na literatura (Hamilton & Bachman, 1982 e Kim et al, 2001), e mostram que a velocidade compressional diminui em direção ao alto mar, onde a porosidade e o teor de lamelas aumenta.

Observou-se ainda que, a caracterização de um canal acústico, que representa a “função de transferência” que altera a forma do sinal transmitido na sua propagação até o local de medição, pode ser adequadamente determinada pela utilização de sinais de banda larga com sua frequência modulada linearmente (LFM). Esta caracterização pode ser feita através de um modelo de propagação acústica, que se torna mais confiável conforme os seus parâmetros oceanográficos e geológicos estejam melhor ajustados e melhor representem a realidade.

As características geoacústicas utilizadas neste modelo influíram significativamente no cálculo das

amplitudes do sinal e suas respectivas chegadas temporais.

REFERÊNCIAS

- Artusi, L. (2004). *Geologia, geomorfologia e sismoestratigrafia rasa na plataforma continental ao largo da laguna de Araruama*. LAGEMAR. Niterói, Universidade Federal Fluminense: Dissertação de Mestrado, 91 p.
- Folk, R.L. & Ward, W.C. (1957). Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27:3-26.
- Hamilton, E. (1980). Geoacoustic modeling of the sea floor. *Journal of the Acoustical Society of America*, 68 (5), 1313-1340.
- Hamilton, E. & Bachman, R. T. (1982). Sound velocity and related properties of marine sediments. *Journal of the Acoustical Society of America*, 72, 1891-1904.
- Kim et al (2001). Physical and acoustic properties of shelf sediments, the South Sea of Korea. *Marine Geology*, 179, 39-50.
- Porter, M. & Liu, Y.C. (1994). Finite-element ray tracing. Em Lee, D. & Schultz, M.H. (eds), *Theoretical and computational acoustics – vol: 2*, World Scientific Publishing Co. New Jersey. 947 – 958.
- Simões, I.C.V.P. (2007). *Aplicação da batimetria multifeixe para a definição da morfologia detalhada do fundo marinho ao largo da laguna de Araruama e Arraial do Cabo – RJ*. LAGEMAR. Niterói, Universidade Federal Fluminense: Dissertação de Mestrado, 107 p.
- Wentworth, C.K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30, 377-392. Chicago.

Oceanografía Química

Metais em sedimentos - 25 anos de monitorização nos estuários do Tejo e Sado e nas rias de Aveiro e Formosa (1985 – 2009)

M. Valença (1), A. Gama (1), A. Oliveira (1) e C. Palma (1)

(1) Instituto Hidrográfico, manuela.valenca@hidrografico.pt

Resumo: O Instituto Hidrográfico monitorizou desde 1981 quatro áreas de Portugal continental: ria de Aveiro, estuário do rio Tejo, estuário do rio Sado e Ria Formosa no âmbito do programa interno de “Vigilância da Qualidade do Meio Marinho”. Neste trabalho apresentam-se os resultados da análise textural, carbono orgânico total e metais em amostras de sedimento de superfície colhidas anualmente entre 1985 e 2009.

Nas quatro zonas monitorizadas, a ria de Aveiro e o estuário do rio Tejo e rio Sado são as que se encontram mais expostas à ação antropogénica. Os teores na ria Formosa são significativamente mais baixos.

Palavras chave: monitorização, sedimento, metais

1. INTRODUÇÃO

O Instituto Hidrográfico (IH) realizou entre 1981 a 2010 um programa de monitorização denominado “Vigilância da Qualidade do Meio Marinho” (VQM). Este programa foi constituído por quatro sub-projectos que corresponderam a quatro zonas da Costa Portuguesa expostas à ação antropogénica contribuindo para um melhor conhecimento da poluição do meio marinho: ria de Aveiro (RA), estuário do rio Tejo (TE), estuário do rio Sado (SA) e ria Formosa (RF).

Neste trabalho, apresentam-se os resultados relativos à matriz sedimento de: análise textural, carbono orgânico total (COT) e metais em amostras de sedimento de superfície colhidas anualmente entre 1985 e 2009, acompanhados de uma análise interpretativa que avalia o estado e evolução ambiental dos locais amostrados.

2. AMOSTRAGEM E MÉTODOS

As características geomorfológicas, o regime hidrodinâmico e a distribuição dos focos de pressão antropogénica qualificam cada sistema de um modo muito próprio. A localização das estações (Figura 1) de amostragem, foi estabelecida tendo em conta essas características específicas.

As amostras de sedimento foram colhidas recorrendo a um colhedor manual tipo *Petit Ponar*, correspondendo a colheita aos primeiros 10 cm. Após a colheita as amostras foram fracionadas com um peneiro <2 mm, congeladas a -18°C, secas por liofilização e homogeneizadas num moinho de ágata. A granulometria foi determinada por difração laser (MALVERN 2000) para partículas inferiores 500 µm e para partículas superiores a 500 µm foi utilizado o método da peneiração. O carbono total (TC) foi quantificado no equipamento Strohlein C-mat 5500 sendo a deteção do CO₂ efetuada em detetor de infra-vermelho; o carbono inorgânico total (TIC) segue o mesmo procedimento após acidificação das amostras de sedimento com H₃PO₄. O COT foi calculado por diferença entre o TC e o TIC.

A concentração de metais foi determinada após digestão total com ácidos nítrico, clorídrico e fluorídrico, por espectrometria de absorção atómica com chama, gerador de hidretos para o As e por espectrometria de absorção atómica –vapor frio para o Hg. O laboratório segue um controlo de qualidade rigoroso e participa nos exercícios interlaboratoriais QUASIMEME desde 1993.

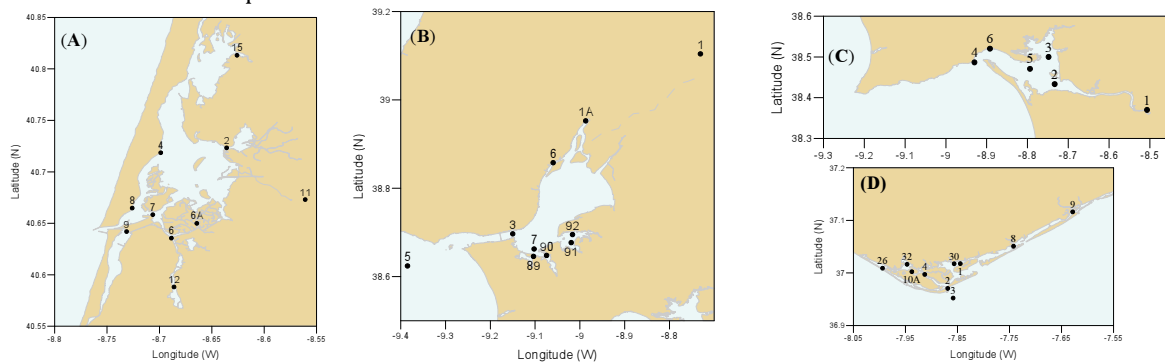


Fig. 1. Localização das estações de amostragem na ria de Aveiro (A), rio Tejo (B), rio Sado (C) e ria Formosa (D).

(A)

A avaliação da qualidade dos sedimentos foi efetuada com base nas concentrações de referência (OSPAR, 2008), nos Critérios de Avaliação Ambiental (CAE) (OSPAR, 2008) e pela portaria nº 1450/2007 que classifica os materiais a dragar de acordo com o seu grau de contaminação.

As concentrações de referência são calculadas utilizando a concentração de metal normalizada com o Al sendo estas posteriormente recalculadas para uma composição de 5% de Al. Os CAE estabelecem para os metais valores abaixo do qual as espécies marinhas estão protegidas de efeitos crónicos (*LOWER EAC*) e valores máximos que se espera que não causem efeitos tóxicos (*UPPER EAC*). A portaria nº 1450/2007 classifica os materiais a dragar de acordo com o grau de contaminação dos mesmos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A granulometria e o carbono orgânico total (COT) influenciam os teores de metais, pelo que o estudo da percentagem de silte e argila permite corrigir a variabilidade da composição do sedimento (Loring, 1991; Kersten, 2002). O teor em carbono também origina informação adicional sobre a origem e as características geoquímicas do sedimento (OSPAR, 2002).

Na Figura 2, está representada a análise textural na forma de diagrama triangular, que diferencia os sedimentos em função das suas três componentes principais: areia+cascalho, silte e argila (Fig 2A), e a relação da fração fina (<63µm) com o COT (Fig. 2B). No geral, as amostras do Sado apresentam maior percentagem de argila enquanto em Aveiro e Tejo há predominância da componente areno-siltosa. Na ria Formosa a componente arenosa apresenta também algum significado.

Pela análise da figura 2B, verifica-se que nas rias de Aveiro e Formosa e no rio Tejo as estações com maior percentagem de fração fina (silte + argila) correspondem também a valores mais elevados de COT. No rio Sado, essa relação não se verifica, porque no geral apresenta valores baixos de COT mesmo em sedimentos finos. Contudo, os valores pontualmente mais altos de COT em sedimentos arenosos podem indicar uma fonte de matéria orgânica intermitente próxima do local amostrado, que permite a preservação do COT mesmo em sedimentos arenosos.

Na tabela I, apresenta-se o valor médio, mínimo e máximo do COT, Cd, Cr, Hg, Ni, e Pb e a Figura 3 apresentam-se os valores médios, mediana, máximo e mínimo para os metais Zn, Cu e As

De acordo com os CAE definidos, os teores médios de Cd, Cr, Hg, Ni, e Pb foram na generalidade inferiores aos *UPPER EAC* (1 mg kg⁻¹ para Cd, 0,05 mg kg⁻¹ para Hg, 100 mg kg⁻¹ para Cr e 50 mg kg⁻¹ para Ni e Pb) verificando-se mesmo muitos valores individuais inferiores aos *LOWER EAC*.

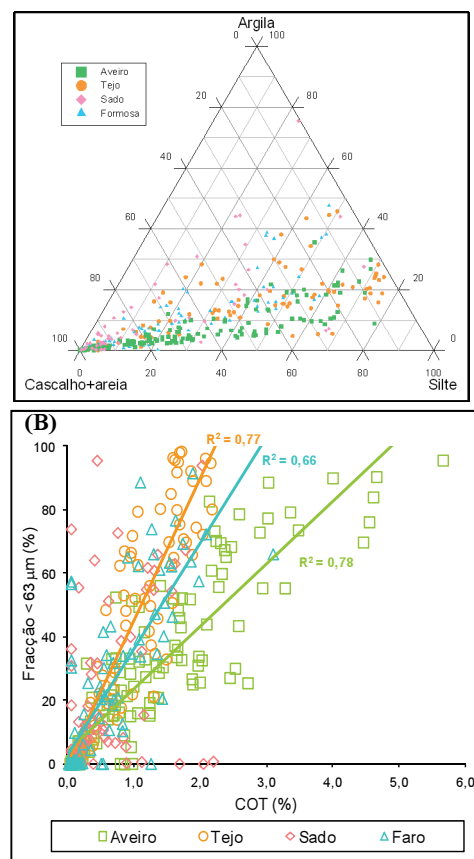


Fig.2. Análise textural dos sedimentos (A) e COT (B) vs fração fina

Relativamente ao As verifica-se que o teor médio das quatro zonas é da mesma ordem de grandeza. No entanto, em todas as áreas observam-se localmente valores que ultrapassam ligeiramente o valor de *UPPER EAC* (10 mg kg⁻¹) definido para este metal. Quanto aos metais Cu e Zn verifica-se que de um modo geral os seus teores médios são baixos e inferiores aos *UPPER EAC* (50 e 500 mg kg⁻¹ respectivamente). Na ria de Aveiro, rio Tejo e rio Sado estes teores são da mesma ordem de grandeza, à exceção das estações RA15 em Aveiro, TE6 no rio Tejo e SA5 e SA6 no rio Sado. Os elevados teores destes metais podem estar relacionados com a atividade local da indústria de transformação mineira e da indústria metalo-mecânica.

Considerando a Portaria nº 1450/2007, os teores médios dos diversos metais situam-se na classe 1 e 2 respectivamente “material dragado limpo” e “material a dragar com contaminação vestigiária” com exceção dos teores de Zn, Cu, Cd e Pb da estação RA15 e de Zn para a estação SA5 que se classificam como classe 3 - “material dragado ligeiramente contaminado”. O Hg nas estações RA2 e TE6 classifica-se na classe 4 - “material dragado contaminado”.

Tabela I - Valor médio, máximo e mínimo do Cd, Cr, Hg, Ni, Pb e Fe.

	COT (%)	Cd (mg kg ⁻¹)	Cr (mg kg ⁻¹)	Hg (mg kg ⁻¹)	Ni (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)
Aveiro	1,29 (<0,1-5,65)	0,949 (<0,3-16,9)	25 (<1-78)	0,354 (<0,0075-10,7)	10,6 (<1-73)	34 (<1-511)
Tejo	1,09 (<0,1-3,89)	0,721 (<0,3-5,23)	44 (1,34-110)	0,706 (<0,0075-10,8)	14,3 (<1-177)	71 (<1-353)
Sado	0,69 (<0,1-2,34)	0,462 (<0,3-4,99)	36 (<1-121)	0,246 (<0,0075-2,1)	16,9 (<1-176)	30 (<1-113)
Formosa	0,51 (<0,1-3,09)	0,534 (<0,3-4,67)	23(<1-88)	0,074 (<0,0075-0,30)	8,13 (<1-65)	16,3 (<1-81)

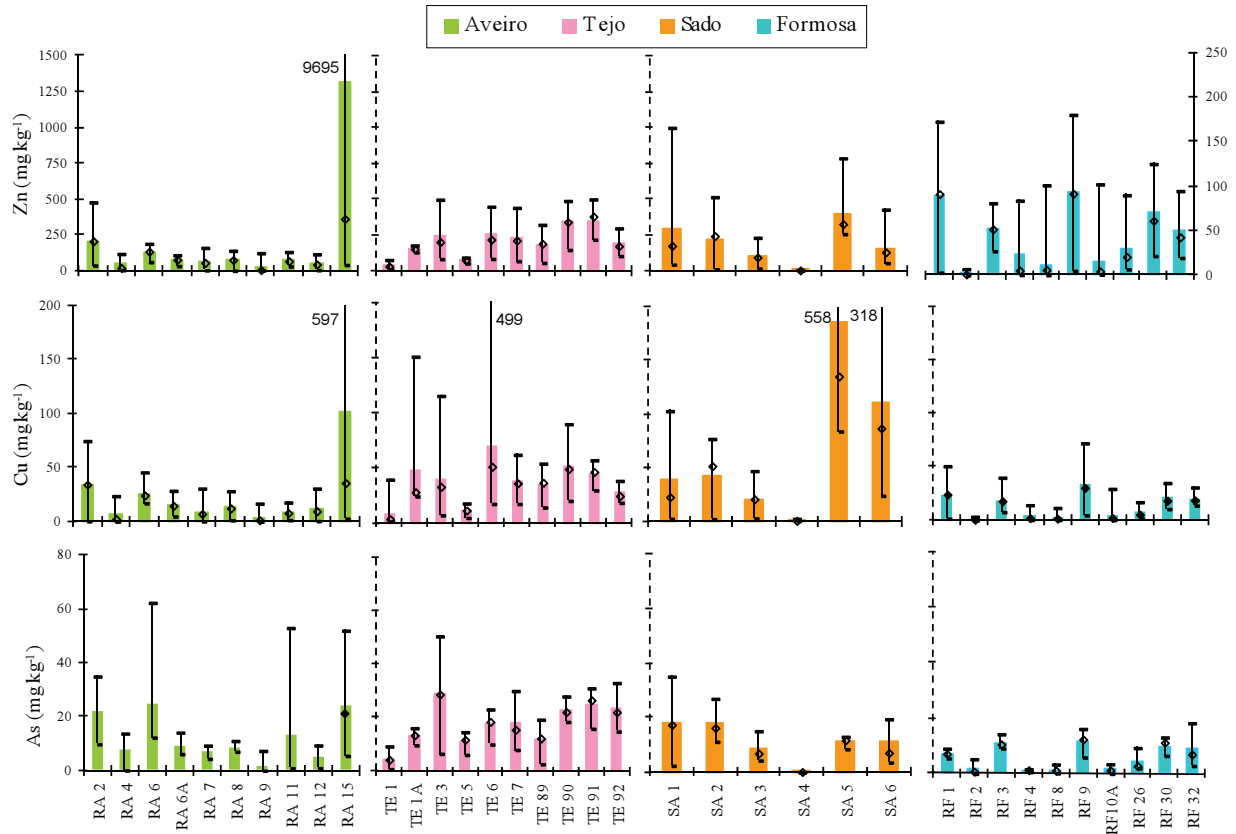


Fig. 3. Média (■), mediana (◇), máximo e mínimo das concentrações de Zn, Cu e As.

Os teores médios dos diversos metais nas quatro áreas estudadas, foram comparados com outros trabalhos efetuados nas mesmas áreas e com pontos de amostragem idênticos.

Verificam-se teores da mesma ordem de grandeza aos encontrados em Caeiro *et al.* (2005) e Cortesão & Vale (1995) para o estuário do rio Sado, em Padinha *et al.* (2000) e Caetano *et al.* (2002) para a ria Formosa, Monterroso *et al.* (2003) e Pereira (1996) para a ria de Aveiro e Caçador *et al.* (1996) e França *et al.* (2005) para o estuário do rio Tejo.

Na Figura 4 apresentam-se os teores de Cu e Zn normalizados com a fração fina das estações RA15, SA5 e SA6. Na estação RA15 a partir de 2001 estes teores têm vindo a diminuir independentemente da classificação granulométrica (areia siltosa a silte argiloso), refletindo uma menor carga antropogénica destes metais para a ria. No rio Sado o Zn nas estações SA5 e SA6 não apresenta diferenças significativas. O Cu apresenta valores tendencialmente mais altos, possivelmente

associados com o COT e a uma maior influência antropogénica.

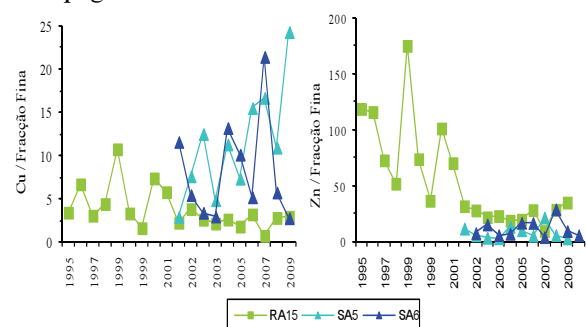


Fig. 4. Evolução do Cu e Zn ao longo do tempo nas estações RA15, SA5 e SA6.

A Tabela II apresenta as concentrações de referência (OSPAR, 2008) e também as razões recalculadas pelo mesmo método, utilizando os valores médios das diferentes estações. A vermelho representam-se os valores superiores às concentrações de referência.

Tabela II: Valores de referência da OSPAR (2008) e valores calculados para as amostras colhidas.

	As (mg kg ⁻¹)	Cr (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Hg (mg kg ⁻¹)	Ni (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
OSPAR	15	60	20	0,5	45	25	90
RA2	31	65	48	3,45	20	95	289
RA4	17,2	41	14,7	0,086	3,53	14,6	105
RA6	34	63	35	0,413	24	61	177
RA6A	12,6	42	21	0,127	17	42	100
RA7	10,0	34	12,4	0,169	14	38	88
RA8	12,2	43	19,2	0,146	17	57	113
RA9	5,87	24	12,7	0,300	32	71	62
RA11	16,5	18,4	10,8	0,052	13	45	86
RA12	10,8	37	25	0,248	16	60	104
RA15	67	45	283	0,598	30	88	3698
TE1	7,37	32	12,2	0,067	12,4	52	61
TE1A	10,0	48	36	0,098	11,5	17,7	114
TE3	32	47	44	0,797	30	130	277
TE5	15,0	57	14,2	0,224	—	28	99
TE6	23	59	90	2,22	26	121	327
TE7	23	58	48	0,817	7,16	95	296
TE89	17,8	58	53	0,753	8,84	76	276
TE90	19,1	62	43	0,704	13,5	81	294
TE91	21	58	38	0,700	12,5	79	296
TE92	17,8	45	51	1,30	25	62	159
SA1	24	52	53	0,327	20	25	386
SA2	18,6	58	44	0,327	28	30	229
SA3	19,9	62	48	0,399	36	49	226
SA4	—	15,4	6,21	0,074	—	—	24
SA5	24	88	400	0,563	52	162	858
SA6	19,6	50	197	0,775	6,95	70	260
RF1	12,5	70	42	0,245	19,2	50	156
RF2	18,2	25	9,0	0,236	50	86	18,3
RF3	23	64	39	0,230	3,65	19,5	107
RF4	5,33	80	21	0,283	44	85	99
RF8	11,0	42	25	0,225	39	103	100
RF9	14,8	60	42	0,198	23	38	117
RF10A	9,72	43	16	0,067	6,97	6,97	38
RF26	17,7	60	32	0,174	30	60	123
RF30	15,9	62	34	0,152	7,82	13,6	113
RF32	16,0	67	38	0,121	9,08	17,2	92

Verifica-se que na ria de Aveiro existem razões elevadas para o Pb e Zn em praticamente todas as estações, enquanto que para os outros metais estas razões são elevadas apenas nas estações com maior actividade antropogénica (RA2, RA6 e RA 15). Para os estuários do rio Tejo e Sado verificam-se razões elevadas para todos os metais com exceção do Cr e Ni e Hg para o Sado. Na ria Formosa as razões calculadas são inferiores ou muito próximas dos valores de referência com exceção do Pb.

4. CONCLUSÕES

O presente estudo, ao abranger um período de tempo tão largo permitiu, para além da definição das zonas mais afetadas pela ação antropogénica, analisar tendências. Assim, à luz dos resultados obtidos pode-se afirmar que, das quatro zonas monitorizadas, a ria de Aveiro, o estuário do rio Tejo e rio Sado são as que se encontraram mais expostas à ação antropogénica. Os teores na ria Formosa foram significativamente mais baixos.

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.
- Caçador I., Vale C., Catarino F., (1996). Accumulation of Zn, Pb, Cu, Cr and Ni in Sediments Between Roots of the Tagus Estuary Sal Moushes, Portugal. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 42, 393-403.
- Cairo S., Costa M.H., Ramos T.B., Fernandes F., N. Silveira N. A. Coimbra d, G. Medeiros d, M. Painho., (2005). Assessing heavy metal contamination in Sado Estuary sediment: An index analysis approach, *Ecological Indicators*, 5 151-169.
- Caetano M, Vale C., Bebianno M., (2002). Distribution of Fe, Mn, Cu and Cd in Upper Sediments and Sediment-Trap Material of Ria Formosa (Portugal), *Journal of Coastal Research* (2002), 36, 118-123.
- Cortêsão C. & Vale C., (1995). Metals in Sediments of Sado Estuary, Portugal), *Marine Pollution Bulletin*, 30, 34-37.
- França S., Vinagre C., Caçador I., Cabral H., (2005). Heavy metal concentrations in sediment, benthic invertebrates and fish in three salt marsh areas subjected to different pollution loads in the Tagus Estuary (Portugal), *Marine Pollution Bulletin*, 50, 993-1018.
- Kersten, M., Smedes, F., (2002). Normalization Procedures for Sediment Contaminants in Spatial and Temporal Trend Monitoring, *Journal of Environmental Monitoring*, 4, 109-115.
- Loring, D. H., (1991). Normalization of heavy-metal data from estuarine and coastal sediments. *ICES Journal of Marine Science*, 48, 101-115.
- Monterroso, P., Pato, P., Pereira, E., Vale, C., Duarte, A., (2003). Distribution and accumulation of metals (Cu, Cd, Zn and Pb) in sediments of a lagoon on the northwestern coast of Portugal. *Marine Pollution Bulletin*, 46, 1200-1211.
- OSPAR Commission - CEMP Assessment Manual, 2008: Co-ordinated Environmental Monitoring Programme-Assessment manual for contaminants in sediments and biota. OSPAR Commission, 39 p.
- OSPAR Commission - OSPAR Guidelines for the Management of Dredged Material, 2002. London.
- Padinha C., Santos R., Brown M., (2000). Evaluating Environmental Contamination in Ria Formosa (Portugal) using stress indexes of *Spartina maritima*, *Marine Environmental Research*, 49, 67-78.
- Pereira, M.E., (1996). PhD Thesis, University of Aveiro, Portugal

Avaliação do Risco Ecológico de Sedimentos em Portugal através da Aplicação de Guias de Qualidade de Sedimentos (SQG)

P. Santos (1), C. Rocha (1), M. Valença (1) e A. Cardoso (1)

(1) Instituto Hidrográfico, paula.santos@hidrografico.pt

Resumo: A monitorização de sedimentos desempenha um papel fundamental em estudos ambientais pois estes atuam como reservatório de contaminantes constituindo uma fonte secundária de poluição. Neste sentido, foram desenvolvidos diversos Guias de Qualidade de Sedimentos (SQG) para substâncias potencialmente tóxicas com base na análise empírica de dados químicos e biológicos que permitem classificar o sedimento em termos do seu potencial de toxicidade.

No presente estudo, efetuou-se a aplicação de determinados SQG (ERL/ERM, TEL/PEL) a sedimentos marinhos das rias de Aveiro e Formosa e nos estuários do Tejo e do Sado. Na generalidade, os sedimentos nos locais estudados apresentam baixa contaminação à qual está associado um baixo risco ecotoxicológico.

Palavras chave: Monitorização, sedimentos, toxicidade, guias, metais pesados, compostos orgânicos

1. INTRODUÇÃO

Os sedimentos são o principal recetor dos poluentes antropogénicos lançados na coluna de água e desempenham um papel fundamental na biodisponibilidade de contaminantes nos ecossistemas marinhos (Adams *et al.*, 1992).

De acordo com o histórico dos locais e das características químicas dos contaminantes, os sedimentos podem conter elevadas cargas de metais pesados e compostos orgânicos, nomeadamente hidrocarbonetos poliaromáticos (PAH) e compostos organoclorados, provenientes da atividade antropogénica.

Nas últimas décadas a qualidade dos sedimentos tornou-se um problema maior em termos ecológicos (qualidade da água e dos recursos naturais). Em resposta às exigências de proteção dos recursos aquáticos e da necessidade de prever os possíveis efeitos tóxicos dos sedimentos contaminados nos organismos, foram desenvolvidas nos últimos 20 anos abordagens para a definição de guias de qualidade para o sedimento (SQG).

Uma dessas abordagens foi desenvolvida por Long *et al.* (1995) e MacDonald *et al.* (1996) com base em estudos que combinam as concentrações de químicos em sedimentos e os respetivos efeitos biológicos adversos. Para cada composto foram determinados empiricamente dois conjuntos de valores-guia: efeitos de gama baixa (ERL)/efeitos de gama média (ERM) e níveis de efeitos residuais (TEL)/níveis de efeitos prováveis (PEL).

Estes valores limitam três gamas de concentração de contaminantes de acordo com possíveis efeitos biológicos adversos:

- gama baixa - valores abaixo dos ERL ou TEL para a qual é rara a ocorrência de efeitos adversos;
- gama intermédia - valores entre ERL-ERM ou TEL-PEL onde os efeitos adversos podem ocorrer ocasionalmente;

- gama alta - valores superiores a ERM ou PEL onde são esperados que efeitos adversos ocorram frequentemente.

Como na generalidade os sedimentos são reservatório de múltiplos contaminantes, podem ser esperados efeitos sinérgicos ou antagónicos entre as diferentes contaminações. Por isso, a toxicidade combinada poderá ser inferior à toxicidade dos contaminantes individuais. Faz sentido, pois, analisar o risco ecológico combinado de cada local. Long e MacDonald (1998), MacDonald *et al.* (2000) e Liu *et al.* (2009) referem o uso de quocientes médios - mERMq e mPELq - como ferramenta adicional nesta avaliação. O cálculo destes quocientes é dado pelas seguintes expressões onde C_i é a concentração individual do contaminante no sedimento, ERM_i ou PEL_i o respetivo SQG e n o número de contaminantes avaliado:

$$mERMq = \frac{\sum \left(\frac{C_i}{ERM_i} \right)}{n} \quad mPELq = \frac{\sum \left(\frac{C_i}{PEL_i} \right)}{n}$$

Os autores classificaram as áreas de amostragem em quatro classes para definir prioridades de ação. Para cada classe foi estabelecido um intervalo de mERMq, um intervalo mPELq e um número de ERM/PEL/TEL excedido, associado a uma probabilidade de toxicidade que foi estudada com testes de sobrevivência de anfípodas:

- mERMq < 0,1, mPELq < 0,1, ERL ou TEL não excedidos - baixo risco (9-12% de toxicidade);
- 0,11 ≤ mERMq ≤ 0,5, 0,11 ≤ mPELq < 1,5, 1-5 ERM ou PEL excedidos - médio-baixo risco (24-32% de toxicidade);
- 0,51 ≤ mERMq ≤ 1,5, 1,51 ≤ mPELq ≤ 2,3, 6-10 ERM excedidos ou 6-20 PEL excedidos - médio-alto risco (46-53% de toxicidade);
- mERMq > 1,5, mPELq > 2,3, >10 ERM excedidos ou >21 PEL excedidos - alto risco (74-88% de toxicidade).

O objetivo deste estudo é efetuar a avaliação do risco ecológico de sedimentos em quatro áreas geográficas de Portugal através da comparação das concentrações em contaminantes – metais e compostos orgânicos - com guias de qualidade de sedimentos.

2. ÁREAS E PERÍODO DE ESTUDO

O presente estudo abrange as quatro áreas monitorizadas no âmbito do programa de monitorização Vigilância da Qualidade do Meio Marinho (1981-2010) desenvolvido pelo Instituto Hidrográfico: a ria de Aveiro e o estuário do Tejo com 10 estações de amostragem, o estuário do Sado com seis e a ria Formosa com nove estações. A localização das estações de amostragem em cada uma das zonas foi estabelecida tendo em conta as características geomorfológicas, o regime hidrodinâmico, a distribuição dos focos de pressão antropogénica e o desenvolvimento de infra-estruturas locais.

O período de estudo considerado compreende as amostragens realizadas de 2002 a 2009 e cada estação de amostragem foi caracterizada pela concentração média de cada um dos parâmetros nesse período.

3. PARÂMETROS E MÉTODOS

As amostras de sedimento foram colhidas com colhedor manual *Petit Ponard*, peneiradas por via húmida a 2 mm e congeladas a -18 °C. As amostras para a determinação de metais e de pesticidas organoclorados e policlorobifenilos (PCB) foram liofilizadas e moídas em moinho de ágata. A determinação de PAH foi efetuada via húmida. A determinação quantitativa dos metais foi efetuada por espectrometria de absorção atómica com chama – para o Cr, Cu, Ni, Pb e Zn - e por gerador de hidretos para o As. O Hg foi determinado por espectroscopia de absorção atómica com decomposição térmica, utilizando um analisador de mercúrio (DMA). Os pesticidas organoclorados e PCB foram determinados por cromatografia gasosa com detector de captura eletrónica (GC-ECD) e os PAH por cromatografia gasosa-espetrometria de massa em modo de ião selecionado (GC-MS-SIM). As determinações analíticas foram acompanhadas pelo controlo de qualidade interno, nomeadamente ensaios em branco, duplicados, materiais de referência e participação em exercícios interlaboratoriais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliar a contaminação dos sedimentos e os potenciais efeitos ecotoxicológicos associados às concentrações de metais, pesticidas organoclorados PCB e PAH foram usados os dois conjuntos de SQG atrás descritos: ERL/ERM e TEL/PEL.

O resultado da comparação das concentrações dos contaminantes nas diferentes zonas e estações de amostragem com os SQG individuais está resumido na Tabela I.

Tabela I. Número de SQG excedidos em cada estação de amostragem quando comparados com as respetivas concentrações de contaminantes (n é o número de valores-guia utilizados)

Zona	Est.	ERL-ERM n=27	ERM excedidos n=27	TEL-PEL n=22	PEL excedidos n=22
Ria de Aveiro	2	4	1	5	1
	4	1	0	2	0
	6	5	0	7	0
	6A	2	0	2	0
	7	1	0	1	0
	8	2	0	2	0
	9	1	0	0	0
	11	2	0	1	0
	12	1	0	1	0
	15	4	1	3	1
Estuário do Tejo	1	1	0	0	0
	1A	4	0	4	0
	3	6	0	5	0
	5	5	0	2	0
	6	7	0	6	1
	7	7	0	5	0
	89	6	0	5	0
	90	5	1	7	2
	91	5	1	5	2
	92	4	0	6	0
Estuário do Sado	1	3	0	3	0
	2	6	0	5	1
	3	2	0	1	0
	4	1	0	0	0
	5	9	1	7	3
	6	6	0	6	1
Ria Formosa	1	1	0	1	0
	2	1	0	0	0
	3	2	0	2	0
	4	1	0	0	0
	8	1	0	0	0
	9	6	0	5	0
	26	1	0	0	0
	30	2	0	2	0
	32	2	0	2	0

Como se observa, os SQG que delimitam a gama de baixas concentrações - ERL e TEL - são excedidos na generalidade das estações de amostragem. Os contaminantes apresentam, pois, gamas de concentração intermédia para as quais são esperados efeitos biológicos adversos ocasionais. São exceção as estações 9 na ria de Aveiro, 1 no estuário do Tejo, 4 no estuário do Sado e 2, 4, 8 e 26 na ria Formosa, para as quais nenhum valor de TEL é excedido (efeitos adversos raros).

Por outro lado, os SQG ERM e PEL são excedidos num número reduzido de estações e de um modo geral para os metais. Nestas estações os contaminantes são considerados de concentrações de gama alta para as quais podem estar associados efeitos adversos frequentes. Os resultados indicam também que estes sedimentos apresentaram em alguns anos elevadas proporções da fração fina (argila + silte).

Como referido, a toxicidade combinada de múltiplos contaminantes poderá ser diferente da toxicidade dos contaminantes individuais. Por isso, de acordo com Liu *et al.* (2009) e Casado-Martinez (2006) faz sentido analisar o risco ecológico combinado em

cada local através de mERMq para uma gama de contaminantes.

Na Figura 1 apresentam-se os mERMq que foram calculados através de 27 ERM individuais para cada estação de amostragem nas diferentes zonas. De acordo com a classificação descrita anteriormente, em termos de prioridade de intervenção de acordo com o grau de contaminação, os sedimentos podem classificar-se em duas classes: baixa e média-baixa. Da análise da Tabela I e da Figura 1 pode estimar-se para cada zona a percentagem de estações que cai numa e noutra classificação, como se observa na Tabela II.

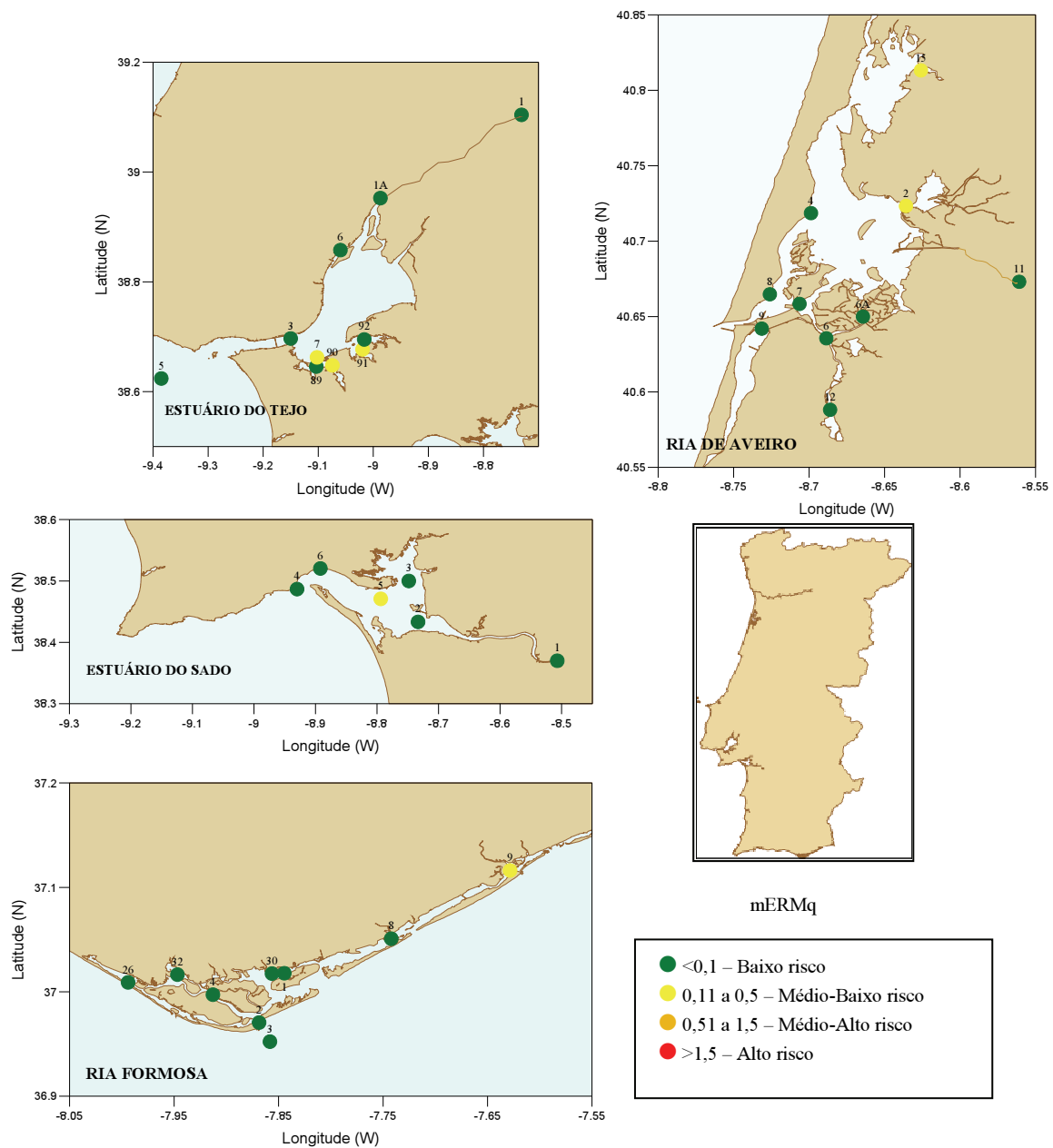


Fig.1. Avaliação da contaminação combinada de sedimentos através dos coeficientes médios de ERM para metais, pesticidas organoclorados, PCB e PAH.

Tabela II. Classificação das estações de amostragem em termos de prioridade de ação e probabilidade de toxicidade associada estudada em testes de sobrevivência em anfípodas (Long. & MacDonald, 1998).

Zona	Prioridade baixa			Prioridade Média Baixa		
	0 ERL exced.	0 TEL exced.	<0,1 mERMq	1-5 ERM exced.	1-5 PEL exced.	0,11-0,5 mERMq
ria Aveiro	-	10%	80%	20%		
estuário do Tejo	-	10%	70%	20%	30%	30%
estuário do Sado	-	17%	83%	17%	50%	17%
ria Formosa	-	44%	89%	-	-	11%
Prob. toxicid. (%)	11	9	12	32	24	30

Como se verifica, a maior parte das estações é considerada de prioridade baixa onde a probabilidade de toxicidade nos sedimentos (estimada através de testes de sobrevivência em anfípodas) se situa nos 10%. Algumas estações são de prioridade média-baixa com uma probabilidade de toxicidade entre 24 a 32%. São estações com influência industrial - na ria de Aveiro (2 e 15), no estuário do Tejo (7, 90, 91) e estuário do Sado (5) – e fluvial, na ria Formosa (9).

Comparando a análise dos SQG individuais com os mERMq verifica-se concordância em algumas estações enquanto que noutras, apesar de alguns SQG individuais serem excedidos, os efeitos biológicos combinados são baixos. Nestes casos há indícios de que a toxicidade combinada poderá ser inferior à toxicidade individual.

5. CONCLUSÕES

Os SQG são uma ferramenta útil no processo de avaliação do risco ecológico de sedimentos. Do estudo efetuado a sedimentos portugueses verifica-se que a maioria dos locais na ria de Aveiro, estuário do estuário do Tejo e estuário do Sado e ria Formosa podem classificar-se como de baixa prioridade de acordo com a classificação proposta por Long *et al.* (1998). Algumas estações com influência fluvial - ria Formosa (9) – e industrial - ria de Aveiro (2 e 15), estuário do Tejo (7, 90, 91) e estuário do Sado (5) – foram classificadas como de prioridade média-baixa. Estes índices ligeiramente mais elevados deveriam-se essencialmente às concentrações de metais.

A análise comparativa da aplicação de SQG individuais com SQG combinados (através de mERMq) permite inferir que há indícios de que a toxicidade combinada possa ser inferior à toxicidade individual.

Apesar de existirem compostos para os quais não foram determinados valores-guia e cujos potenciais efeitos tóxicos não podem ser previstos, Fairey *et al.*

(2001) consideram que, do ponto de vista toxicológico, os SQG existentes são representativos dos contaminantes. A aplicação dos SQG torna-se assim uma base credível na gestão de sedimentos, complementada por outras linhas de evidência como testes de bioacumulação, análises à comunidade bentónica e outros. Estes estudos podem ser cruciais na tomada de decisão em projetos de dragagens, atividades comerciais e de recreio e gestão de pescas.

REFERÊNCIAS

- Adams, W.J., Kimerle, R. A., Barnett, J.W. (1992) Sediment quality and aquatic life assessment *Environmental Science and Technology*, 26, 1864-1875.
- Casado-Martínez, M.C., Buceta, J., Belzunce, M.J., DelValls, T.A.. (2006). Using sediment quality guidelines for dredged material management in commercial ports from Spain. *Environmental International*, 32, 388-396.
- Fairey, R., Long, E. R., Roberts, C. A., Anderson, B. S., Phillips, B. M., Hunt, J.W., Puckett, H. R. and Wilson, C. G.. (2001). An evaluation of methods for calculating mean sediment quality guideline quotients as indicators of contamination and acutotoxicity to amphipods by chemical mixtures, *Environmental Toxicology Chemistry*, 20, 2276–2286.
- Liu, A., Lang, y., Xue, L., Liu, J.. (2009). Ecological risk analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments from Laizhou Bay. *Environmental Monitoring Assessment*, 159, 429-436.
- Long, E.R, MacDonald, D.D., Smith, S.L., Calder, F.D.. (1995). Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management*, 19, 81-87.
- MacDonald, D.D., Carr, R.S., Calder, F.D., Long, E.R., and Ingersoll, C.R.. (1996). Development and evaluation of sediment quality guidelines for Florida coastal waters. *Ecotoxicology*, 5, 253-278.
- Long, E.R. and MacDonald, D.D.. (1998). Recommended uses of empirically derived, sediment quality guidelines for marine and estuarine ecosystems. *Human and Ecological Risk Assessment*, 4, 1019–1039
- MacDonald, D.D., Ingersoll, C.G., Berger, T.A.. (2000). Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Environmental Contamination and Toxicology*, 39, 20-31.

Distribuição de nutrientes na coluna de água na plataforma continental da costa noroeste de Marrocos

J. Reis (1), C. Borges (1), M. Valença (1), C. Rocha (1), C. Sá (2), C. Mendes (2) e V. Brotas (2)

(1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 49, 1249-093 Lisboa. remedios.reis@hidrografico.pt

(2) Instituto de Oceanografia, Fac. de Ciências Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisboa.

Resumo: A plataforma continental marroquina apresenta grande interesse devido à sua diversidade e riqueza em recursos piscícolas. Em virtude do seu interesse, e integrado nos trabalhos do Projeto HERMIONE foi realizada uma campanha interdisciplinar para a caracterização das águas na região noroeste da plataforma, na área compreendida aproximadamente entre 35 e 36° de Latitude Norte e desde a costa até 8,3° de Longitude Oeste em situação de verão.

Os dados de nutrientes e de clorofila-*a* obtidos são avaliados no presente trabalho, pretendendo-se verificar a influência da atividade humana e/ou de fenómenos naturais na qualidade das águas.

Palavras chave: plataforma continental marroquina, nutrientes, fitoplâncton.

1. INTRODUÇÃO

A plataforma continental de Marrocos encontra-se entre as zonas costeiras mais ricas em recursos biológicos, sendo um ecossistema extremamente produtivo (Kifani *et al.*, 2008). Esta elevada produtividade biológica sustenta toda uma indústria pesqueira que se traduz numa importante atividade económica para a região.

A região é caracterizada pela existência consistente de fenómenos de “upwelling” (Treguer e Le Corre, 1979), o que torna as suas águas costeiras extremamente ricas em nutrientes potenciando o desenvolvimento do fitoplâncton na zona eufótica, com naturais repercussões em toda a cadeia trófica. Este fenómeno oceanográfico é caracterizado pela ascensão de águas profundas para áreas menos profundas do oceano e é especialmente marcado quando se verifica a existência de ventos persistentes ao longo da costa, que conduzem a água superficial (normalmente quente e deficiente em nutrientes) em direção ao oceano e permitem a sua substituição por águas mais profundas, frias e ricas em nutrientes.

Contudo, o aumento da densidade populacional na zona costeira e o forte desenvolvimento industrial expõem o ambiente marinho a um aumento de descargas de contaminantes, poluindo-o através da introdução de diversas substâncias químicas. O potencial excesso de nutrientes reflete-se num aumento da biomassa que, em condições favoráveis, pode ser excessivo e conduzir a fenómenos de eutrofização.

No âmbito do Projeto Europeu HERMIONE, o Instituto Hidrográfico (IH) realizou, em Junho de 2009 uma campanha oceanográfica (HERM02 IHPT2009) para caracterização da plataforma continental marroquina, entre a zona a norte do Cabo Bedouzza e o Cabo Spartel. No período de 15 a 20 de Junho foi efetuada a colheita de amostras de água na zona entre os 35° e os 36° de latitude Norte.

O presente estudo avalia a qualidade do meio ambiente da costa atlântica marroquina, através das análises de água, a nível dos nutrientes — nitrato+nitrito (NO_x), nitrito (NO₂), azoto amoniacal (NH₄), fósforo reativo (PO₄) e sílica reativa (SiO₂) — e da biomassa fitoplanctónica, avaliada em termos do teor em clorofila-*a* (Chl *a*).

2. AMOSTRAGEM E MÉTODOS

Para a determinação de nutrientes foram amostradas 37 estações ao longo de quatro secções (S1 a S4), desde a batimetria dos 30 m até à longitude de 8°15'W (Figura 1). Os níveis de colheita foram selecionados de modo a permitir caracterizar as diferentes influências da massa de água.

Em simultâneo foi também efetuada colheita para determinação de Chl *a* nas secções S1 e S3 até ao nível máximo de 60m.

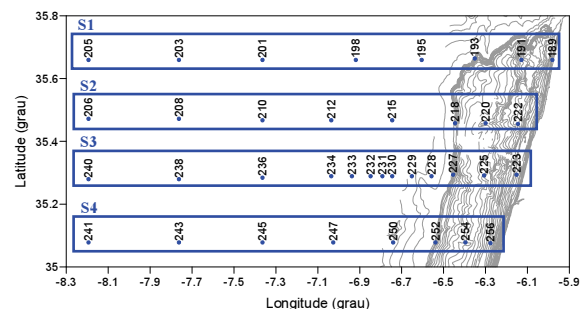


Fig.1. Localização das estações de amostragem e respetivas secções.

As amostras de água foram colhidas com garrafas “Niskin” instaladas numa rosette General Oceanics Mark1015. As amostras de água para análise de nutrientes foram conservadas por congelação a -20°C. Para a determinação de Chl *a*, foram filtrados 2L de água, por vácuo controlado, utilizando filtros de fibra de vidro (Whatman GF/F 25 mm de

diâmetro, 0,7 µm de poro), imediatamente congelados em azoto líquido e armazenados a -80°C em laboratório até análise. A determinação de nutrientes foi efectuada por Análise de Fluxo Segmentado (SFA) usando um equipamento especialmente desenhado para a análise de águas salinas. Os nutrientes NO_x e NO₂ foram determinados pelo método colorimétrico, por formação de composto azo corado; para NO_x, a reação de complexação foi precedida de redução do nitrato a nitrito pelo método de redução do cádmio (SMEWW, 2005). O NH₄ foi determinado pelo método do azul de indofenol (Koroleff, 1976). O PO₄ foi determinado pelo método do ácido ascórbico (SMEWW, 2005). SiO₂ foi determinada pelo método do molibdo-silicato, (Koroleff, 1976).

A quantificação de Chl *a* foi efetuada por Cromatografia Líquida de Alta Precisão (HPLC). A separação cromatográfica foi feita segundo o método descrito em Zapata *et al.* (2000), que usa uma coluna monomérica OS C8. Os cromatogramas foram analisados, tendo a Chl *a* sido identificada através do espectro de absorção e do tempo de retenção e a sua concentração calculada segundo a respetiva reta de calibração.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela I apresentam-se os teores de nutrientes em termos da sua amplitude por nível de colheita.

Tabela I Teores de NO_x, NO₂, NH₄, PO₄ e SiO₂ por nível de colheita

Nível	NO _x (µmol L ⁻¹)	NO ₂ (µmol L ⁻¹)	NH ₄ (µmol L ⁻¹)	PO ₄ (µmol L ⁻¹)	SiO ₂ (µmol L ⁻¹)
Sup n=37	<0,88-1,39	<0,15-0,19	<1,17-2,30	<0,23-0,41	<0,52-1,70
50 m n=36	<0,88-8,50	<0,15-0,33	<1,17-2,10	<0,23-0,64	<0,52-5,70
100 m n=31	2,6-7,7	<0,15-0,28	<1,17-1,60	<0,23-0,55	1,06-3,06
500 m n=21	6,1-17	<0,15-0,20	<1,17-1,90	<0,23-1,08	2,60-6,70
800 m n=16	17-21	<0,15-0,17	<1,17-1,80	<0,23-1,41	8,10-11,6
Fundo n=37	4,3-21	<0,15-0,33	<1,17-1,80	<0,23-1,41	2,40-29

Como se pode observar pela Tabela I, apenas os nutrientes NO_x, PO₄ e SiO₂ apresentam uma variação significativa. Para NO₂ e NH₄ os valores observados são sistematicamente baixos, próximos dos limites de quantificação e com uma variação pouco representativa, pelo que não são aqui discutidos.

Genericamente, os diversos nutrientes determinados apresentam a distribuição típica encontrada para águas oceânicas, diminuindo com a distância à costa e aumentando com a profundidade, conforme se pode observar no exemplo da Figura 2, onde se encontra representada a distribuição espacial de NO_x e PO₄ encontrada para a área em estudo.

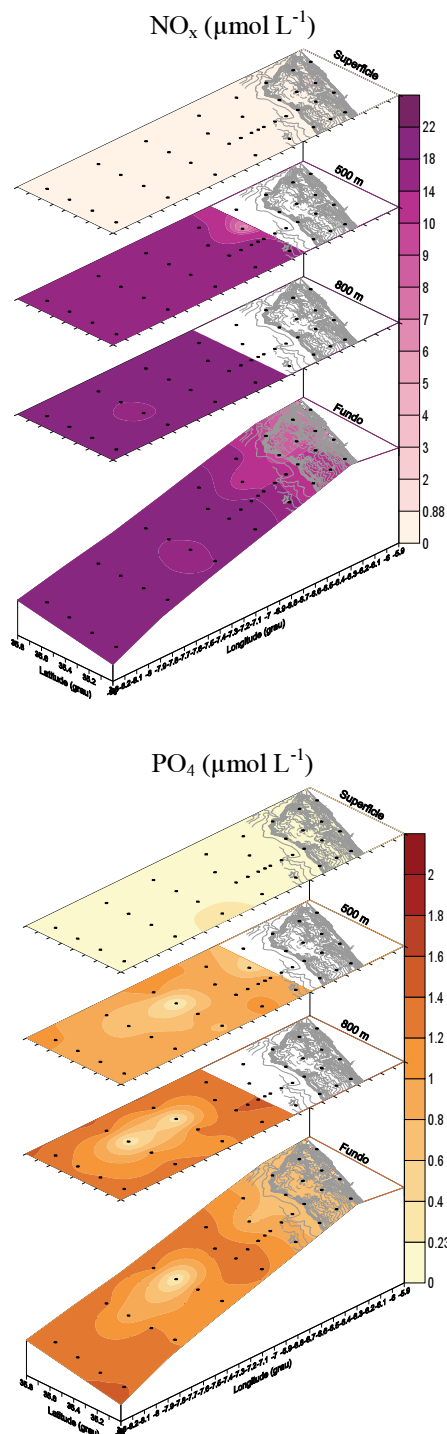


Fig. 2. Distribuição espacial de NO_x e PO₄ por nível de profundidade.

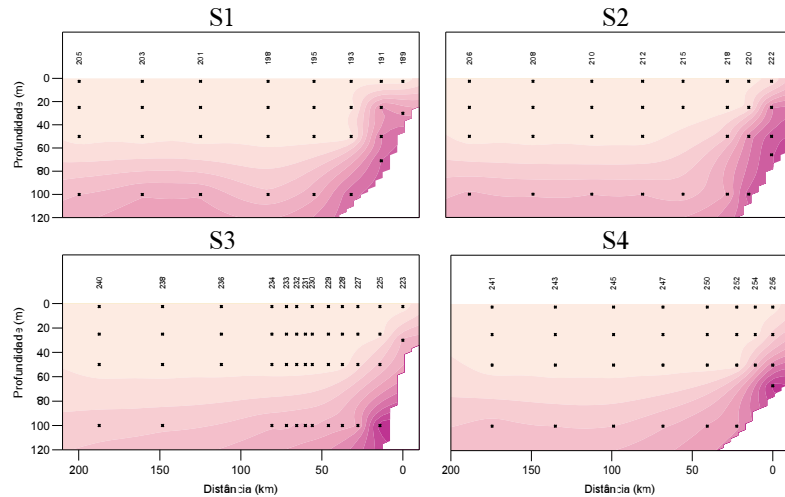
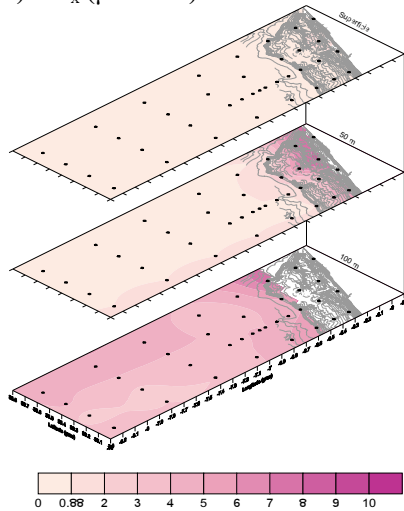
Este comportamento é consistente com o encontrado para o PO₄ na mesma região e em situação de inverno (Makaoui *et al.*, 2005) sendo também os valores muito semelhantes aos determinados na plataforma adjacente do canhão da Nazaré em situações similares (Borges *et al.*, 2009).

Em termos de produção e consumo, é nas primeiras camadas de água (até um máximo de 100 m, dependendo de condições como a luminosidade e transparência) que se dá o desenvolvimento de fitoplâncton, origem de toda a cadeia trófica. A

Chl *a* funciona como indicador da quantidade de fitoplâncton e, logo, da biomassa disponível para consumo por organismos superiores. Nas Figuras 3 e 4 apresentam-se, respetivamente, as distribuições de NO_x, PO₄ e Chl *a* até ao extremo da zona fótica.

Conforme se pode observar nas figuras seguintes, não se encontram diferenças significativas entre as quatro secções estudadas, com os teores em nutrientes a aumentarem com o fim da zona fótica. Observa-se também que junto à costa os teores são ligeiramente mais altos, fruto de contribuições terrestres e da ressuspensão e contribuição de nutrientes previamente captados por sedimentos.

a) NO_x (μmol L⁻¹)



b) PO₄ (μmol L⁻¹)

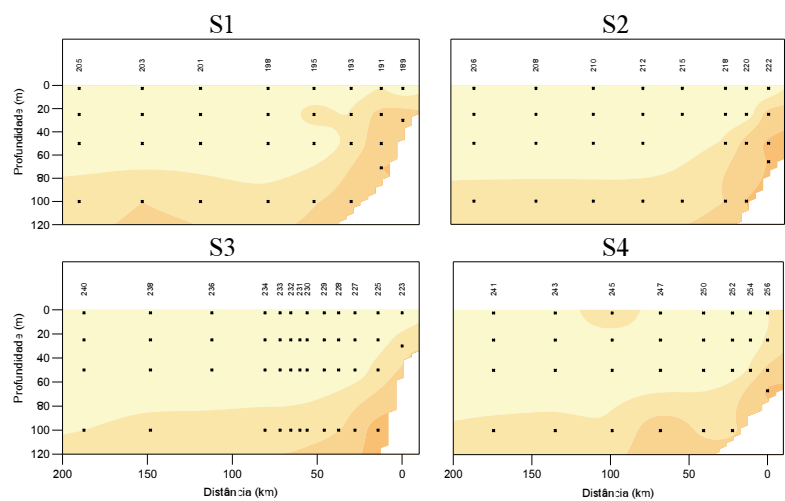
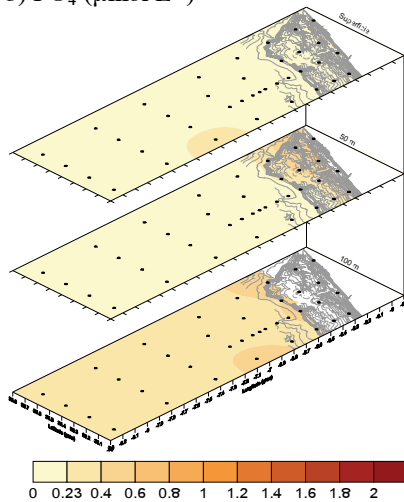


Fig. 3. Perfis verticais de distribuição de a) NO_x e b) PO₄ nas secções 1 a 4, até 100 metros de profundidade.

Chl *a* (μg L⁻¹)

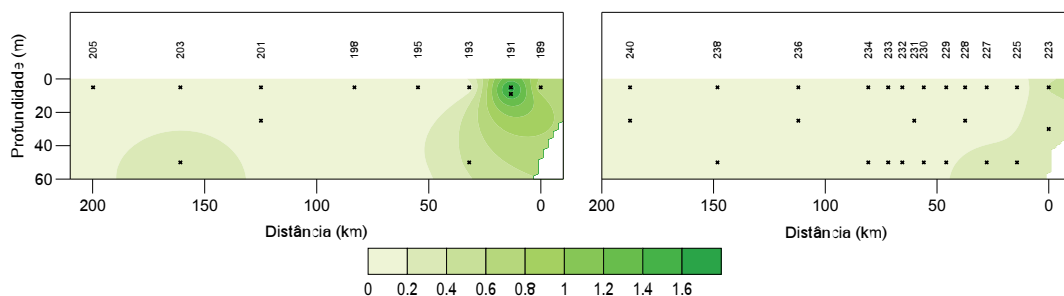


Fig.4. Perfis verticais de distribuição de Chl *a* nas secções 1 e 3, até 60 metros de profundidade.

Este comportamento reflete-se também na distribuição da Chl *a*, que apresentou um comportamento semelhante, observando-se valores mensuráveis até cerca de 60 m de profundidade e valores junto à costa mais elevados. Registou-se, também, um pico de Chl *a* na estação 191 (S1) onde se observam os teores mais elevados de nutrientes. Segundo Redfield (1963) e Stigebrandt (1987) pode ser estabelecida uma razão estequiométrica entre o azoto e o fósforo presentes em águas marinhas pois a limitação do nutriente está relacionada com a sua velocidade de regeneração. Para águas em que a biomassa dominante é o fitoplâncton, tal razão, denominada Razão de Redfield (R) tem o valor 16 se se considerar moles por volume (mol L^{-1} ou um seu submúltiplo) como unidade de concentração. Traçando a reta teórica e comparando as concentrações obtidas pode-se verificar, através dos desvios observados, se há um nutriente limitante do desenvolvimento de fitoplâncton.

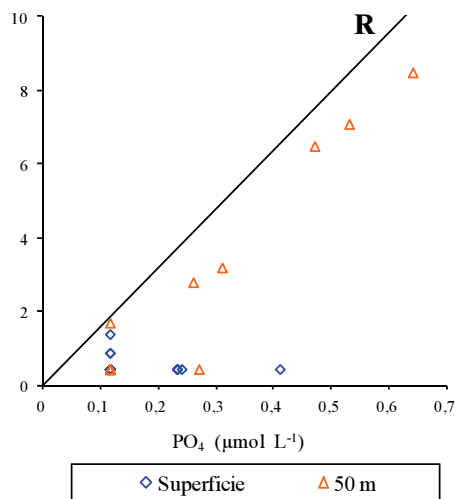


Fig.5. Razão de Redfield aplicada à área em estudo

Pela análise da Figura 5 pode-se afirmar que o reagente limitante para o crescimento de fitoplâncton é o nitrato, que corresponde ao que é geralmente verificado em águas oceânicas e costeiras (Labry *et al.*, 2002). Pode ainda observar-se que na camada superficial da massa de água a presença destes dois nutrientes é praticamente inexistente, o que indicia um consumo extremamente elevado dos mesmos.

4. CONCLUSÕES

Em função do conjunto de resultados apresentados, pode-se concluir que a zona de produção primária se estende até cerca de 50-100 m, com o seu ponto máximo a situar-se próximo dos 25 m.

O conjunto de dados aqui apresentado, com baixos valores encontrados de nutrientes e Chl *a* indicia que a região não se encontra sujeita a eutrofização, fruto de condições desfavoráveis ao crescimento da

biomassa fitoplanctónica (ex. luz, turbulência, nutrientes), ou, pelo contrário, de forte consumo da biomassa pelos níveis tróficos superiores, hipótese que se supõe mais correta, tendo em conta a importância piscícola da região. Estudos mais detalhados e séries temporais seriam necessários para avaliação integrada do ecossistema.

Os resultados encontrados sugerem ainda que, junto à costa, existem trocas de nutrientes entre o sedimento e a massa de água, que contribuem para o enriquecimento desta última.

REFERÊNCIAS

- Borges, C., [et al.] - Nutrient and heavy metal distribution of Nazaré Canyon and adjacent shelf. [Documento icónico]. [Lisboa: Instituto Hidrográfico, 2009] (Lisboa: Lith. de Portugal). 1 cartaz.
- Labry C., Herbland, A., Delmas, D. (2002). The role of phosphorus on planktonic production of the Gironde plume waters in the Bay of Biscay *Journal of Plankton Research*, 24(2), 97-117.
- Kifani, S., Masski, H., Faraj, A. (2008) The need of an ecosystem approach to fisheries: The Moroccan upwelling-related resources case. *Fisheries Research*, 94, 36-42.
- Koroleff, F. (1976). Determination of nutrients. In: Grasshoff, K. (ed.). *Methods of Seawater Analysis*. Verlag Chemie, New York, 117-182.
- Makaoui, A., Orbi, A., Hilmi, K., Zizah, S., Larissi, J., Talbi, M. (2005). L'upwelling de la côte atlantique du Maroc entre 1994 et 1998. *Comptes Rendues Geoscience*, 337, 1518-1524.
- Redfield, A., Ketchum, B., Richards, F. (1963). The influence of organisms on the composition of sea-water. In: M.N.Hill. *The Sea vol. 2: The composition of seawater comparative and descriptive oceanography*. London, Interscience Publishers, 1963, 554 pp.
- SMEWW - *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21st edition (2005). Rice, E., Baird, R. Eaton, A. e Clesceri, L. (eds.). APHA, AWWA, Water Environment Federation, USA, 1400 pp.
- Treguer P., Corre P. (1979) The ratios of nitrate, phosphate, and silicate during uptake and regeneration phases of the Moroccan upwelling regime, *Deep Sea Research Part A Oceanographic research papers*, 26, pp 163-184.
- Zapata, M., Rodriguez, F., Garrido, J. (2000). Separation of chlorophylls and carotenoids from marine phytoplankton: a new HPLC method using a reversed phase C8 column and pyridine-containing mobile phases. *Marine Ecology Progress Series*, 195, 29-45.

sampling measurements was only conducted at surface and bottom levels.

The flow velocity was measured using an ADP Bottom Track (Sontek). At BFO, CF and CO, water samples were collected for nutrients, suspended solids (SS) and chlorophyll *a* (Chl *a*) concentrations, using a 5 L Niskin bottle. Temperature (T), salinity (S), pH, dissolved oxygen (DO in concentration and in % saturation) were also measured *in situ* using a YSI 6600 XL multi-parametric probe, at the same levels from where water samples were taken.

2.2 Methods

Water samples (1 L) for the analysis of nutrients (ammonium, nitrite, nitrate, phosphate and silicate) were filtered through 0.45 μm decontaminated and weighed membrane filters (for SS determination) and then frozen at -20°C while water samples (1 L) for chlorophyll *a* concentrations were filtered using GF/F glass fibre filters which were deep-frozen at -20°C prior to analysis. For the nutrients and Chl *a* determination the applied spectrophotometric methods are those described by Grasshoff *et al.* (1983) and Lorenzen (1967), respectively while for SS determination the applied gravimetric method is that described by APHA (2002).

The discharge was calculated through the integration along the channel cross section of the product between the velocity component normal to cross-section and the corresponding cross-sectional area. The numerical integration in time domain of the hourly discharge values along the flood and ebb periods provided respectively the flood and ebb tidal prisms. The residual tidal prism or net transport of water was obtained as the difference between the flood and ebb tidal prisms or, equivalently, through the numerical integration of the discharge over the complete semi-diurnal tidal cycle.

The transport of nutrients, SS and Chl *a* was calculated hourly over the entire tidal cycle multiplying the discharge (Q) by the cross-sectional average concentration. Finally, the net transport of nutrients, SS and chlorophyll *a* was obtained by integrating in the time domain the hourly transport values over the entire tidal cycle.

2.3 Statistical Treatment

T-test and ANOVA were applied followed by a Post-hoc Tukey pair-wise multiple comparison test to determine if there were significant differences in nutrients, SS and Chl *a* and concentrations along the selected depths (surface, Secchi disk extinction depth and bottom) as well as between sites. The minimum level of confidence considered was 95 %.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Physical and chemical data recorded *in situ* (temperature: ~ 16 - 17.7°C ; salinity: 35.3-35.9; pH: 7.8-8.3, and dissolved oxygen: 93-99%) at the BFO and the adjacent channels (CF and CO) show that the

tidal signal is not markedly evident, despite with higher values during the flood period. These data also reveal that the water column is well mixed with no significant differences ($p > 0.05$) along the water column, with values typical of coastal waters as found by other authors (Falcão and Vale, 2003; Newton and Mudge, 2003; Barbosa, 2010; Cravo in prep).

Along the water column, for the nutrients, SS and Chl *a* concentrations no differences were found ($p > 0.05$), except at BFO where Chl *a* was higher ($p < 0.05$) at the Secchi disk extinction level than at the bottom and at CO where NO_3^- was higher ($p < 0.05$) at the bottom than at surface.

The variation of the mean concentrations of total inorganic nitrogen – TIN (ammonium+nitrate-nitrite), phosphate, silicate, SS and Chl *a* along the tidal cycle at BFO, CF and CO is shown in Fig. 2.

Generally, a typical tidal signal was evident, with higher values in the ebb period than in flood. The range of variation was lower at BFO, the only site where NO_3^- and Chl *a* were higher in the flood period than in the ebb.

The temporal variability of these data shows differences in the behaviour of the chemical compounds between the inlet and both channels. BFO had generally the lowest concentrations while CF and CO were more similar between them, with the highest values ($p < 0.05$) found at CO, particularly NH_4^+ and Chl *a*. These differences between the channels may suggest that these have different dynamics or that there are other sources of nutrients such as remineralization in secondary channels, influence from urban centers, agricultural runoff and sewage. In CO, Chl *a* almost reach $1.5 \mu\text{gL}^{-1}$ at surface which can be considered relatively high and typical for autumnal bloom conditions, while at BFO SS was the only parameter that show no significant differences ($p > 0.05$) between sites (mean 4-5 mgL^{-1}) and the mean organic fraction represents $\sim 20\%$ of the total SS for the three sites.

Regarding the tidal prism (Table I), the highest residual flow was recorded for BFO ($3.4 \times 10^6 \text{ m}^3$) indicating this as a flood dominated inlet, which also occurs for CO ($2.5 \times 10^6 \text{ m}^3$). In opposition, CF is an ebb dominated channel ($-0.6 \times 10^6 \text{ m}^3$). These estimates are of the same order of magnitude and have the same trend as the values previously found by Pacheco *et al.* (2010). Nevertheless, the discharge in both flood and ebb periods was minimum in CO while the minimum residual flow was found at CF. Pacheco *et al.* (2010) confirms that flood occurs mainly through CO and ebb through CF, resulting in a recirculation pattern through the secondary channels that connect the two main navigable channels.

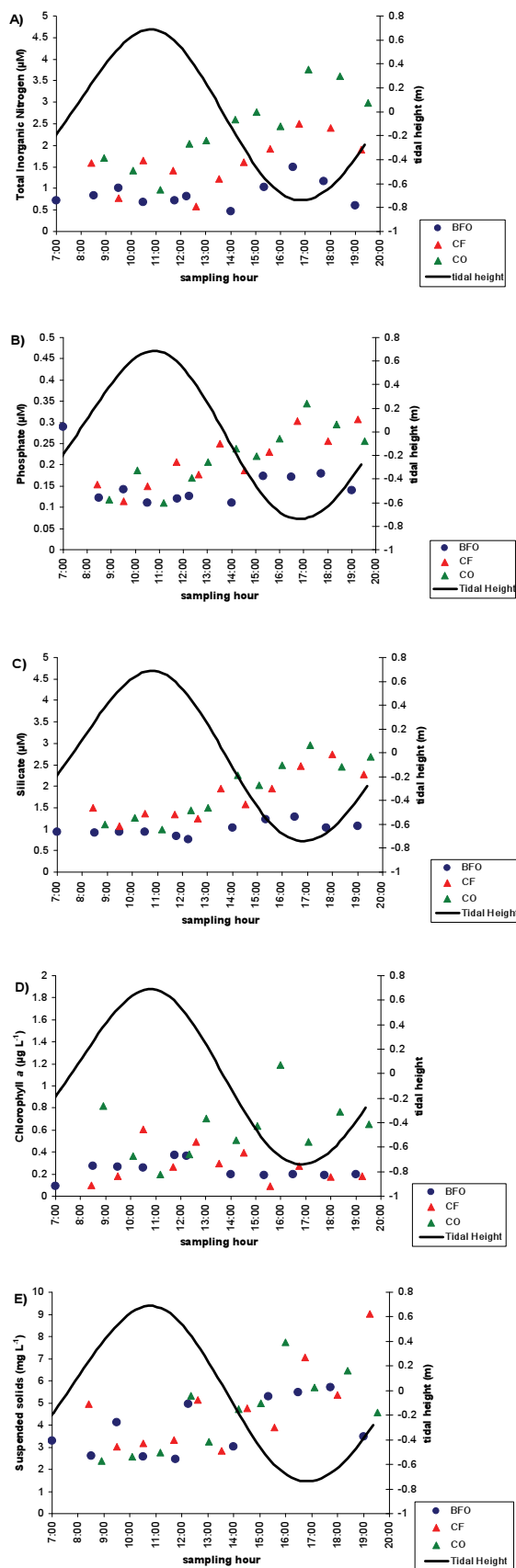


Fig. 2. Variation of sea surface elevation and the mean concentrations of: A) TIN, B) PO_4^{3-} , C) SiO_4^{4-} , D) Chl *a* and E) SS along the complete neap semi-diurnal tidal cycle in 5 December 2011 at BFO, CF and CO

To characterize the dynamics and quantify the mass transport of the chemical compounds, and to evaluate the influence of this inlet upon the biological productivity of this important ecosystem the net transports of nutrients, SS and Chl *a* were estimated (Table I).

Table I. Flood, ebb and residual tidal prisms and net transport of nutrients, SS and Chl *a* at BFO, CF and CO during the complete neap tidal cycle in 5 December 2011. Positive values refer to import while negative ones to export.

site	Net Transport (kg)									
	Q Flood (m^3)	Q Ebb (m^3)	Q Residual (m^3)	NH_4^+	NO_3^-	NO_2^-	PO_4^{3-}	SiO_4^{4-}	SS	Chl <i>a</i>
BFO	3.49×10^7	-3.15×10^7	3.40×10^6	-51.5	115	-1.33	32.6	-0.7	-18300	0.95
CF	1.44×10^7	-1.50×10^7	-5.86×10^5	9.5	27.3	3.51	-23.8	-57.6	3870	-1.53
CO	9.22×10^6	-6.73×10^6	2.49×10^6	-25.5	34.2	2.04	1.6	-25.2	-7700	1.18

The higher net mass transports were estimated for BFO, particularly for nitrate, ammonium and phosphate. It is interesting to note that despite being a flood dominated inlet, importing Chl *a* (~ 1 kg), NO_3^- (115 kg) and PO_4^{3-} (~ 33 kg) from the adjacent coastal zone, it exports NH_4^+ (~ 50 kg), SiO_4^{4-} (~ 1 kg) and SS (~ 18 ton) to the coastal zone. CF is responsible for the residual ebb towards the main inlet, exporting water, PO_4^{3-} (~ 24 kg), SiO_4^{4-} (~ 58 kg) and Chl *a* (1.5 kg) but still imports nitrogen compounds (~ 40 kg) and SS (~ 4 ton). Like BFO, CO is also a flood dominated channel, importing water, NO_3^- (~ 34 kg), PO_4^{3-} (~ 1.5 kg) and Chl *a* (~ 1 kg) and exporting SiO_4^{4-} (~ 25 kg) and SS (~ 7.7 ton) to the coastal zone. This means that in this neap semi-diurnal tidal cycle there is an import of NO_3^- and Chl *a* from the adjacent coastal zone, that pass through the inlet drifting predominantly to the CO, while CF is responsible for the residual ebb of PO_4^{3-} , SiO_4^{4-} and Chl *a* towards the main inlet. The import of NO_3^- , PO_4^{3-} and Chl *a* from the adjacent ocean has already pointed out for the inlets of Ria Formosa (Falcão and Vale, 2003) and in our case it may result from a previous upwelling event (by mid November) along the coast that may supply these nutrients and Chl *a* into the Ria Formosa, as reflected by the increase of phytoplankton (a proxy of Chl *a*) in the coastal adjacent area, as observed in the Chl *a* satellite image (Fig. 3), with values $\sim 1 \mu g L^{-1}$.

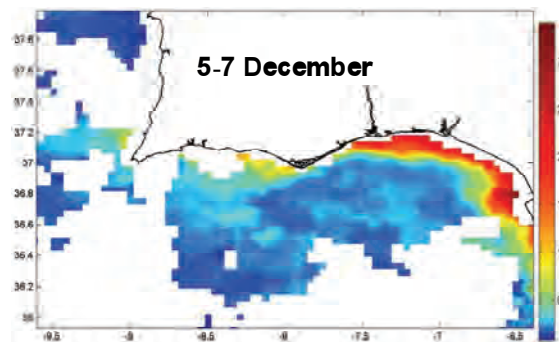


Fig. 3. Satellite image of mean chlorophyll *a* ($mg m^{-3}$) concentration and from 5 to 7th December 2011, along the south coast of Portugal. Source: <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>

SiO_4^{4-} was consistently exported to the ocean through the inlet and both channels, which has been reported as a regular trend from the main inlets of Ria Formosa (Falcão and Vale, 2003) and also recorded in the Ancão inlet (Alcântara *et al.*, 2012). NH_4^+ was also exported through this inlet, as already reported there in other period (Newton and Mudge, 2005). Moreover, during spring tides higher mass exchanges may be expected. Considering that Ria Formosa exports material, fertilizing the adjoining ocean through the several inlets, it will increase the productivity of the coastal zone (Falcão and Vale 2003; Newton and Mudge 2005).

The results obtained in neap tide conditions confirmed that the water characteristics at the BFO and channels are not only affected by the tidal range. These data may change and be not consistent in time either due to tidal dynamic alterations or by alteration of biological and chemical processes occurring in the boundary waters that are affected by atmospheric and oceanographic processes, such as upwelling. To further understand the mass exchange and the dynamics of nutrients, SS and Chl *a* through this inlet, it is important to evaluate those processes at a seasonal scale, during spring and neap conditions. To comprehend the global functioning of the several inlets in Ria Formosa and potential impact upon the adjacent coastal zone, the configuration of the several inlets connected with each other through a complex system of tidal channels must be considered, as it has been in the ongoing COALA Project.

Acknowledgments

The authors kindly acknowledge the Portuguese Maritime Authority for providing the sampling boat for the channels work as well as to Dr. Óscar Ferreira for lending the ADP to measure the current velocities along the cross sections over the complete tidal cycle. This work was financially supported by Portuguese Foundation for Science and Technology (FCT) under the project ref: “PTDC/MAR/114217/2009-COALA”.

REFERENCES

- Alcântara, P., Cravo A. and Jacob, J. (2012). Variability of nutrients and chlorophyll *a* in Ancão inlet during a spring tidal cycle in April 2009. *Ciencias Marinas* 30 (1B), 161-176.
- American Public Health Association (A.P.H.A.), American Water Works Association and Water Environment Federation 1992. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. A. E Greenberg; L. S. Clesceri and A. D. Eaton (eds.), Maryland, U.S.A.
- Barbosa, A.B. (2010). Seasonal and interannual variability of planktonic microbes in a mesotidal coastal lagoon (Ria Formosa, SE Portugal): impact of climatic changes and local-human influences. In: H. Paerl and M. Kennish (eds.). *Coastal Lagoons: critical habitats of environmental change*, CRC Press, Taylor & Francis Group, 335-366.
- Cardoso, A., Santos, A. and Cruz, I. (2005). A Ria Formosa – uma visão global da química das águas e sedimentos. *ANAIS do Instituto Hidrográfico*, 17 (2003-2004), 7-12.
- Falcão, M. and Vale, C. (2003). Nutrient dynamics in a coastal lagoon (Ria Formosa, Portugal): the importance of lagoon-sea water exchanges on the biological productivity. *Ciencias Marinas* 29(4): 425–433.
- Grasshoff K, Erkhardt M and Kremling K. (1983). *Methods of Seawater Analysis*. Verlag Chemie, New York, 419 pp.
- Lorenzen, C.J. (1967). Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations. *Limnology and Oceanography*, 12, 343-346.
- Newton, A. and Mudge, S.M. (2003). Temperature and salinity regimes in a shallow, mesotidal lagoon, the Ria Formosa, Portugal. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57, 73-85.
- Newton A, and Mudge, S. (2005). Lagoon-sea exchanges, nutrient dynamics and water quality management of the Ria Formosa (Portugal). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 62(3), 405-414.
- Pacheco, A., Ferreira, Ó., Williams, J.J., Garel, E., Vila-Concejo, A. and Dias, J.A. (2010). Hydrodynamics and equilibrium of a multiple-inlet system. *Marine Geology*, 274, 32-42.
- Vila-Concejo, A., Matias, A., Ferreira, Ó, Duarte, C., Dias, J.M.A. (2002). Recent Evolution of the Natural Inlets of a Barrier Island System in Southern Portugal. *Journal of Coastal Research Special Issue*, 36, 741-752.

Multi-AUV Deployment for Studying the Influence of the Mar Menor Coastal Lagoon

P. Calado (1), J. B. Sousa (1), J. Braga (1), J. Gilavert (2) e K. Rajan (3)

- (1) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (pdcalado@fe.up.pt)
 (2) Universidad Politécnica de Cartagena
 (3) Monterey Bay Aquarium Research Institute

Abstract: The Spanish Mar Menor coastal lagoon can be seen as a natural laboratory to understand changes in larger water masses due to its size and geographical singularities. In order to determine the influence of the lagoon on the Mediterranean Sea, several institutions of Iberian Peninsula joint efforts into conducting an experiment using autonomous underwater vehicles (AUVs). The aim of the experiment was to profile the mixing of salinity between Mar Menor and the Mediterranean Sea which requires simultaneous deployment of AUVs at different locations. Here, we focus on the results obtained by the University of Porto team, its collaboration in real time with other teams using web-based technologies and lessons learned.

Keywords: Operational Oceanography, Robotics, Autonomous Underwater Vehicles

1. INTRODUCTION

This paper describes an experiment conducted by different institutions to map salinity mixing between the Mar Menor coastal lagoon and the Mediterranean Sea. For the experiment, several AUVs were used to survey different areas and web-based collaboration technologies were tested for real-time team coordination and fusion of acquired data (González, 2012). Special emphasis will be given to the participation of Porto University's team.

1.1. Geographical interest

The Mar Menor is a large coastal lagoon in the Iberian Peninsula and one of the largest in Europe. Many interests from tourism to fisheries to intense agriculture in the watershed to conservation overlap the area. The economic value of fisheries, for instance, is substantially higher in the lagoon than outside. Although the lagoon is important in itself, the SE coast of Spain is an area of large coastal oceanographic interest as shown in Fig. 1.

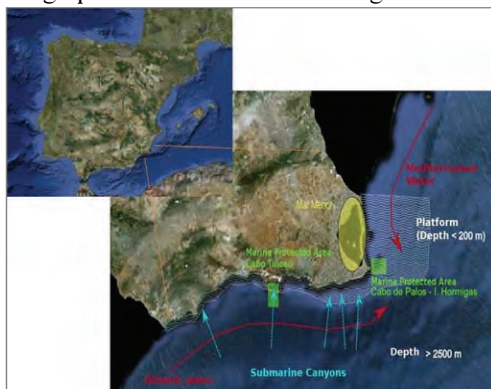


Fig. 1 – Geographical singularities near Mar Menor in Spain.

The Mar Menor lagoon is located in a semi-arid region of Spain with evaporation exceeding precipitation and runoff thus providing its hyper

saline character (45-47 PSU) and a range of temperature spanning from 10°C to 32°C seasonally. It has 135 km² with 22 km long (maximum distance) and 12 km maximum wide with a maximum depth of 6 m and average of 3.5 m. With a volume of about 580 Hm³, its water renewal time is of 423 days (1.16 years approximately). The lagoon is separated from the Mediterranean Sea by a sand bar called La Manga. The exchange of water between the Lagoon and the adjacent Mediterranean Sea is carried out by three inlets. The Major forcing factor of water exchange is a horizontal pressure gradient due to difference in the sea levels (in and out of the lagoon) that are forced by tides.

In order to understand the capacity of the lagoon as a biological buffer it is critical to understand the exchange of water between the Mediterranean Sea and the lagoon. Many species are not allowed to enter into the lagoon because of the strong environmental gradient, mainly imposed by salinity; but others, already adapted to the much more stressed lagoon environment, do leave the lagoon thus providing more resistant populations to changing environmental factors in the Mediterranean (e.g. by global warming trends). The stressed environment is also genetically selecting the species thus providing a reserve of biodiversity. Lagoon water going out to the Mediterranean Sea is, by itself, an important vector of exportation of selected species to the Mediterranean Sea.

Numerical models predict a saline tongue leaving the Estacio Channel as seen in Figure 2. To determine the three dimensional areas of influence of the lagoon water in the Mediterranean Sea it is important to understand the propagation of this saline tongue towards the Mediterranean Sea. For this, simultaneous sampling in different areas of both Mediterranean and Mar Menor are required and thus the necessity of carrying out this experiment with deployment of multiple AUVs.

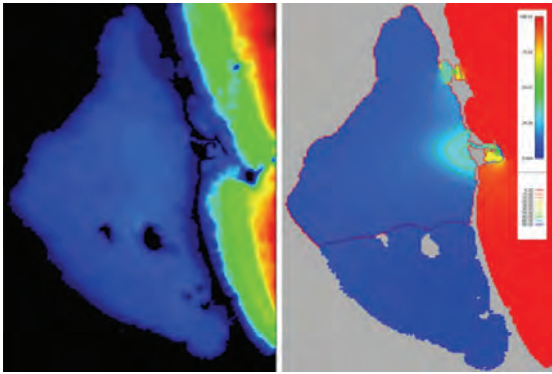


Fig. 2 – 2D advection-diffusion numerical model when more saline water is going out of the lagoon

1.2. Participating institutions

As the result of a meeting of several ocean-related institutions the following companies and university groups joined forces towards this deployment:

- Univ. Politécnic Cartagena
- Universitat de Girona
- Monterey Bay Aquarium Research Institute
- LSTS from Univ. Porto
- SARTI Group from Univ. Poli. Catalunya
- PLG Group from Universidad Carlos III
- SOCIB
- CETMAR, Vigo

Each team contributed with different technologies and scientific inputs. We emphasize participation of Universitat de Girona (figure 3) with the Sparus AUV, Catalunya University contributions with GUANAY II AUV (figure 3) and the participation of Univ. Politécnic Cartagena with a two-body AUV, the AEGIR (figure 4).



Fig. 3 – Girona University's Sparus AUV (left) and GUANAY II AUV from Catalunya University (right)

Porto team ran the experiments using two Seacon AUVs (Sousa, 2012) and a Manta Gateway for wireless communications (see figure 5). Seacon is equipped with a number of sensors that allow it to navigate autonomously in marine environments, communicate with remote control stations or vehicles, and gather oceanographic data. For the

experiment at hand, the CTD sensor (Conductivity, Temperature and Depth) was used to collect both data in Mar Menor and in the Mediterranean Sea.

Seacon can communicate with the Manta Gateway through a Wi-Fi link or via an acoustic link. Furthermore, it can use GSM to communicate when no other communication mean is available.



Fig. 4 – AEGIR two-body AUV from Cartagena University

For navigation, Seacon uses an LBL positioning system. This method consists in deploying at least two acoustic beacons and computing the vehicle's position through trilateration.

MBARI contributed by enabling the various teams with means for real-time coordination through ODSS. ODSS (Oceanographic Decision Support System) is a web-based tool that can register oceanographic data from multiple sources and display it online. In order to acquire the positions of the several support vessels, MBARI provided several tracking devices that send position updates every 10 minutes. Moreover, the system also provides a 3rd party API for sending/receiving position updates and data in NetCDF or CSV formats.



Fig. 5 – Two Seacon AUVs and a Manta Gateway (on the right) from LSTS.

2. PREPARATION

Due to the multidisciplinary science experiment endeavor, current LSTS preparation mission procedures received intense overhaul to fit extensive logistics requirements regarding integration of information, planning, inventory, transport, warehousing, packaging and safety.

The long trip between Oporto and Mar Menor (over 1000 km apart) was made by car, which required

careful planning and packaging to guarantee that all the hardware arrived unharmed.

Close coordination with the CAR facilities at Los Alcazares, Mar Menor, allowed guaranteeing safe warehousing for the vehicles. All procedures followed revised checklists to guarantee easy integration with the other teams at the moment of arrival.

Due to unforeseen circumstances, we could not use our finest vehicle at that moment, the LAUV Xtreme-II. This vehicle was used between 27th and 30th September in another experiment near Halifax, Canada. The shipping of the vehicle suffered several troubles that continually delayed the arrival of the vehicle. A decision was made to use two Seacon AUVs since they could complete the task and were properly revised just days before the departure.

In the day after arrival (November the 1st) our equipment was unloaded from the van and the vehicle was put through a series of basic pre-mission tests. Enabling 3G communications in Seacon using a card from a Spanish GSM network was part of the setup.

All the operations during the first two days were conducted from the pier, therefore there was no need for the aid of a vessel.

On 2nd November, together with further tests to the Seacons in Mar Menor Lagoon, the CTD sensor was calibrated. For this, samples from the Mediterranean Sea, together with samples from Mar Menor were used to calibrate the vehicles' CTD sensors. This was accomplished by measuring the samples salinity with an YSI probe, and using those values as a reference for every participating vehicle. Later on, this would guarantee that the data put together using ODSS would be coherent.

At the end of the day, a demonstration of the different vehicles was performed for the Spanish press.

3. OPERATIONS

Due to meteorological conditions, it was only possible to go out to the Mediterranean Sea in two of the event's days. However, the remaining days were used to solve technical problems and test Seacon in the calm waters of Mar Menor. This section will describe the operations done in the Mediterranean Sea only.

The first day with a deployment at Mediterranean Sea was at 3rd November. A Rodman 800 ship carried our team together with 2 Seacon AUVs, a Manta gateway, 2 LBL beacons, 2 laptops and some added equipment necessary for mission deployment (like anchors). Even though we managed to gather useful data, there was a problem with one of the Seacon's fin servos, and thus we were forced to retreat to Mar Menor lagoon and replace the failed servo motor. After this, the team returned to the Mediterranean Sea, and after redeploying the first beacon, the cable connecting the Manta Gateway to

the transducer, got stuck underneath the boat. It had been caught by the propeller blades and the divers had to intervene to get it unstuck. The cable had been torn apart by the blades, yet luckily, the transducer was still on the other end of the cable. This event ended our first day at sea.

The next day's poor weather gave us the necessary time to fix the cable.

On the 5th of November, operations were resumed, again with the Rodman 800 in the Mediterranean Sea. This time, no problems were found and Seacon covered the areas shown in the results section.

4. TEAM COORDINATION

This experiment required the simultaneous deployment of several AUVs at different operational areas. The locations of the different deployments were partly defined a priori according to weather models predicting the plume direction according to tides. Also the deployment locations of different teams were changed according to the data being received from each deployment.

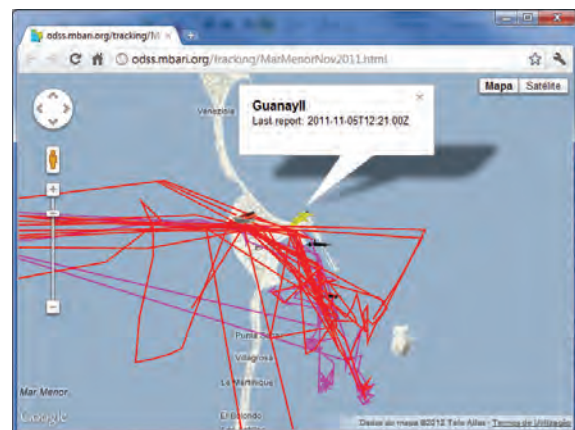


Fig. 6 – ODSS web interface showing device position updates and tracks.

In order to receive data from surveys as soon as possible and thus maintain a good situational awareness at the control station, MBARI contributed their own ODSS web-based tool (Das, 2011) to the experiment. ODSS provides a web interface where it is possible to access the data being uploaded by the different teams in any of the supported formats (NetCDF or comma separated values). Moreover, ODSS provides an API for accessing and updating device positions. These positions and the resulting device tracks are also displayed in a map and updated in real-time (see figure 6).

The experiment also relied on a central coordination team that continually monitors the team positions and inspects incoming data. According to this data and using radio and other web-based communication means, the coordinator would request new survey locations to the teams.

5. RESULTS

The two areas where the Seacon vehicles operated, presented distinct mean salinity levels. However, the standard deviation for these mean levels was very low. This section presents the results obtained by the Seacon AUV in the Mar Menor experiment.

Figure 7 depicts a map of the salinity measured near port Los Narejos. As it can be inferred from the picture, the salinity level was near 41.9 PSU, which is fairly higher than the Atlantic Ocean and Mediterranean Sea, as expected. The deepest measurements were taken at 2 meters, since that's as deep as the area is.

Figure 8 depicts a map of salinity generated using measurements taken in three different areas of the Mediterranean Sea, near to Isla Grossa.

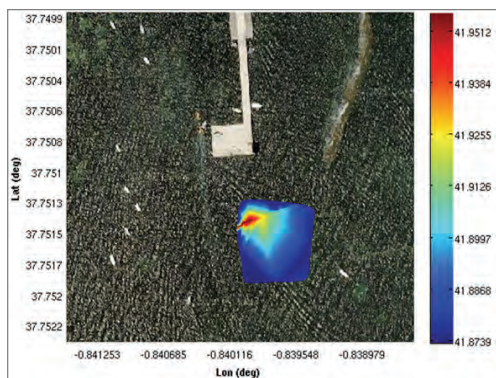


Fig. 7- Results obtained in Mar Menor near port Los Narejos.

Measurements were taken from 3 to 8 meters of depth. Having only a rough estimate of the water column's depth (around 12 in that area), and not having an altimeter on-board Seacon, the decision was made not to let it go any deeper than 8 meters.

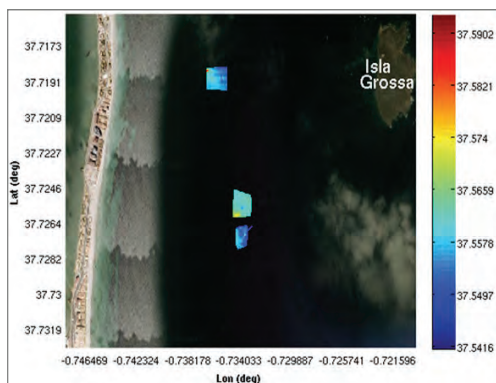


Fig. 8 - Results obtained in the Mediterranean Sea.

6. CONCLUSIONS

The use of ODSS to coordinate the positions of the several teams had mixed results. In one hand, it was possible to follow the positions of all the support boats but the update frequency was very low at 10 minutes between each update. In the case of fast

boats like RHIBs, this update frequency was notoriously too slow to “understand” the movements of the boats.

In the case of deployment updates, vehicles that had support for ODSS could be followed almost in real-time. In the case of Seacon vehicles, position updates could be received even while the vehicle was underwater since these updates were being sent by the operating console that was attached to a Manta gateway that receives state updated using its acoustic modem.

As far as the obtained Seacon results are concerned, even though the plume in the Mediterranean was not found (the salinity did not change as much as expected), a large area was covered and several measurements were taken.

The only limitation on the amount of area that could be covered has to do with the vehicle's dependency on the LBL positioning system. It limits the operational area, since the vehicle must not navigate too far from the beacons, in order to keep reliable navigation accuracy.

In the future, a better approach for an experiment such as this one (to cover a large area with CTD casts), would be to use dead-reckoning navigation, and surface from time to time to get a GPS fix. This naturally implies not using LBL. This way, area limitation is non-existent, and the logistic burden of LBL deployment is suppressed. Obviously, this approach deteriorates navigation accuracy, yet this parameter is not critical in what concerns CTD measurements.

7. REFERENCES

- González, J. *et al* (2012). AUV Based Multi-vehicle Collaboration: Salinity Studies in Mar Menor Coastal Lagoon. *in proceedings of NGCUV workshop*, Porto, April 2012.
- Das, J. *et al* (2011). Coordinated Sampling of Dynamic Oceanographic Features with AUVs and Drifters, *IROS Workshop on Robotics for Environmental Monitoring*, San Francisco, September 2011.
- Sousa, A. *et al* (2012). LAUV: The Man-Portable Autonomous Underwater Vehicle. *in proceedings of NGCUV workshop*, Porto, April 2012.

Geologia Marinha

Erosion of rocky shores- protection promoted by sandy beaches and shore platforms

D. Moura (1), S. Gabriel (1), J. Jacob (1), C.J.E.M. Fortes (2), P. A. Silva (3),
J. Horta (1) e T. Abreu (4)

(1) Universidade do Algarve, Centro de Investigação Marinha e Ambiental (CIMA), Campus de Gambelas, 8005-139, Faro. dmoura@ualg.pt

(2) Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Av. do Brasil, 101. 1700-066 Lisboa.

(3) Universidade de Aveiro, & CESAM, Campus Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro.

(4) Instituto Politécnico de Viseu & CESAM, ESTGV Campus de Repeses, 3504-510 Viseu.

Resumo: O sector costeiro do Algarve central entre as praias da Galé e Olhos de Água deve a sua fisiografia crenulada a um sistema cársico bem desenvolvido em rochas carbonatadas. As arribas possuem no sopé uma plataforma litoral rochosa ou uma praia arenosa. Os principais objectivos do projecto de investigação EROS são: (i) a quantificação da dissipação da energia das ondas ao longo de plataformas litorais e de praias arenosas com diferentes declives e exposição às ondas; (ii) a caracterização da refração e difracção das ondas e da modificação das correntes forçadas pelo controle morfológico. A metodologia base centra-se na aquisição de dados de ondas e correntes utilizando transdutores de pressão e correntómetros colocados em transeptos normais à linha de costa, de modo a obter o espectro completo de ondas e correntes, desde a água profunda até aproximadamente à base das arribas, quer nas plataformas quer nas praias.

Palavras chave: Algarve, costa rochosa, plataforma litoral, ondas, correntes.

Keywords: Algarve, rocky coast, shore platform, waves, currents.

1. INTRODUCTION

The ability and extent of waves on quarrying the cliff foot depends on the structure connecting the cliff with the sea floor (shore platform or sandy beach). Medium-term (centennial) cliff retreat has been reported as mainly controlled by the shore platform morphology on the cliff foot as well as by hydrodynamic processes acting on it (Duperret *et al.*, 2005; Walkden and Hall, 2005; Pierre, 2006; McGlashan *et al.*, 2008). The widening of the shore platform driven by several processes including the cliff retreat, leads to the successively topographic elevation of the cliff-platform junction and to wave energy dissipation, and therefore to the decrease of the recession rate through a negative feedback (McGlashan *et al.*, 2008). Where beaches develop at the cliff toe, the coastal equilibrium correlates positively with beach width, which responds very rapidly to changes on waves and tides characteristics (Morisawa and King, 1974). The ongoing research project named *Erosion of Rocky Shores-differences in protection promoted by sandy beaches and shore platforms* (EROS) aims, among other objectives: (i) to quantify the amount of the wave energy dissipation upon both shore platforms and sandy beaches; (ii) to characterize the wave and current fields and its dependency on the local beach morphology. Two study sites differently exposed to the incident waves are considered. This work presents the results of a field experiment, which led to the proposal of the EROS project. The data were

collected in December 2009. Furthermore, two recent field campaigns made during March 2012 are also described.

2. STUDY AREA

The coastal zone of the centre Algarve between Galé and Olhos de Água (Fig.1) displays a complex karstic morphology leading to a strong morphological control of the hydrodynamic processes. Cliffs exposing near horizontal carbonate rocks back both shore platforms and beaches. Sandstones filling the palaeo relief into the carbonate rocks may reach the rocky cliffs lowermost portions. This crenulated shore with pocket beaches bounded by headlands and shore platforms, offers suitable conditions as a case study. It enables to quantify and compare the behaviour of waves and currents over both shore platforms and the adjacent beaches during the same time span and offshore conditions, but with different obliquity when approaching the coast. The waves incoming from WSW represent 72% of the year. Off the Algarve, the wave height ranges from 0.30 m to 1.8 m, with rare exceptional heights surpassing 3.7 m. Such high waves are usually associated with storms from the SW sector, during which waves attain an averaged height of 2-3 m with a period of 7-8 s (Costa *et al.*, 2001). The Algarve coast experiences a semi-diurnal mesotidal regime ranging from 2.70 to 1.36 m during neap tides and from 3.82 to 0.64 m during spring tides (Instituto Hidrográfico, IH, 1990).

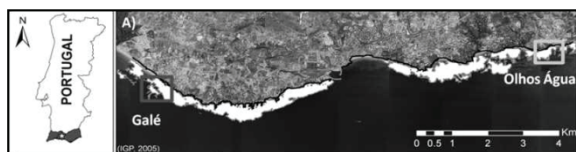


Fig. 1. Location of the study area.

3. FIELD CAMPAIGN DECEMBER 2009

3.1- Methods

Four pressure transducers (pt) were used in order to simultaneously acquire the wave heights (H) and periods (T) crossing two shore platforms at different angles to the incident waves. Thus, two pressure transducers were used in Galé (pt1 and pt2, Fig. 2A) and the other two in Olhos de Água (pt3 and pt4, Fig. 2B). The seaward transducers (pt1 at Galé and pt3 at Olhos de Água) were positioned in the lower intertidal zone at the spring low tide level, whereas the landward pt2 and pt4 at Galé and Olhos de Água respectively were placed close to the cliff foot (Fig. 2). The height above mean sea level and geographical position were taken using a differential geographical position system (dGPS). The pt sensors were protected with stainless steel cages to prevent both the algae accumulation upon the sensors and the damage by gravel transported by waves.

3.2- Results and discussion

Changes in the direction of propagation due to variations in the group velocity may result in the increasing of wave heights when approaching the coast. During the monitored tidal cycle, the offshore wave direction was 247° and the offshore significant height (H_{s0}) was 0.9 m (IH data, Faro buoy). According to the coastline orientation, the waves approached the shoreline obliquely with angles of incidence of 65° and 25° at Galé and Olhos de Água respectively. The deep-water waves shoal at the Galé outer edge (pt1) show a statistically significant increase ($P < 0.05$) of the significant wave height (Hs) of 43%. In a sheltered position to the WSW waves, the Hs at the shore platform outer edge (pt3) at Olhos de Água, was 41% lower than H_{s0} but that Hs decrease was not statistically significant ($P > 0.05$). This difference may be explained both by the relationship between the bathymetric contours and the waves direction and the bottom morphology (e.g., Davidson-Arnott, 2010). The inner continental shelf shows a steeper morphology at Galé and waves from WSW are less oblique to the coastline than in Olhos de Água.

The water depth on the platform changes with the tide being the main factor controlling the changes of the wave height. The highest Hs was observed four hours after the beginning of flood at the outer pressure transducers, and two and one hour later at the inner ones at Galé and Olhos de Água

respectively (Fig. 3). The Hs modification along the shore platform was noted worthy different between the studied sites (Fig. 3).

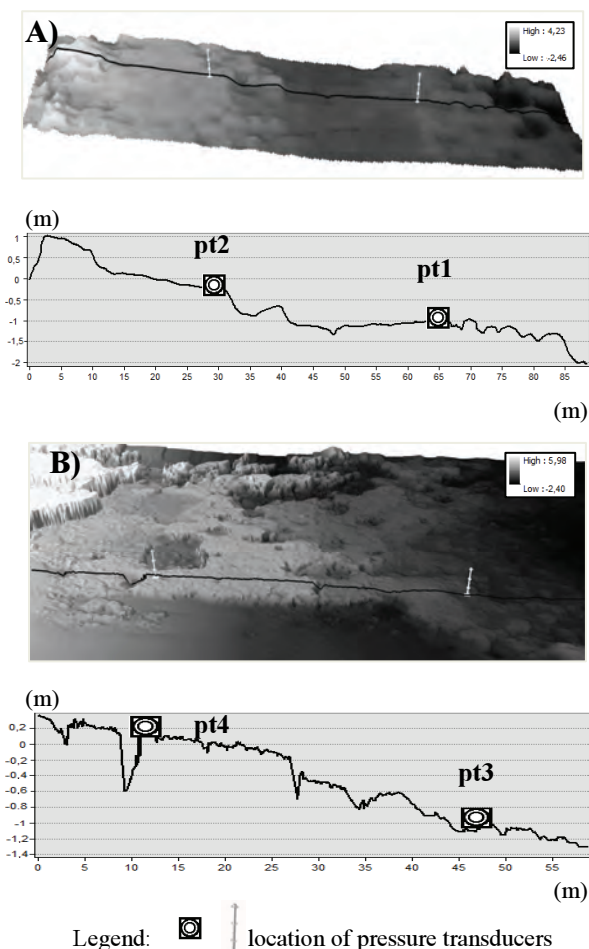


Fig. 2. Shore platforms and pressure transducers at A) Galé and B) Olhos de Água. The accuracy of images and profiles are quite different because at Olhos de Água they were produced through a laser scan survey whereas a dGPS survey was used at Galé. Elevations report to mean sea level.

The averaged wave Hs was 1.18 m at the outer pt in Galé decreasing along the platform to 0.78 m as registered in the landward pt (pt2) close to the cliff foot, representing a statistically extremely significance ($P < 0.001$) decreasing of 33%. The ratio between Hs and the water depth (H_s/h) ranged landward from 0.83 (SD=0.27) to 0.74 (SD = 0.10). Considering these thresholds and the Hs values in pt1, 65% of the waves broke before reaching the inner position at pt2. The remaining 35% of the unbroken waves crossed the shore platform breaking close to the cliff foot (pt2 position). The wave power at breaking (P_b) in the shore platform outer edge (pt1) was 10819 Kw/m at Galé decreasing to more than half (4915 Kw/m) near the cliff foot at pt2. In contrast to Galé, Hs increased from 0.53 to 0.68 m between the platform outer edge (pt3) and the landward pt (pt4) near the cliff foot at Olhos de

Água. However, the observed 28% of H_s increasing between pt3 and pt4 was not statistically significant ($P > 0.05$). Thereby, the sheltered (to WSW waves) and flatter shore platform at Olhos de Água did not show the effectiveness on dissipating the energy of the waves as observed at Galé. The H_s/h value of 0.6 was quite constant along the shore platform traducing it relative flatness with respect to the Galé site. Similarly to Galé, 64% of the incoming waves broke before attaining the inner portion of the platform. However, the remaining 36% of the waves shoaling along the platform represented a landward increasing of the P_b from 2165 Kw/m in pt3 to 3750 Kw/m pt4 close the cliff foot.

Those results show that, together with the tidal elevation, the platform slope has a major role on the wave energy dissipation as also observed by other authors (Marshall and Stephenson, 2011; Ogawa *et al.*, 2011).

4. FIELD CAMPAIGNNS MARCH 2012

Aiming to further quantify the amount of the wave energy dissipation upon shore platforms and sandy beaches, two field campaigns were recently performed (March, 8 and 22). We deployed electromagnetic current meters (ecm, *Infinity*) and pressure transducers (pt, *In Situ Level Troll 700*) in normal transects to the shoreline both in shore platform and beach (Fig. 4). Permanent fixings have been made into the rock in shore platforms using bolts and chemical dowels in order to locate the pt and ecm equipments. The near shore wave climate (currents and waves) was obtained through an acoustic doppler current meter (adp, *Sontek, Mini ADP 1.5 MHz*) anchored at the 8 m bathymetric contour. The frequency of data acquisition was 2 Hz for pt and 4Hz for adp and ecm. A cell size of 0.25 m and an averaging interval of 10 min with profiling interval of 5 min, that represents a 4 min of wave measurement, were adopted for the adp data acquisition. The experiences were performed during two tidal cycles, with simultaneous data acquisition in the shore platform and the adjacent beach, at Galé and Olhos de Água sites (Fig. 4). The present data set will be analysed in the scope of EROS project to give further insight of the waves dissipation both in the platform and beach at both study sites.

5. FINAL REMARKS AND FURTHER WORK

The role of shore platform in dissipating the wave energy is largely dependent of the coastal sector orientation and the platform slope. For the same offshore wave conditions, we observed that:

1- The waves shoaling at the steeper shelf adjacent to the well exposed site of Galé represented 63% of the H_s increase with respect to the offshore H_{s0} , whereas the H_s increase at Olhos de Água, where the waves approached with a high obliquity, was not statistically significant;

2- The shore platform at Galé was more efficient in energy dissipation than at the Olhos de Água sheltered site, where both the inner continental shelf and the shore platform are flatter;

3- H_s/h ranged landward between 0.83 and 0.74 at Galé and showed a constant value of 0.6 across the platform at Olhos de Água.

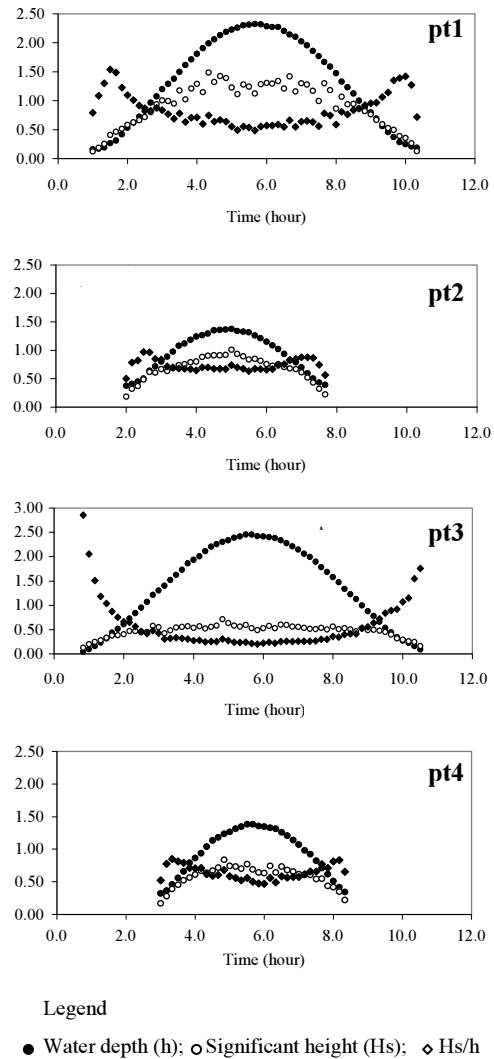


Fig.3. Measured H_s and h along the shore platforms at Galé and Olhos de Água (Fig. 2 for pt location).

Future work within the scope of the EROS project will involve: (i) the pt, ecm, adv and adp data processing, (ii) the comparison of the waves and currents behaviours both in the shore platform and adjacent beach in the study area and, (iii) the numerical and physical modelling.

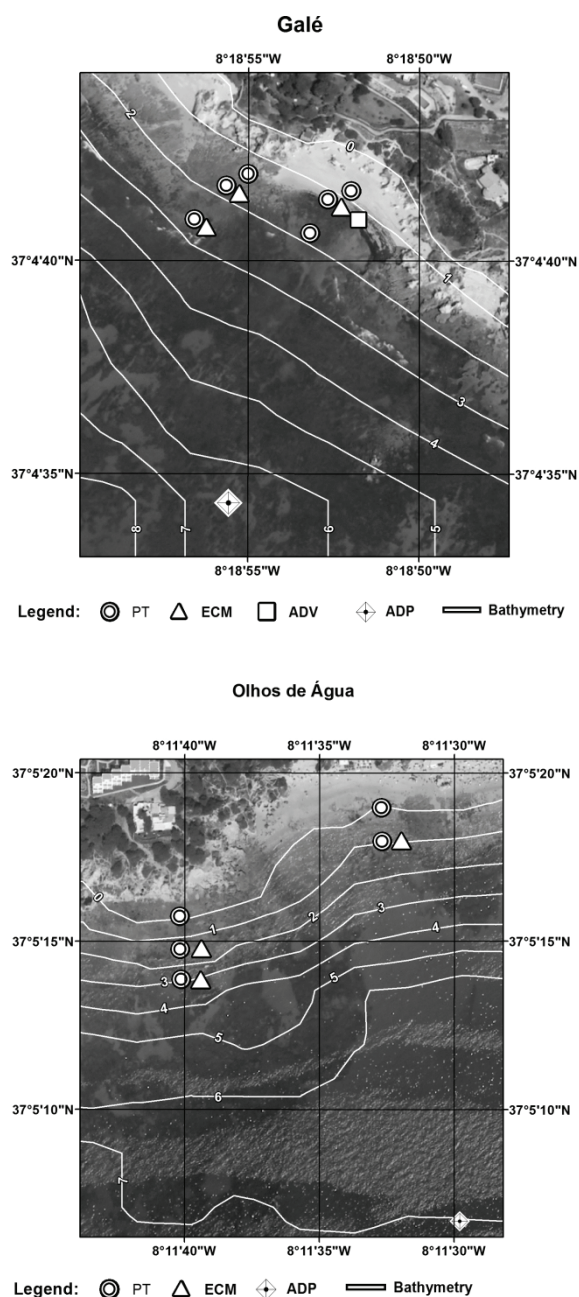


Fig. 4. Equipment position during the March field campaigns

Acknowledgments

The Research Project PTDC/CTE-GIX/111230/2009 (EROS) is supported by the Portuguese Foundation for Science and Technology (FCT). The authors thank Comandante Cruz Martins, Capitão do Porto de Portimão, the permission of field campaigns.

REFERENCES

Costa, M., Silva, R., Vitorino, J. (2001). Contribuição para o estudo do clima de agitação marítima na costa portuguesa. 2.^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária. Associação Nacional de Navegação. Sines, 20pp.

Davidson-Arnott, R. (2010). Introduction to coastal processes and geomorphology. Cambridge University Press, 442pp.

Duperret, A., Taibi, S., Mortimore, R.N., Daigneault, M. (2005). Effect of ground water and sea weathering cycles on the strength of chalk rock from unstable coastal cliffs of NW France. *Engineering Geology*, 78, 321-343.

Instituto Hidrográfico, 1990. *Roteiro da Costa de Portugal*. Lisboa, 41pp.

MacGlashan, D.J., Duck, R.W., Reidi, C.T. (2008). Unstable boundaries on a cliffed coast: Geomorphology and British laws. *Journal of Coastal Research*, 24, 1A, 181-188.

Marshall, R.J.E., and Stephenson, W.J. (2011). The morphodynamics of shore platforms in a micro-tidal setting: interactions between waves and morphology. *Marine Geology*, 288, 1-4, 18-31.

Morisawa, M., King, C.A.M., (1974). Monitoring the coastal environment. *Geology*, 2, 385-388.

Ogawa, H., Dickson, M.E., Kench, P.S. (2011). Wave transformation on a sub-horizontal shore platform, Tatapouri, North Island, New Zealand. *Continental Shelf Research*, 31, 1409-1419.

Pierre, G., (2006). Processes and rate of retreat of the clay and sandstone sea cliffs of the northern Boulonnais (France). *Geomorphology*, 73, 64-77.

Walkden, M.J.A. and Hall, J.W. (2005). A predictive mesoscale model of the erosion and profile development of soft rock shores. *Coastal Engineering*, 52, 535-563.

Longshore drift: experimental and empirical predictors. The example of the Ebro Delta

M. Ribeiro (1, 2), F. Barrio (3), R. Taborda (2, 4), J. Cascalho (5, 6), I. Bosnic (1, 2), I. Rodríguez (3) e M. Sanchez (3)

- (1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 49, 1249-093 Lisboa, Portugal. monica.ribeiro@hidrografico.pt
 (2) Instituto Dom Luiz, Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisboa
 (3) Departamento de Biología y Geología, Universidad Rey Juan Carlos, Madrid
 (4) Departamento de Geología da FCUL, Campo Grande, 1749-016 Lisboa
 (5) Centro de Geologia da FCUL, Campo Grande, 1749-016 Lisboa
 (6) Museu Nacional de História Natural (UL), Rua da Escola Politécnica 56/58, 1250-102 Lisboa

Abstract: Longshore sediment plays a major role in coastal evolution; however its quantification still rely on empirical formulas calibrated with disparate field techniques. This work aims to evaluate and compare the longshore drift estimated by empirical formulations and experimental predictors. In order to achieve this objective it was carried out a field campaign at El Fangar spit (Ebro Delta, Spain), involving a fluorescent tracer experiment, suspended sediment estimation (with sediment traps and optical backscatter sensors -OBS) and measurement of waves and currents (with a pressure transducer and an electromagnetic current meter). The longshore transport rate estimated with tracer data are of the same order of magnitude than rate computed with the standard energy longshore flux method and one order of magnitude higher than the rate estimated with OBS data.

Keywords: longshore sediment transport, fluorescent tracers, optical backscatter, sediment traps, Ebro Delta

1. INTRODUCTION

The prediction of sediment transport has important applications in coastal process studies. Intense efforts have been made to predict sediment transport, with the development of empirical formulas based on laboratory tests and field experiments data (e.g. Komar and Inman, 1970); and with the development and application of different techniques to direct field measurements, such as sediment accumulation in harbours or groins, streamertraps, sand tracers, optical and acoustic sensors (e.g. Rosati *et al.*, 1991; Taborda *et al.* 1999, Tonk and Masselink, 2005). This work aims to evaluate and compare the longshore drift estimated by empirical formulations and experimental predictors. In order to achieve this objective it was carried out a field campaign at El Fangar spit (Ebro Delta), on April 11th to 13th 2011, involving a fluorescent tracer experiment, measurement of suspended sediment concentration (SSC) and wave and current forcing.

2. FIELD SITE

Ebro Delta is located on the Spanish Mediterranean coast about 170 km southwest from Barcelona (Fig. 1). This coast can be characterized as a microtidal environment, with a maximum astronomical tidal range of 0.25 m (Lopez *et al.*, 1992 in Jiménez *et al.*, 1997). The incident waves come from three main directions: E, S and NW; however, due to the coastline orientation the S and E direction are those that play a major role in coast processes. Significant wave height ranges between a maximum of 1 m on winter to a minimum of 0.6m on the summer, and mean periods between a maximum of 4.2 s and a

minimum of 3.5 s on the winter, and intermediate values on the summer (Jiménez *et al.*, 1997). El Fangar Spit is the result of net sediment longshore transport directed northwards from Cap Tortosa.

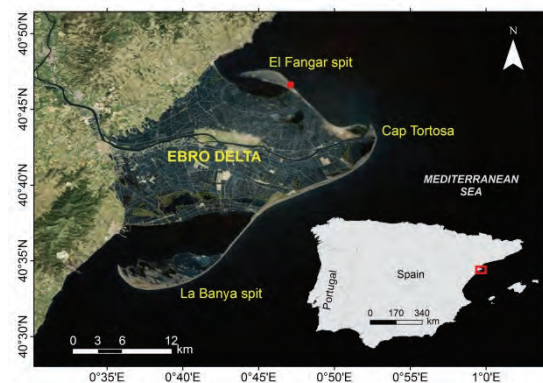


Fig.1. Location of Ebro Delta (red rectangle and field site location (red point)).

3. METHODS

3.1. Morphological data

Topography of beach profile was acquired on April 11th, by a differential GPS survey. The short term profile changes and mixing depth were evaluated by measuring rod height as well as the thickness of the sediment over the loose-fitting washers, placed at each rod across the beach profile.

3.2. Hydrodynamic data

During the tracer experiment simultaneous measurements of waves and currents time-series were obtained using a pressure transducer (PT) and

an electromagnetic current meter (EMCM), respectively, placed at a fixed structure in the outer surf zone. On April 13th (10:30-11:20) the instruments were deployed on a mobile structure to measure the hydrodynamic conditions, at six different locations across the surf zone profile, for ≈10 min in each one. Wave parameters (height and period) were computed using standard spectral analysis.

3.3. Sediment data

Measurements of suspended sediment concentrations were taken using two optical backscatter sensors (OBS), at the same time and locations where the PT and EMCM were placed. The OBS voltage signal (mV) was converted into sediment concentration (kgm⁻³) using the average concentration of 10 minutes obtained with streamer traps following the design of Kraus (1987). The streamer bags had a 100 micron sieve cloth mesh size and an opening of 4×40 cm, with a distance between streamers of 5.5 cm. Tow sampling with streamer were performed close to the OBSs, the first one on April 11th and the second one on April 12th. Bottom sediment was manually collected in the vicinity of the deployment site. Only the concentration of the streamer bag placed at the same height of the OBS was used for calibration, and only the OBS furthest from the bottom was analysed, due to the signal saturation of the OBS nearest the bottom.

3.4. Tracer data

Total sediment transport was measured using fluorescent sand tracers by the spatial integration method. About 100 kg of tracer were injected in the surf zone on April 11th (12:15). After tracer injection the beach sediment were sampled three times (14:10, 16:45 April 11th and 9:50 April 12th) in a sample grid, defined according to the observed longshore current behaviour, which included several cross-shore profiles in the submerged beach. All the collected samples were photographed using a digital camera coupled to the SAND BOX© (Bosnic *et al.*, 2011) with UV lights to detected the tracer. The images of samples were analysed and grains of tracers were visually counted. It was assumed that the surface distribution (≈ 5 cm) was representative of the tracer distribution in depth.

The tracer centre of mass (y_{cm}) was found by:

$$y_{cm}(t) = \frac{\sum_{x,y} N(x,y,t)y(t)}{\sum_{x,y} N(x,y,t)} \quad (1)$$

where N is the number of grains counted in a bi-dimensional grid (y – longshore and x - cross-shore) and t is the elapsed time since tracer injection. Tracer centre of mass velocity (\bar{V}) was computed by:

$$\bar{V} = \frac{y_{cm}(t_2) - y_{cm}(t_1)}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

where $y_{cm}(t_1)$, $y_{cm}(t_2)$ are the tracer center of mass positions at time t_1 and t_2 .

3.5. Longshore sediment transport

The total sediment transport (Q) was computed thought the tracer data by the formulation given by Komar and Inman (1970):

$$Q = bX_b\bar{V} \quad (3)$$

where b is thickness of the mixing layer of sand and X_b is the width of beach under the influence of the breaking waves.

Total sediment transport was also obtained using the measurements of suspended sediment concentrations, longshore current velocity and water depth in a cross-shore profile of the surf zone.

The time-average flux of sediment along-shore $q(x,z)$ in kgm²s⁻¹ is a function of both distance offshore (x) and elevation from the bottom (z), and can be computed from:

$$q(x,z) = q_0(x)p(x,z) \quad (4)$$

where $q_0(x)$ is the flux at the bottom ($z = 0$) and $p(x,z)$ is the profile function. As observed in sediment collected with streamers during the experiment and in comparable field studies (*e.g.* Rosati *et al.*, 1991; Taborda *et al.*, 1999) the flux profile can be described by a simple exponential function whose shape is independent of the measurement location in the surf zone:

$$p(x,z) = p(z) = e^{-a(z/h)} \quad (5)$$

where a is the decay parameter of the flux profile over the water column. Therefore, the total longshore transport, between the shoreline ($x = 0$) and the breaker line ($x = x_b$), can be calculated from:

$$Q = \int_0^{x_b} \int_0^{h(x)} q_0(x)e^{-a(z/h)} dz dx \quad (6)$$

where $h(x)$ is the water depth.

Since the $p(z)$ is independent of the measurement location, the decay parameter for the field site was computed using the fluxes (kgms⁻¹) measured with streamers traps. The fluxes of each streamer were normalized by sediment flux of the streamer nearest to the bottom ($z = 0.04$ to 0.05 m). In order to solve equation (6) it was necessary deduce $q_0(x)$ from the knowledge of the flux at height z , assuming an exponential profile:

$$q_0 = q_z e^{a(z/h)} \quad (7)$$

Time-average flux of sediment at height z (q_z in kgm⁻²s⁻¹) was computed through the product of longshore current velocity and suspended sediment concentration estimated with *in situ* calibrated OBS data acquired at a distance of 0.23 m from the bottom.

3.6. Empirical formulas

Experimental results were compared with the empirical formula given by Komar and Inman (1970):

$$I_l = KP_l = K(EC_n)_b \sin\alpha_b \cos\alpha_b \quad (8)$$

where I_l is the immersed weight transport rate, K is an empirical coefficient equal to 0.77 and P_l is the longshore component of wave energy flux, where E is the total wave energy ($1/8 \rho g H_{rms}^2$, ρ is sea water density, g is the gravitational acceleration and H_{rms} is the root mean square wave height), C_n is the wave group velocity ($\sqrt{g D_b}$, D_b is the depth at breaker zone) and α_b is the wave breaker angle. The relation between I_l and volumetric sand transport rate (Q) is given by:

$$I_l = (\rho_s - \rho)(1 - p)gQ \quad (9)$$

where p is the sand porosity (0.4).

4. RESULTS

The morphology of El Fangar beach is characterized by a short beach face articulated with a wide terrace, and according to the model of Masselink and Short (1993) can be classified as a dissipative beach with multiple bar. The median diameter of suspended and bottom sediments collect at the surf zone ranged between 2.34Φ and 2.73Φ (fine sand). The analysis of time-averaged series showed that incident wave height at measuring site were quite regular during the campaign with mean significant height (H_s) of 0.25 m and mean zero crossing period (T_z) of 4 s. Time-averaged longshore current increased from 0.14 ms^{-1} on April 11th to 0.62 ms^{-1} on April 12th and decreased to 0.24 ms^{-1} on April 13th. Current direction was dominated by the southward component; however, in some periods the current was directed northwards, but with weak intensities (Fig. 2).

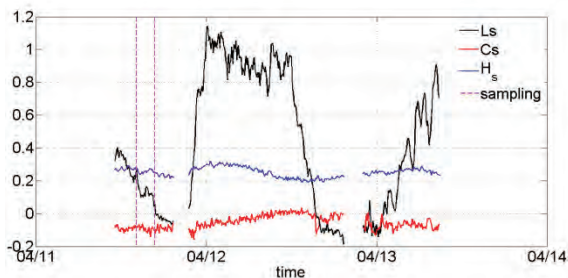


Fig.2. Time averaged series of the current velocity in longshore - L_s and cross-shore - C_s direction (ms^{-1}) and significant wave height, H_s (m). Dashed lines represent the time of first and second tracer sampling.

4.1. Sand tracers

The analysis of sediment images acquired during the tracer experiment showed that only the two first sampling phases contained tracer particles, but only the results obtained in the first sampling (that took place approximately 2h after injection) will be exploited in this work. Results show that the tracer mass centre was displaced 22 m down drift of the injection point, with an average advection velocity of $3.2 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Fig.3). Longshore transport rate, computed through the product of the active layer cross sectional area (deduced by rod measurements -

Fig.4) by tracer advection velocity, was estimated in $6.9 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

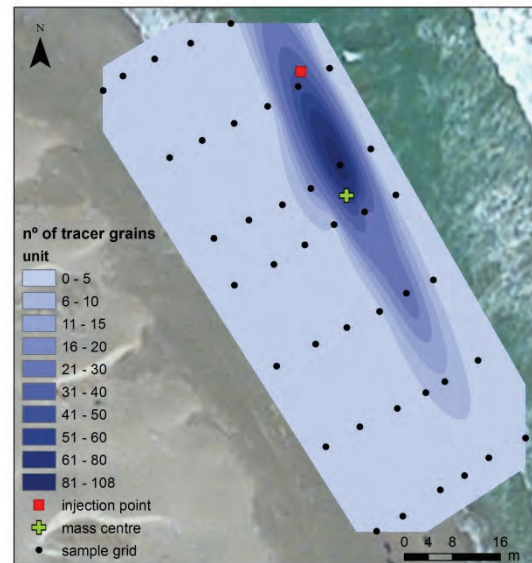


Fig.3. Sample grid, mass centre and distribution of the n° of tracer grains counted after 2h.

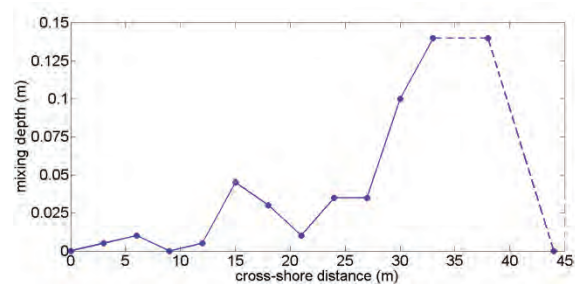


Fig. 4. Mixing depth measured between 11:25 and 15:25, April 11th.

4.2. OBS

The cross-shore variation of sediment and hydrodynamic parameters was measured on April 13th (Fig. 5). Measured variables included water depth, significant wave height, longshore current and suspended sediment concentration (the latter two variables were measured at 0.23 m from the bottom; SSC data was used to deduce bottom sedimentary flux). Cross-shore profile exhibited the expected pattern, with the highest sediment fluxes located at the breaking point, decreasing towards offshore and onshore. A secondary local maximum, located at the surf zone, was also measured, in relation to the presence of a low amplitude sand bar. Considering that the incident wave height was relatively constant during the entire experiment, it was assumed that the shape of cross-shore profile for the longshore current and SSC was invariant. This allowed the computation of the total longshore transport rate, based on the concentration and current measurements at the fixed structure, since the OBS and EMCM at this structure were placed at the same height of the mobile structure. The longshore transport rate estimated was 1.4×10^{-4} .

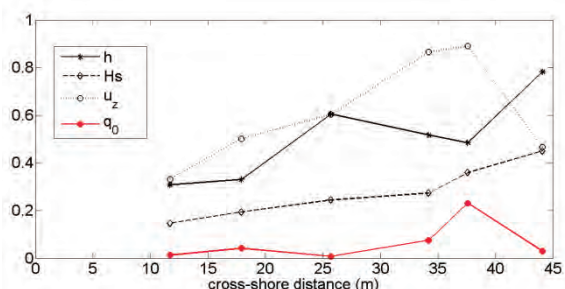


Fig. 5. Cross-shore distribution of water depth, h (m); significant wave height, H_s (m); current velocity in longshore direction at 0.23 m from the bottom, u_z (ms^{-1}) and sedimentary flux at the bottom, q_0 ($kgm^{-2}s^{-1}$).

4.3. Empirical estimates

The estimation of the longshore drift by the energy flux method was made considering a significant wave breaking height of 0.36 m at a depth of 0.48 m, measured the breaker point (Fig.5), since incident wave height conditions during experiment were almost invariant. The breaking wave angle was estimated through the direction of the wave orbital velocity ($\approx 12^\circ$). The computed rate was $3.1 \times 10^{-3} m^3 s^{-1}$.

5. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The longshore drift estimates using the energy flux method and field data are summarized in Table I.

Table I. Total longshore transport rates

Method	Q ($m^3 s^{-1}$)
Tracers	6.9×10^{-3}
OBS	1.4×10^{-4}
Empirical formula	3.1×10^{-3}

The longshore drift estimated by sand tracers and empirical formula is of the same order of magnitude. The rate estimated with the suspended sediment data is one order of magnitude lower than computed by empirical formulation and tracer data, as already observed by other authors. Taborda *et al.* (1999), in a reflective beach context, explained these differences with the fact that the OBSs cannot measure the transport in swash zone; however, in this case, as data was collected in a dissipative beach, swash zone transport cannot justify the observed discrepancy. The same authors and Tonk and Masselink (2005) also justify the disagreement between transport rates with the fact that the extrapolation of the exponential vertical suspended flux profile to the bed, does not account for bed/sheet flow component of total sediment transport, which probably represents a large fraction of the longshore drift.

The comparison of the estimates obtained using different field methods and empirical formulation put in evidence the differences between the assumptions of each method and contributes to build

a unified perspective on longshore sediment transport estimation.

Acknowledgements

This work is a contribution of the projects "Determination of morphodynamic relationships and sediment transfer mechanisms in the beach-dune system and its variation under different climate scenarios. Application to the Ebro River delta system", funded by the Ministry of Science and Technology of Spanish State, and "Sand beach textural and compositional variability as indicator of sedimentary dynamics", funded by Portuguese Foundation for Science and Technology.

REFERENCES

Bosnic, I.; Cascalho, J.; Taborda, R.; Ribeiro, M.; Oliveira, A.; Rodrigues, A. and Lira, C. (2011). Textural characterization of the beach active layer. *Journal of Coastal Research*, SI 64, 40-44.

Jiménez, J. A.; Sánchez-Arcilla, A.; Valdemoro, H. I.; Gracia, V. and F. Nieto (1997). Processes reshaping the Ebro delta. *Marine Geology*, 144, 59-79.

Komar, P. and Inman, D. (1970). Longshore sand transport on beaches. *Journal of Geophysical Research*, 75, 5514-5527.

Kraus, N.C. (1987). Application of portable traps for obtaining point measurements of sediment transport rates in the surf zone. *Journal of Coastal Research*, 3(2): 139-152.

Masselink, G. and Short, A.D. (1993). The effects of tide range on beach morphodynamics and morphology: a conceptual beach model. *Journal of Coastal Research*, 9, 785-800.

Rosati J.D.; Gingerich K.J.; Kraus N.C.; Smith J.McK. and Beach R.A. (1991). Longshore sand transport rate distribution measured in Lake Michigan, *Coastal Sediment '91*, vol.1, 156-169.

Taborda, R.; Ciavola, P.; Ferreira, Ó. and Dias, J.M. (1999). Measurements of suspended sediment transport on a reflective mesotidal beach in Southern Portugal. *Boletín del Instituto Español de Oceanografía*, 15(1-4), 229-241.

Tonk, A. and Masselink, G. (2005). Evaluation of longshore transport equations with OBS sensors, streamer traps, and fluorescent tracer. *Journal of Coastal Research*, 21, 915-931.

New insights into image analysis applied to beach grain-size variability

I. Bosnic (1, 2), H. Sousa (3), J. P. Cascalho (4), R. Taborda (2), M. Ribeiro (1, 2) e C. Lira (3)

- (1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 49, 1249-093 Lisboa. ibosnic@fc.ul.pt
- (2) Instituto Dom Luiz, Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisboa
- (3) Centro de Geologia da FCUL, Campo Grande, 1749-016 Lisboa
- (4) Museu Nacional de História Natural (UL), Rua da Escola Politécnica 56/58, 1250-102 Lisboa

Abstract: In the last years, image analysis emerged as an efficient tool to perform sediment textural analysis. This work aims to improve and simplify both image acquisition (*in-situ*) and processing techniques of beach textural data, supporting the study of the textural variability. Research efforts have focused on the development of a simplified lightweight hardware (SAND BOX©) and on the adaptation of an autocorrelation based software algorithm that can process a large set of images expeditiously. As a final product, it was created a standard procedure that provides the sediment median grain-size directly from the acquired images without any type of calibration. The validation process shows that the median grain sizes obtained from image analysis are highly correlated with the sieving results ($R^2=0.90$ using 169 samples), which attests the method reliability.

Keywords: median grain size, image analysis, autocorrelation, validation

1. INTRODUCTION

Image analysis (IA) has been successfully applied to the study of grain-size analysis and has become an efficient tool to perform this task expeditiously on unconsolidated sediments (Carbonneau *et al.*, 2004; Buscombe *et al.*, 2008; Pina and Lira, 2009; Rubin *et al.*, 2010). As this technique can be applied in the field, it provides not only almost real-time grain-size analysis but can also extend the conditions where the use of grain-size analysis is performed. In fact, since the requirements for sediment sampling are no longer needed it is possible to measure grain-size at the bed surface (the part that interacts directly with a flow), thus replacing the greased-plate technique for sampling only surficial sediment. Other advantage is to make possible to measure vertical profiles in grain-size at a sub-millimeter resolution (Rubin, 2004).

The first generations of image analysis methods, using digital images, were designed to be automated. These algorithms (e.g. Butler *et al.*, 2001; Sime and Ferguson, 2003; Graham *et al.*, 2005) use image segmentation and thresholding which give a robust estimate of grain size distributions for coarse gravels. However, problems remain with these methods, such as those related with segmenting grains from samples containing a large range of colors and minerals. Due to this restriction, Rubin (2004) proposed a new method for estimating grain-size based on the spatial distribution of image intensity (spatial autocorrelation). The author suggested that, through the use of careful calibration correlograms for images containing known sediment sizes, reliable estimates of mean grain-size could be found by comparing the correlogram from a sample image with the calibration catalogue, through a simple least-squares

problem. The technique has been validated for use on sand-sized sediment by Rubin *et al.* (2007) and Barnard *et al.* (2007).

Nevertheless, the application of this autocorrelation method still have limitations because it relies on the necessary calibration catalogues, on a high-cost device for taking standardized sediment images (Chezar and Rubin, 2004; Rubin *et al.*, 2007) and also on the lack of consistency of the developed algorithm to obtaining grain-size distribution curves. In order to overcome the limitations outlined above, this work describes an improved methodology, designed to obtain exclusively the median grain-size (D50) of sandy samples in the field, without the need of any type of calibration. This procedure includes both image acquisition and processing techniques (for surficial images and vertical sequences) and targets portability and usability.

2. METHODS

2.1. Hardware development

This stage consisted on the development of an “in-house” image acquisition system (SAND BOX©) where a compact 14 megapixels digital camera is attached to a portable wooden box at a fixed distance from the sediment (7.5 cm). The device is equipped with a LED illumination system that aims a homogeneous light distribution over the target area. The SAND BOX© is made by two modules. The upper one contains the camera holder outside and the LED lights inside and it is used for acquiring images from surficial sediment (Fig. 1 A). Within the lower module there is a support for a PVC core that, after being sectioned, slide between the two modules for obtaining a succession of images from the vertical sediment sequence (Fig. 1 B).

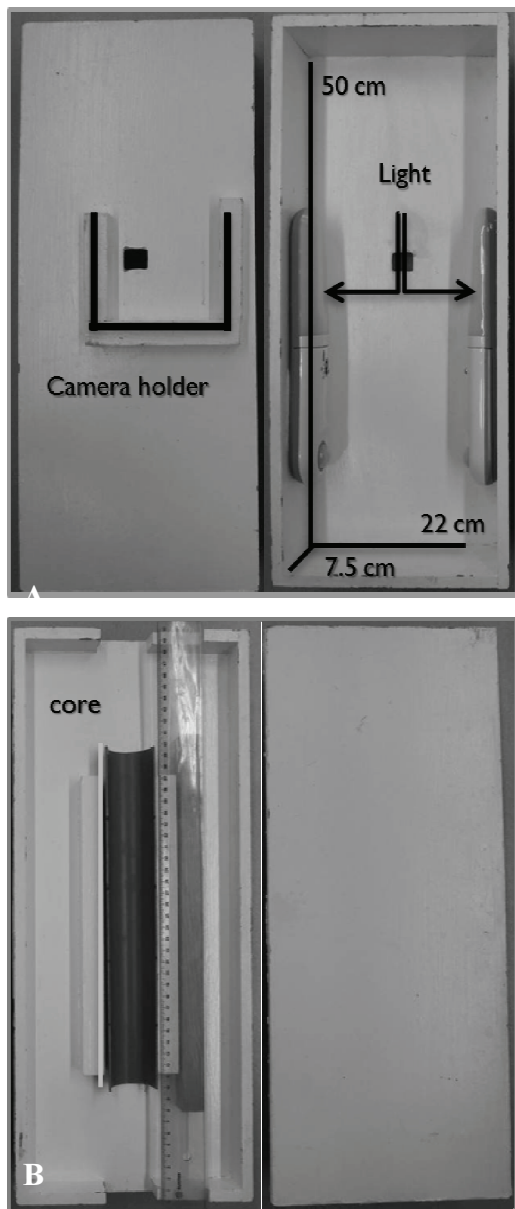


Fig. 1. SAND BOX. A) Upper module. B) Lower module

2.2. Software development

Image processing was based on the algorithm proposed by Barnard *et al.* (2007), which has been improved, mainly, in what concerns the computation of the sediment median grain-size without any type of calibration and the adaptation of the algorithm to analyze images acquired from vertical sequences. To allow the computation of D50 directly from sediment images without the need of calibration catalogues, a conceptual model that relates the lag size or offset (associated with a predefined autocorrelation value) with the sediment median grain-size was developed. To define the optimal autocorrelation value it was performed a systematic analysis of several autocorrelation curves from various sieved grain-size fractions. This analysis revealed that the best discrimination between grain size fractions is found when the autocorrelation is

equal to 0.5. Independently, Buscombe *et al.* (2010) also found a similar relation on their work. The software development started with the autocorrelation computation of images from the sieved fractions. Then, the obtained offsets and the corresponded sieving median grain sizes have supported the creation of the following model:

$$D50 = 0.0204 \times \text{offset}^{1.2982} \quad \text{Eq. 1}$$

A fluxogram representing the algorithm of this model is shown in figure 2 .

The Matlab® scripts are freely available on <http://sandcode.fc.ul.pt/ImageAnalysis.html>.

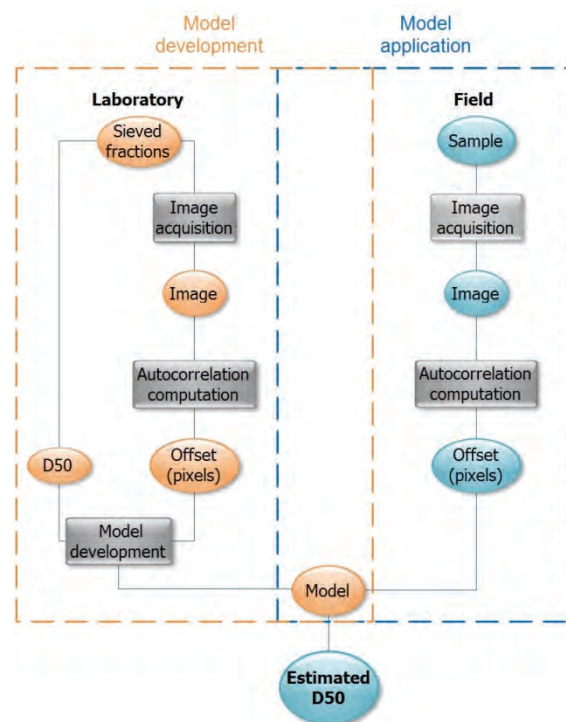


Fig. 2. Work flowchart representing the software development and its application in order to obtain the sample median grain-size (D50).

2.3 Method extension to sedimentary vertical sequences

For analyzing images from vertical sediment sequences, the same existing algorithm was revised in order to create a specific routine to this kind of samples.

In the IA process of vertical sediment sequences, the images are firstly cut to restrict the target area to be filled with sediment. After that, the autocorrelation computation is made for each set of 32 lines (pixels) using a moving average. As a final result a median grain-size value, for each centimeter layer, is obtained. Vertical resolution was chosen considering sample representativeness and the scale at which beach sedimentary processes occur (Bosnic *et al.*, 2011). However, the layer thickness to be analyzed is totally flexible and depends only on the digital camera resolution.

The figure 3 shows the IA process applied to the analysis of a short beach core.

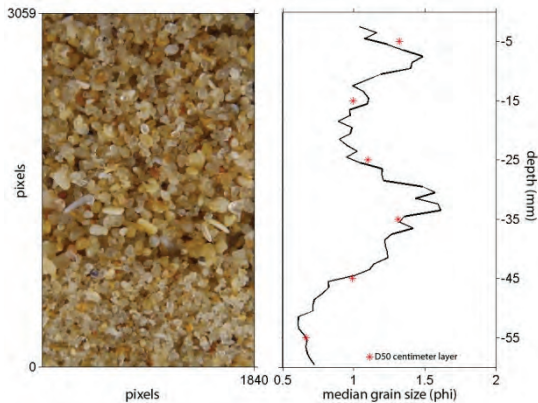


Fig. 3. Example of image analysis of a small core performed at the beach face.

3. VALIDATION

Method validation was supported by a set of 169 samples of beach sediment collected in the scope of a coastal monitoring program being developed for the coast under the jurisdiction of the Administração da Região Hidrográfica do Tejo, I.P. (Andrade *et al.* 2010). The sampling was conducted in order to collect sediment only from the most surficial layer. These samples were sieved and photographed in laboratory. The acquired images were processed according to the model application described on figure 2. After that, both median grain size results were represented on a scatterplot (Fig.4).

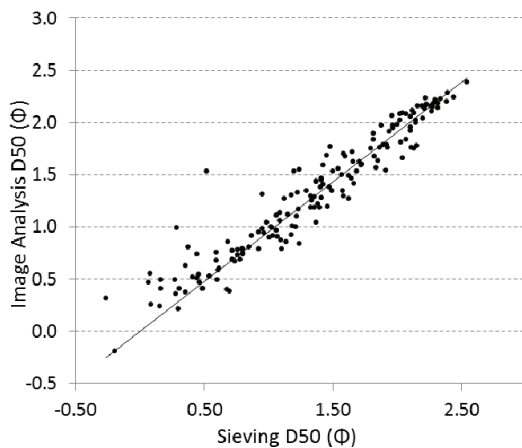


Fig. 4. Scatterplot of 169 median grain sizes obtained through image analysis and sieving ($R^2 = 0.90$).

The method validation revealed an excellent correlation between the image analysis and sieving results, with a determination coefficient (R^2) of 0.90 and a standard error of the estimate (SEE) of 0.2 Φ . Nevertheless, within the scatter plot we can observe that some samples are anomalously deviated from the trend line.

The deviated samples were identified and its statistical parameters obtained from sieving data

were analyzed in order to inspect if there is any relation between sediment sorting and the error of the image analysis method. Non-systematic visual observation showed that samples with high deviations were often poorly sorted. Based on that, both grain-size parameters were represented in a scatterplot (Fig. 5).

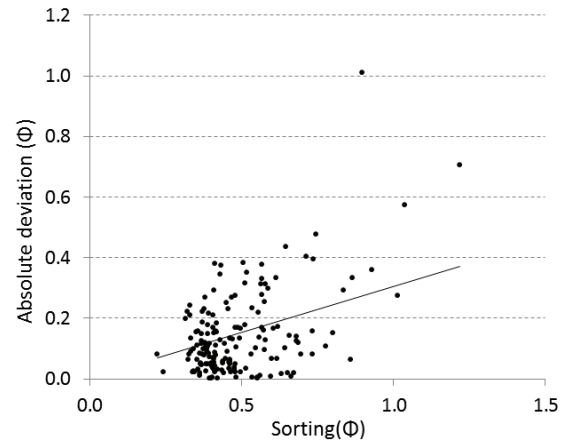


Fig. 5. Scatterplot of absolute deviation between sieved and image analysis D50 and the sorting coefficient.

As expected, there is a positive correlation between both sorting and the absolute deviation, so the proposed method performs better in moderate to moderate well-sorted sediments. Further investigation is needed to improve method application to poorly sorted sediments.

4. CONCLUSIONS

This work describes a low-cost technique for studying the textural variability of sandy beach environments. Hardware improvement consisted on the development of a portable, low-cost, image analysis device that allows the acquisition of images from both vertical sequences and horizontal *in-situ* sediments. Concerning software development, several adaptations were carried out into existing algorithms that optimize and simplify image processing. The major advantage of the new algorithm is related to the fact that it does not require any kind of calibration.

Method validation was based on the comparison of the median grain-size obtained through image analysis and standard sieving methods, using a set of 169 sediment samples. Results show a high determination coefficient (0.90) between both methods which attest the reliability of the proposed methodology.

Acknowledgements

This work was undertaken as part of the project Beach Sand Code (PTDC/CTE-GEX/64592/2006). The authors would like to thank the CISML program for the availability of data which was fundamental in this article.

REFERENCES

- Andrade C, Marques F, Taborda R, Freitas MC, Silveira T, Antunes C, Barata A, Rosa T, Fortunato AB, Oliveira A, Marques da Silva J, Cabral H, Brotas V, Correia O, Branquinho C. (2010). Sistema de Monitorização no Litoral na Área de Actuação da ARH do Tejo. *Revista InfoTejo*, 9, Novembro, 1 - 10.
- Barnard, P. L., D. M. Rubin, J. Harney, and N. Mustain (2007), Field test comparison of an autocorrelation technique for determining grain-size using a digital 'beachball' camera versus traditional methods, *Sedimentary. Geology.*, 201, 180–195.
- Bosnic, I., Cascalho, J., Taborda, R., Ribeiro, M., Oliveira, A., Rodrigues, A., Lira, C., (2011). Textural characterization of the beach active layer. *Journal of Coastal Research*, SI 64, 40-44.
- Buscombe, D., G. Masselink, and D. M. Rubin (2008). Granular properties from digital images of sediment: Implications for coastal sediment transport modelling. *Coastal Engineering*, Proceedings of the 31st International Conference on Coastal Engineering, vol. 2, pp. 1625–1637, World Sci., London
- Buscombe, D., Rubin, D.M., Warrick, J.A. (2010). A universal approximation of grain-size from images of non cohesive sediment. *Journal of Geophysical Research*, 115, F02015.
- Butler, J.B., Lane, S.N. And Chandler, J.H. (2001) Automated extraction of grain-size data from gravel surfaces using digital image processing for hydraulic research, *Journal of Hydraulic Research*, v. 39, p. 1–11
- Carbonneau, P.E.; Lane, S.N.; Bergeron, N.E. (2004). Catchment-scale mapping of surface grain-size in gravel-bed rivers using airborne digital imagery. *Water Resources Research*, 40, W07202.
- Chezar, H., Rubin, D.M., (2004). Underwater Microscope System. United States Patent Office, The United States of America as represented by the Secretary of the Interior, US Patent No. 6,680,795 B2, 9 pp
- Graham, D. J., S. P. Rice, and I. Reid (2005), A transferable method for the automated grain sizing of river gravels, *Water Resour. Res.*, 41, W07020.
- Pina, P. and Lira, C. (2009). Sediment image analysis as a method to obtain rapid and robust size measurements. *Journal of Coastal Research*, SI 56, 1562 – 1566.
- Rubin, D.M. (2004). A simple autocorrelation algorithm for determining grain-size from digital images of sediment. *Journal of Sedimentary Research* 74 (1), 160–165.
- Rubin, D.M., Chezar, H., Harney, J.N., Topping, D.J., Melis, T.S., Sherwood, C.R. (2007). Underwater microscope for measuring spatial and temporal changes in bed- sediment grain size. *Sedimentary Geology* 202 (3), 402–408
- Rubin, D.M., Topping, D.J., Chezar, Henry, Hazel, J.E., Schmidt, J.C., Breedlove, Michael, Melis, T.S., and Grams, P.E. (2010). 20,000 grain-size observations from the bed of the Colorado River, and implications for sediment transport through Grand Canyon. *Federal Interagency Sedimentation Conference*, 9th, Las Vegas, Nev., June 27-July 1, Proceedings.
- Sime, L. C., and R. I. Ferguson (2003), Information on grain sizes in gravel-bed rivers by automated image analysis, *Journal. Sedimentary. Research.*, 73, 630–636.

The sedimentary processes of the Portuguese inner shelf off Almagreiro Beach (Peniche)

N. Lapa (1), A. Rodrigues (1), R. Taborda (2), J. Duarte (1) e J. P. Pinto (1)

- (1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 49, 1249-093 Lisboa, Portugal; nuno.lapa@hidrografico.pt
 (2) Faculdade de Ciências – Universidade de Lisboa

Abstract: The sedimentary processes in the inner shelf are, still, extremely difficult to measure and predict due geographic and energetic constrains in relation to the proximity to coastal area and the high energetic incidence of the physical agents such as wave action and tide regime. In order to contribute to the understanding and to the temporal and spatial variability of these systems, the inner shelf off the Almagreiro beach (Peniche) was selected to be monitored by means of multibeam, geophysical, sedimentological and oceanographic data acquisition, followed by subsequent interpretation. In this work, main observations will be described and a conceptual model for dominant sedimentological processes will be presented.

Keywords: Inner shelf, morphodynamics, sediment dynamics, Peniche

1. INTRODUCTION

The West-Portuguese coast has a high energy potential, in terms of wave and tide regime, being the wave action the main driver of near shore sedimentary dynamics.

To understand inner-shelf morphodynamics, an area of about 2 square nautical miles between the 28 m depth and the Almagreiro beach (Peniche) was selected to be studied, concerning the morphodynamics and sediment dynamics. The Almagreiro beach is located on the NE-SW coastal stretch between Peniche and Óbidos and is fully exposed to the NE Atlantic swell.

2. FIELDWORK AND METHODS

In situ data and sediment samples were collected during three field campaigns, between October 2009 and March 2011. Acoustic data include multibeam echo sounding and sub-bottom profiling. The first multibeam hydrographic survey was performed in October 2009, using a KONGSBERG EM3002 system (data was processed by CARIS-HIPS software). The survey was repeated twice, in June 2010 and March 2011. Geophysical data was acquired with a boomer system aiming to obtain the definition of the superficial layers, internal structure and depositional architecture.

Real time wave data was acquired and registered by an ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) deployed offshore at approximately 27 m depth. The wave parameters were computed from the wave height spectra derived from the ADCP velocity profiler. The wave spectral distribution was computed from velocity measurements acquired in 17 minutes burst events, with sampling rate of 2 Hz, made every three hours.

For the ground truth assessment, superficial bottom samples were collected with a Smith-McIntyre grab, in 18 stations (S1 to S18), on the 19th October 2009

and on 28th June 2010 (Fig. 1). One vertical sampling took place on September 21st, 2010, and was performed with an electrical Vibrocoring system (Rossfelder P3) at 9 m depth in the center of the studied area, penetrating 1.25 m, and reaching the bedrock. The performed analysis includes grain size analysis computed according to Davis (1973), Folk (1974) and McMannus (1988), and calcium carbonate content (CaCO₃). The dimensional limits for particle classes were defined according to the Wentworth classification presented in Dias (2004).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Structure of the sedimentary cover

A high resolution bathymetric images of the seabed surface (Digital Terrain Model - DTM), between the 5 m and 25 m isobaths, were obtained from the three multibeam surveys as well as one backscatter image obtained in the first survey (Fig. 1). Inner shelf seabed surface is mostly flat, with the exception of three major rocky outcrops that protrude from the smooth bottom. The more expressive one is located in the SW part of the area, corresponding to an extensive NNW – SSE 2.5-3 m high alignment perpendicular to the beach. Two rocky outcrops appeared in the central and NE sectors, between the 12 and 16 m depth and between 17 and 20 m depth, respectively. The sedimentary cover characteristics indicate a general seaward decrease in mean grain size (from medium to fine sand). At greater depths, poorly sorted sands can occur. The backscatter image (Fig. 1) also indicates that most of the area is covered by a fine grained superficial sediment layer (darker color), overlying a second coarser sediment layer (light grey) with a spatial relation with the rocky outcrops. The darker grey pattern of the inner shelf corresponds to medium to fine sands, with grain size particles varying between 1 and 3 ϕ . Fine (2 to 3 ϕ) sands appear above 14 m depth. The

lighter grey pattern is related to sands and coarser sediments (inferior to 1 φ) located offshore and spatially associated with the rocky outcrops.

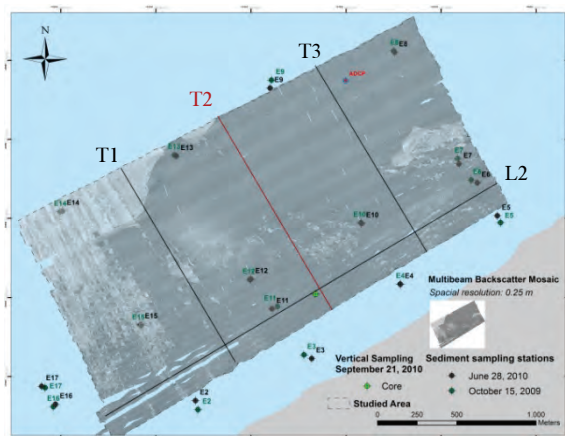


Fig. 1 – Normalized acoustic backscatter image with 0.25 m resolution – October 2009 stations in green; 2010 stations in black; also represented the ADCP location (in red) in the NE corner and the core sample (green cross). T1, T2, T3 and L2 represent the performed profiles.

The structure of the sedimentary cover was deduced from the acquired geophysical data, indicating that the inner shelf is covered by a mobile sedimentary cover of up to 2.5 m thickness, overlying bedrock. This layer can oscillate between 1.5 m and 3.5 m thickness in the range of 5 m and 14/16 m depth. These values were to represent the sedimentary cover that can be mobilized, mainly by wave action especially during high energy events. This statement is corroborated by the vertical sample maximum penetration of 1.25 m on the mobile layer, considering that the bedrock was clearly hit. In this sample only 0.33 cm of loose sand was recovered (poor sand retaining on the core catcher).

3.2. Sediment dynamics

Morphologic variations were estimated by comparison between the different multibeam surveys and related to sedimentary volumetric changes. As the accepted accuracy of a hydrographic survey is typically 30 cm (Gibeaut et al., 1998), it was used a 30 cm interval to discriminate the volumetric changes observed in the figures 2, 3 and 4, considering that changes above 30 cm corresponds to sediment accumulation and changes below this value depletion.

Analyzing the figure 2, which represents the vertical variation, observed between October 2009 and June 2010, it can be stated that the most visible variation (1 to 2 m) occurred in a stripe between 5 and approximately 14 m depth. This variation was interpreted as the result of littoral sediment depletion/accumulation and is much more evident in the central area, (highlighted in the Fig. 2). The total sediment balance between those dates, indicates a volume of approximately -541 000 m³ indicating a

general sediment depletion. Through the analysis of the obtained vertical variation figure, a balance was also estimated between 4 and 15 m depths, where it's visible the most significant change (table 1).

Vertical accumulation (between 0.5 m and 2 m) was detected in the northern sector, below 5 m depth (until the area limit, 4 m deep).

Table 1 – Estimated volumetric changes (in 10³ m³).

Depth Interval	June 2010/October 2009		
	Accumulation	Erosion	Balance
4 to 28 m	164	705	-541
4 to 15 m	47	365	-318

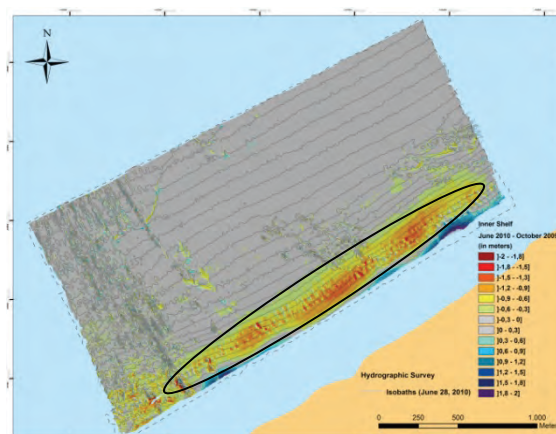


Fig. 2 – Vertical variation between the June 2010 and October 2009 DTMs. The orange/red toned colours represent the depletion areas and the blue tones the accretion areas.

For the period in question, waves showed mean values that are typical of winter time characteristics, with mean direction of 312° (NW) and significant heights around 2 m. During this period, the waves direction were southward relative to the normal direction to the beach (323°), and, consequentially, the longshore current was directed northwards. Considering that in this sedimentary cell the southern boundary is limited by rock outcrops so it can be considered closed while the northern boundary is fully open, this longshore current induced significant sediment depletion in the underwater beach, as seen in figure 2. It is important to point out, that during this time interval, three storms (wave heights higher than 4.5 m for periods exceeding 12 hours) were registered: two in November 2009 and one in January 2010.

From June 2010 to March 2011 (Fig. 3, Table 2), the most visible vertical variation, in the studied area, occurred in two spots: on the SW near the central outcrops, between approximately the 4/5 and 10 m depths, and in the northern sector of the area, between about 4/5 and 12 m depths. This variation can be attributed to sediment gain, showed by bottom vertical displacement from 0.5 m to 1.5 m (near the central rocky outcrops) and between 0.5 m to 2 m, in northern part of the area (Fig. 3). The global volumetric changes are positive, indicating a

general sediment accumulation in the study area (table 2).

Table 2 – Estimated volumetric changes (in 10^3 m^3).

March 2011/June 2010			
Depth interval	Accumulation	Erosion	Balance
4 to 28 m	486	147	339
4 to 15 m	237	34	203

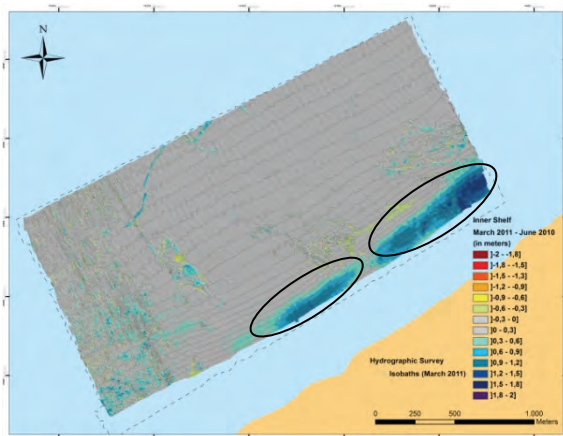


Fig. 3 – Vertical variations between the March 2011 and June 2010 DTM's. The orange/red toned colours represent the depletion areas and the blue tones the accretion areas.

Between June 2010 and March 2011, the measured mean significant wave height was 1.7 m with a mean direction of 317° (NW). Looking at the wave data, between June 2010 and September 2010, the significant wave height was around 1.5 m with a mean direction of 324° (slightly northward relative to the normal to the shoreline direction – 323°), a typical of the summer regime. This is due the predominance of the northerly winds, which leads to a southward net drift causing accretion in the submerged beach sector. During the winter months (from October 2010 to February 2011) the significant wave height was approximately 2 m and mean direction of 314° typical of winter regime. Considering the above results, and observed vertical variations of the inner shelf morphology until about 15 m depth, one can conclude that from October 2009 until March 2011, the sediment budget was negative.

A global balance of sediment volumetric variation between the first survey (October 2009), and the last survey (March 2011), was estimated (Fig. 4). The most significant vertical variation, in terms of sediment loss, occurs in the sector between approximately the 7 and 14 m depths, varying from 0.5 to 1.5 m. Concerning sediment gain, it was mainly concentrated in the northern sector where 0.5 to 2.5 m vertical variations were observed between around the 4 and 7 m depths (reaching 10 m deep near the, SW rocky outcrops). The sediment balance estimation for the 18 months period, expressed in table 3, indicates a general depletion, of

approximately $486\,000 \text{ m}^3$ (varying from 0.5 to 1.5 m), and a gain of around the half of the former (0.5 to 2.5 m vertical variations).

Table 3 – Estimated volumetric changes (in 10^3 m^3).

March 2011/October 2009			
Depth interval	Accumulation	Erosion	Balance
4 to 28 m	261	486	-225
4 to 15 m	104	241	-137

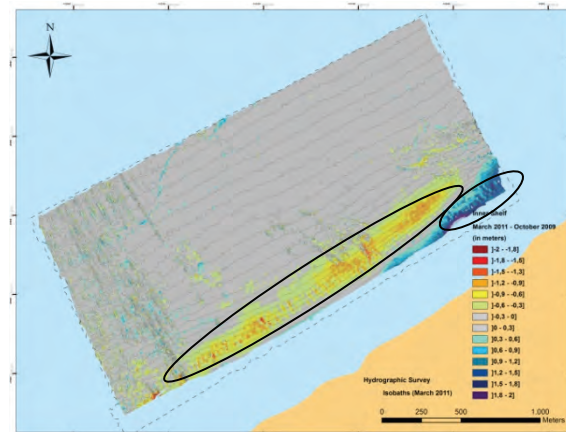


Fig. 4 – Vertical variations between the March 2011 and October 2009 DTM's. The orange/red toned colours represent the depletion areas and the blue tones the accretion areas.

In order to substantiate the above calculations, several transversal and longitudinal profiles were performed (location in Fig. 1). Analyzing the transversal profiles it is possible to differentiate sediment mobility across the area (highlighted in the T2 profile – Fig. 5), where it occurs mostly between the depths of 4 and 13 m, and sometimes up to 14 m. In October 2009 the sedimentary layer was 0.5 to 1.5 m higher than in June 2010, particularly close to the beach (until 10 m isobaths). Between March 2011 and June 2010, the bottom layer recovered up to 1 m of sediment until 10 m depth, but below that level it suffered sediment loss (lower than 0.5 m). In the offshore direction, as expected, the variation is negligible. In a longitudinal profile (Fig. 6), at 6 m deep, it is clear the depth variation observed in the 18 months period. In this profile some vertical variations along time can be observed; at the middle of profile the October 2009 surface was about 1.5 m higher than in June 2010 and March 2011).

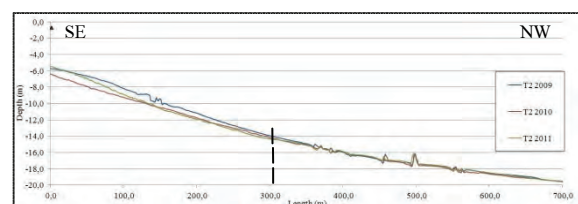


Fig. 5 – T2 transversal profiles from SE to NW up to 20 m deep (see location in Fig. 1), with 800 m length; the blue line represent the October 2009 sea bottom profile, the red line the June 2010 and the green line the March 2011 seabed.

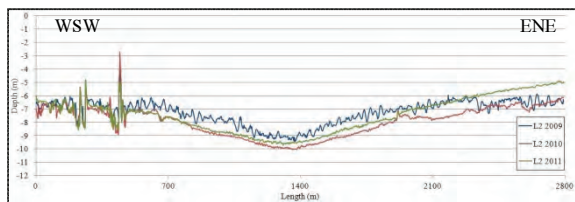


Fig. 6 – L2 longitudinal profiles from WSW to ENE performed in approximately 6 m depth, with 2800 m length (see location in Fig.1); the blue line represent the October 2009 sea bottom profile, the red line the June 2010 and the green line the March 2011 seabed.

3.3. Depth of Closure

The bathymetric data analysis allowed the estimation of the beach profile closure depth. The determination of the depth of closure was based on the observation of the elevation changes measured between the performed surveys. According to Kraus *et al.*, (1998), the definition of depth of closure is, “for a given or characteristic time interval, the most landward depth seaward of which there is no significant change in bottom elevation and no significant net sediment transport between the nearshore and the offshore”.

Taking into account a 30 cm depth uncertainty, vertical depth variations were estimated from three transversal profiles, T1, T2 and T3, (location in Fig. 1). Depth of closure estimation was based on the absolute difference between bed elevations between two consecutive surveys in the same profile (fixed depth change - Nicholls *et al*, 1996) (table 4, Fig. 6).

Table 4 – Depth of closure estimated at measured profiles

Profile/Period	Depth of Closure (in meters)		
	2010/2009	2011/2010	2011/2009
T1	10.6/10.8	9.3/9	11.0/10.7
T2	13.6/13.3	9.4/8.7	14.4/14.1
T3	12.5/12.2	13.3/13.0	13.6/13.2

From the vertical variation images (figures 2, 3 and 4) it was also possible infer the closure depth spatial variation across the study area (table 5).

Table 5 –Average depth of closure across the study area estimated from multibeam surveys.

Survey/Period	Depth of Closure (in meters)		
	2010/2009	2011/2010	2011/2009
2009	12.9	-	13.0
2010	13.0	10.8	-
2011	-	10.7	13.2

Using the wave data collected by the ADCP, the depth an estimated depth of closure was also estimated analytically, using the form of equation proposed by Hallermeier (1981):

$$D_l = 2H_{50} + 12\sigma_H$$

Where D_l is the closure depth, H_{50} is the annual median significant height and σ_H is the annual standard deviation of significant wave height.

The obtained results are: 2010/2009 – 14.6 m; 2011/20010 – 13.2 m; 2011/2009 – 13.7 m. The comparison of these results with the ones deduced

directly from the bathymetry surveys show a reasonable agreement though with a slight overestimation.

4. CONCLUSIONS

The obtained results show morphological changes up to 2 m on the submerged beach profile of the Almagreiro beach.

The morphodynamics of the inner shelf is conditioned by the seasonal wave regime behavior that causes higher sediment mobilization during winter periods. During this regime, the waves came from a more westward direction, inducing a northward longshore current with a general net sediment loss in the studied area.

In summer, the average significant wave height is lower and influenced by northerly winds inducing southward longshore current and sediment transport, promoting a net accretion over the area.

Annual depth of closure, deduced from profile observations was estimated between 13 and 14 m below chart datum.

Acknowledgments:

This is a contribution of the EU project “Simple Underwater Renewable generation of Energy” (contract FP7/ENERGY/2008/TREN1/239496).

REFERENCES

Davis, John C. (1973). *Statistics and Data Analysis, Geology* (2nd Ed.), John Wiley & Sons, 646 pp.

Dias, J.M.A. (2004). *A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos (uma Introdução à Oceanografia Geológica)*. http://w3.ualg.pt/jdias/JAD/e_books.html.

Folk, R.L. (1974). *The petrology of sedimentary rocks*: Austin, Tx, Hemphill Publish.Co., 182 pp.

Hallermeier, R.J. (1981). *A profile zonation for seasonal climate*. *Coastal Engineering* 4:253-277.

Kraus, N.A., Larson, M. & Wise, R. (1998). Depth of Closure in Beach-fill Design; *Coastal Engineering Technical Note*. II-40.

McMannus, J. (1988). Grain size determination and interpretation in: Tucker,M.(ed.): *Techniques in sedimentology*. Blackwell Scient.Public. 63-85.

Nicholls, R.J., Birkemeier, W.A. and Hallermeier, R.J. (1996). Application of the depth of closure concept. In: *Proc. 25th Coastal Engineering Conference*, ASCE (1996), 3874-3887.

Wentworth, C.K. (1922). A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *Jour. Geology*, 30:377-392.

Gibeaut, J.C., Gutierrez, R., and Kyser, J.A. (1998). “Increasing the accuracy and resolution of coastal bathymetric surveys.”. *Journal of Coastal Research*, 14(3): 1082-1098.

Modificações sedimentares na plataforma continental adjacente ao Porto de Sines

C. Pólvara (1), A. Oliveira (1), C. Luz (1), J. Duarte (1) e C. Baptista (1)

(1) Instituto Hidrográfico. cassandra.polvora@hidrografico.pt

Resumo: Tendo por objetivo identificar as modificações sedimentares da plataforma continental adjacente ao Porto de Sines, após o início da sua construção, em 1973, foram analisadas as características granulométricas e mineralógicas de 12 amostras de sedimentos superficiais e de 4 amostras verticais. Superficialmente, é possível distinguir, na plataforma continental adjacente a este porto, dois sistemas sedimentares distintos: um de fundos silto-argilosos com predominância de micas e outro, em frente à praia de S. Torpes, constituído por areias finas a muito finas com o quartzo como mineral principal. Nas amostras verticais, representativas da coluna sedimentar, também são observados dois níveis de assinatura granulométrica e mineralógica distinta. A diminuição do hidrodinamismo, resultante da sucessiva ampliação das estruturas portuárias, conjugado com o conseqüente decréscimo das trocas sedimentares entre a plataforma interna e a média, e o aumento da carga dos sedimentos transportados em suspensão e com origem em fonte local, serão os principais responsáveis pela alteração da fácies sedimentar deste sector da plataforma.

Palavras chave: Porto de Sines, mineralogia, sedimentologia, plataforma

1. INTRODUÇÃO

O porto de Sines, a sul do maciço ígneo de Sines, é um porto de águas profundas, considerado o principal da fachada ibero-atlântica e fundamental na entrada de abastecimento energético em Portugal, pelo que, os seus terminais têm vindo a sofrer expansões sucessivas, desde a sua implantação. O maciço ígneo de Sines, de origem sub-vulcânica é constituído por rochas granulares (grabro-dioritos que envolvem sienitos posteriores, cortados por brechas eruptivas) (Inverno *et al.* 1993). Esta estrutura ígnea, tem orientação E-W e descreve um cabo natural com elevação máxima de 20m, que contacta com o mar através de escarpas abruptas. É uma importante fonte sedimentar para a plataforma continental e constitui um abrigo natural ao porto de Sines. A plataforma continental adjacente é acidentada, refletindo os afloramentos submersos das formações do maciço; e a cobertura sedimentar é incipiente, associada ao preenchimento de depressões no substrato rochoso e a pequenos depósitos sedimentares relacionados com a descarga das ribeiras e com a localização das praias encastradas (Balsinha, 2007).

Com o presente trabalho pretende-se estabelecer o padrão evolutivo para a cobertura sedimentar da plataforma continental adjacente ao porto de Sines, identificando eventuais modificações do ambiente marinho motivadas pelas alterações dos processos sedimentares.

2. MÉTODOS

Com o objetivo de caracterizar a cobertura sedimentar e identificar as modificações ocorridas

na plataforma após a construção do porto, foi realizada uma campanha de recolha de sedimentos de fundo, no dia 07 de abril de 2011, tendo sido amostradas 22 estações (figura 1) nas quais 10 sem recuperação de amostra (fundo rochoso), com um colhedor superficial do tipo *Smith-McIntyre*. Foi ainda realizada uma campanha de amostragem vertical, no dia 30 de setembro de 2011, em que foram colhidas 4 amostras verticais (figura 1) representativas da coluna sedimentar, utilizando um colhedor vertical do tipo *Vibrocorer Rossfelder P3*. As amostras foram analisadas no laboratório de sedimentologia do IH, tendo sido seguidas as normas técnicas NT.LB.022, NT.LB.023, NT.LB.026 e NT.LB.028 do IH para análise granulométrica e determinação do teor em carbono orgânico (COT) e inorgânico (CIT).

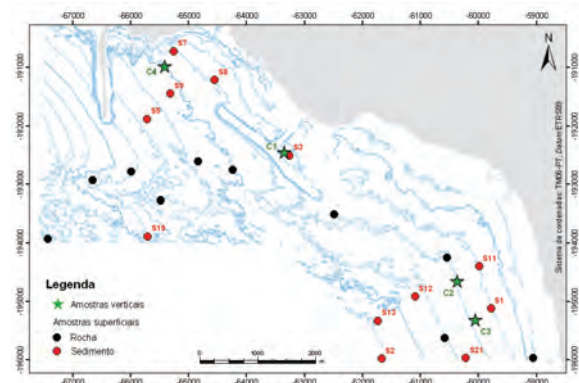


Figura 1. Localização das amostras superficiais (vermelho) e verticais (verde) colhidas na plataforma continental adjacente ao Porto de Sines.

Para a análise morfoscópica da fração arenosa foram separadas 5 frações (de 2 a 0,63mm), observadas à lupa binocular e identificados pelo menos 300 grãos correspondentes às classes composicionais: quartzo, micas, agregados (fragmentos líticos, arenitos com cimento carbonatado, agregados silto-argilosos), outros terrígenos (feldspatos e minerais pesados), moluscos, foraminíferos, outros biogénicos (espículas, placas e fragmentos de carapaças de equinodermes, ostracodos, briozoários e espículas de espongiários), glaucónia e não identificados. Com base na composição de cada um das classes determinou-se a composição total da fração areia. Para a análise mineralógica da fração fina (silto-argilosa) foi separada uma sub-amostra, que após destruição da matéria orgânica (com Peróxido de Hidrogénio a 10v) é peneirada a húmido, numa malha de 63 µm, seca na estufa (a 40°C) e analisada no difractor de raio-x da PANalytical.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Cobertura sedimentar

A cobertura sedimentar da plataforma continental adjacente ao Porto de Sines é constituída por sedimentos arenosos (média 73%) com quantidades menores de cascalho (média 6%) e de silte e argila (média 21%), contudo é notória a heterogeneidade textural e composicional nos mesmos. Como mostra a figura 2 é possível distinguir texturalmente duas zonas: uma em frente à praia de S. Torpes, com sedimentos moderadamente calibrados, da dimensão da areia fina e com teores de CIT entre 3 e 4%; e outra na área interna do porto, onde os sedimentos são fracamente calibrados a mal calibrados, de menor dimensão e com teores de CIT entre 1 e 2%.

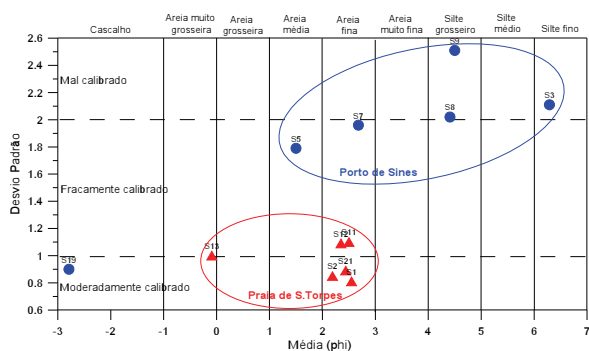


Figura 2. Classificação textural dos sedimentos superficiais da plataforma continental adjacente ao Porto de Sines.

Analisando as figuras 3 e 4, destacam-se as estações S9 e S19, junto aos afloramentos rochosos, onde há um predomínio de clastos biogénicos na fração areia e de calcite, calcite magnesiana e aragonite na fração silto-argilosa, o que poderá indicar um aumento local da produtividade biogénica. Já nas estações S3 e S8, situadas em zonas protegidas e com circulação restrita, há um predomínio de micas na amostra total. Nas restantes amostras, a fração areia é dominada

pelo quartzo (45%), moluscos (22%), micas (8%), agregados (9%), outros terrígenos (6%), outros biogénicos (5%) e foraminíferos (2%) (valores médios).

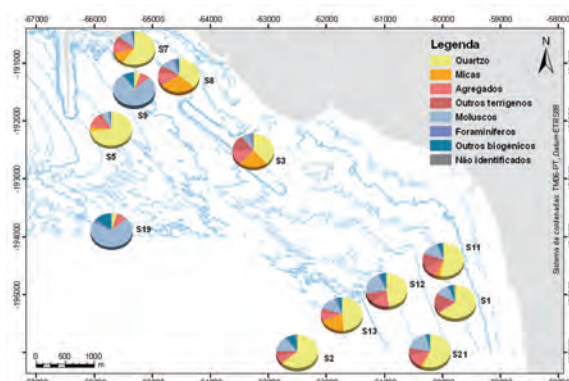


Figura 3. Análise composicional da fração arenosa dos sedimentos superficiais da plataforma continental adjacente ao Porto de Sines.

Na fração silto-argilosa predomina a mica/ilite (20,9%), calcite (20,3%), plagioclase (19,7%); o quartzo (10%) e o feldspato potássico (9%); como minerais acessórios a calcite magnesiana (6%), clorite (3,8%), a anfíbola (3%), a piroxena (2,6%), aragonite (2%) e ilmenite (1%) (valores médios).

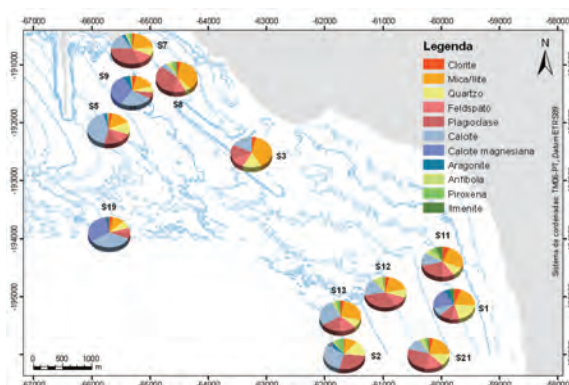


Figura 4. Análise mineralógica da fração fina, dos sedimentos superficiais da plataforma continental adjacente ao Porto de Sines.

3.2. Coluna Sedimentar

Na amostra vertical C1 (63cm), colhida numa zona abrigada pelo molhe do terminal XXI, é notória a variabilidade vertical da fácies sedimentar, sendo possível delimitar três unidades deposicionais. Os primeiros 15cm (figura 5), correspondem a um ambiente de baixo hidrodinamismo, com predomínio de partículas silto-argilosas de forma lamelar (biotites), e com teores de COT de 1,5% (unidade A). Entre os 15 e os 40cm há vestígios de sedimentos carbonatados, compostos por fragmentos de carapaças de moluscos e lamelibránquios ocorrendo o incremento de grãos de quartzo (brilhantes, hialinos, sub-rolados a sub-angulosos) associados a uma granulometria mais arenosa,

correspondendo a uma zona de condições hidrodinâmicas intermédias, provavelmente com diminuição do impacto da ondulação de NW-W. Na base (>40cm), de textura mais cascalhenta, há predomínio de fragmentos xisto-grauváquicos provenientes do substrato rochoso local, misturados com fragmentos de moluscos e espongiários; já na fração fina, há um aumento da importância da piroxena e dos minerais provenientes das rochas do maciço ígneo de Sines. Estas características são compatíveis com condições de maior hidrodinamismo costeiro (unidade C).

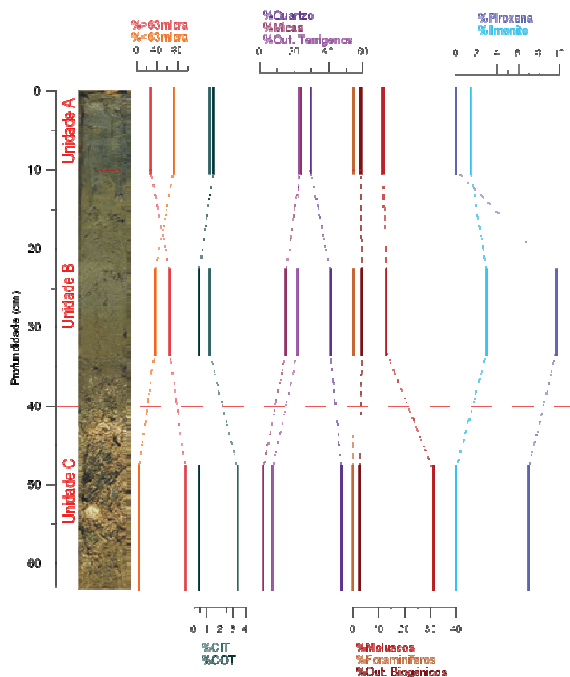


Figura 5. Amostra vertical C1. Variações percentuais de granulometria, CIT e COT, elementos terrígenos e biogênicos na fração areia e piroxena e ilmenite na fração silto-argilosa

A amostra vertical C4 (104cm), colhida no interior do porto, tal como na C1 é possível distinguir três unidades deposicionais (figura 6). O topo (0-10cm), corresponde a um ambiente de fraco hidrodinamismo, com granulometria mais fina, predomínio de partículas terrígenas de forma lamelar (biotites) e percentagem de COT (1%) mais elevada que na base, associado a uma elevada contribuição da matéria orgânica na sedimentação recente. Há uma maior influência da fonte local, nesta amostra, devido à proximidade do maciço ígneo de Sines, com percentagens mais elevadas de minerais terrígenos (média 6%), agregados mineralógicos (média 2%), de micas (média 2%) na fração areia e na fração silto-argilosa da piroxena (média 4,3%). A unidade intermédia (25-52cm) desta amostra vertical, em termos mineralógicos, é em tudo semelhante à unidade intermédia da amostra C1, só que em termos granulométricos há uma maior percentagem de siltes e argila (83%). Na base (>52cm) aumenta a fração grosseira (98%), o teor em CIT (2,2%), o quartzo (54%) e os moluscos

(16%); esta unidade também corresponde a um ambiente de maior hidrodinamismo e maior contribuição de sedimentos por parte do litoral.

As amostras verticais C2 (72cm) e C3 (170cm) (figura 6), localizadas em frente à praia de S. Torpes, apresentam uma granulometria homogênea em toda a coluna sedimentar. Sendo o sedimento classificado como areia, apesar de na amostra C2, haver um incremento na percentagem da fração silto-argilosa (12%) no último nível (42-52cm). A análise composicional destas duas amostras verticais permite distinguir duas unidades deposicionais; uma unidade superficial (0-10cm), em nada semelhante às descritas anteriormente, com maior influência da fonte terrígena local, possivelmente com origem em sedimentos transportados pelas ribeiras. Em geral, em ambos os casos, a coluna sedimentar é homogênea, apresentando teores de quartzo entre 39% e 28%, com uma assinatura carbonatada bem marcada por contribuição biogénica, corroborado pelo sinal de CIT, o qual pode atingir os 4,3%.

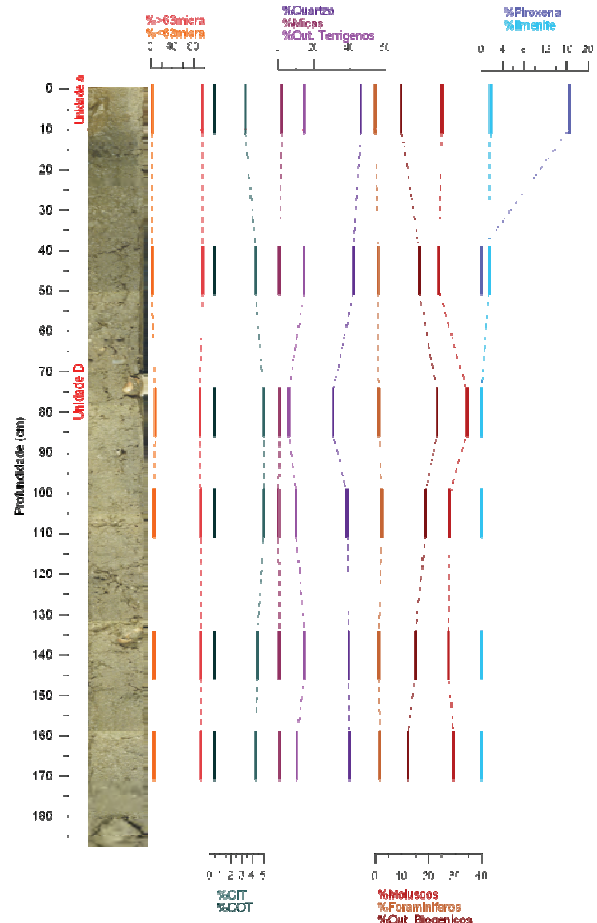


Figura 6. Amostra vertical C3. Variações percentuais de granulometria, CIT e COT, elementos terrígenos e biogênicos na fração areia e piroxena e ilmenite na fração silto-argilosa.

As amostras C2 e C3 antes da construção do porto, estavam sujeitas a processos sedimentares diferentes dos atuais e distintos dos ocorridos nas amostras C1 e C4 (com a proteção do maciço a norte). A unidade base das amostras C1 e C4 têm um sinal mais forte

da influência da zona litoral, e a unidade base das amostras C2 e C3 de um ambiente de plataforma interna a média.

4. CONCLUSÃO

Na zona em estudo, a cobertura sedimentar é incipiente e em geral encontra-se associada ao preenchimento de pequenas depressões sendo constituída por sedimentos arenosos (areias finas e siltes) com componente biogénica importante junto aos afloramentos rochosos (maior produtividade biológica) e uma componente terrígena mais elevada em zonas de fraco hidrodinamismo. Os sedimentos são classificados como areias médias a fina, francamente calibrados, constituídos na sua maioria por grãos de quartzo e fragmentos de moluscos.

No interior do porto, pela análise das amostras verticais, é possível delimitar unidades sedimentares geradas em diferentes condições ambientais e deposicionais. Nas amostras C1 e C4 a unidade superficial corresponde a um ambiente de baixo hidrodinamismo, caracterizado pela elevada percentagem de minerais lamelares (micas) e pelo aumento da fração silto-argilosa, transportada em suspensão; a unidade intermédia deverá ter surgido após construção do molhe oeste, o qual criou abrigo à ondulação NW-W; a unidade deposicional da base revela condições de hidrodinamismo (domínio costeiro aberto) onde se observa o domínio de sedimento arenoso carbonatado, constituído por fragmentos de gastrópodes, lamelibránquios e de outros biogénicos provenientes do litoral. Em frente à praia de S. Torpes, nas amostras verticais C2 e C3, o ambiente deposicional superficial é caracterizado por sedimentação de origem local, resultante da erosão das arribas e afloramentos rochosos, podendo ainda ser reconhecida uma contribuição das ribeiras; na base há um aumento da componente carbonatada (fragmentos de moluscos) e quartzítica, em areias finas, típico de ambiente de plataforma interna a média.

As evidências sedimentológicas apresentadas permitem constatar que a variabilidade da fácies sedimentar reflete o crescente efeito protetor à exposição da área às condições de agitação marítima exercido pelas estruturas portuárias. Para além de proteger a orla costeira da ondulação, os molhes do porto induzem ainda alterações na circulação das correntes na enseada de S. Torpes, com o conseqüente impacto nos processos de dinâmica sedimentar.

Agradecimentos

Este trabalho insere-se no projeto “*Caracterização ambiental da área de expansão marítima do porto de Sines e região envolvente*”, solicitado pela APS, através da empresa CONDURIL.

REFERÊNCIAS

- Balsinha, M. J.; Rodrigues, A.; Taborda, R.; Morgado, A. e Duarte, J. (2007). Dinâmica Sedimentar da Plataforma adjacente ao Porto de Sines. *5as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*. Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007. 31-32.
- Inverno, C.M.C, Manupella G., Zbyszewski, G., Pais, J. and Ribeiro, M.L. (1993). *Maciço Eruptivo de Sines*, In: Notícia explicativa da carta geológica de Santiago do Cacem, na escala 1:50 000, folha 42-C, Serv Geol. Port., 34-46.

Beach sediment grain size variability based on image analysis

J. Cascalho (1, 4), I. Bosnic (2, 3), R. Taborda (3), M. Ribeiro (2, 3), C. Lira (4) e M. Carapuço (3)

- (1) Museu Nacional de História Natural e da Ciência (UL) e Centro de Geologia da FCUL, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Rua da Escola Politécnica 56/58, 1250-102 Lisboa, jpcascalho@fc.ul.pt
- (2) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 49, 1249-093 Lisboa
- (3) Instituto Dom Luiz, Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisboa
- (4) Centro de Geologia da FCUL, Campo Grande, 1749-016 Lisboa

Abstract: Sediment grain size variability is fundamental to understand the processes and direction of sediment transport on littoral systems. The aim of this work is the characterization of the grain size variability and the implications on the definition of adequate sampling strategies. The work was developed at Norte beach, a high energetic and heterometric sandy beach located at Nazaré (west coast of Portugal). The beach sediment was digitally photographed in order to compute the median grain size using the image analysis based on the autocorrelation method. A total of 1498 images were taken covering the beach face superficial and sub-superficial sediment and also some beach face representative cores. Results question the representativeness of surficial sampling as systematic deviation from the beach “typical” grain size was detected.

Keywords: textural, digital, sand, sampling, beach face

1. INTRODUCTION

Grain size is a very important physical property of the sediment particles, because it affects the sediment entrainment, transport and deposition (Folk and Ward, 1957; Friedman, 1979). On many beach environments a simple visual inspection of the superficial sediments in a cross-shore profile can reveal large grain size contrasts, for example, between fine and very coarse sand. If we aim to do an accurate study of the beach grain size variability based on traditional methods (e.g. sieving or laser-diffraction analysis) it is necessary to collect hundreds of samples which would imply an unreasonable need of personal, equipment and funding. Alternatively, if this characterization is based on sediment image analysis (IA) the above limitations could be overcome.

This work aims to demonstrate the usefulness of the IA to describe the grain size variability of a beach with large grain size contrasts – the North beach (Nazaré) - and to support the definition of a suitable sampling methodology that characterizes the overall system grain-size.

2. METHODS

Fieldwork was conducted at Norte beach (Nazaré) on July, 20th, 2011. This beach is located at the Portuguese west coast, at about 2 km north of Nazaré and at approximately 120 km north of Lisbon (Fig. 1). This coastal stretch is fully exposed to the north Atlantic swell and has a semi-diurnal mesotidal regime.

Sediment textural variability was accessed through the acquisition of in-situ high resolution digital images. A total of 1498 digital samples were acquired from which 215 refer to the superficial sediment, 215 to sub-superficial sediment (obtained

by removing the uppermost sediment layer with 1 centimeter thick) and 1068 represent 1 cm thick cores sections, from a total of 38 cores (Fig. 2). The images were processed through an autocorrelation-based algorithm developed by Bosnic (2011) and Bosnic *et al.* (*this volume*) which is based on Barnard *et al.* (2007) work.

Beach topographic survey and sampling location was performed using a DGPS, in RTK mode. A representative cross-shore profile shows a steep beach face and the presence of several berms (Fig. 3). The elevation of the active berm crest was 4 m. All data was assembled and processed in a GIS environment.

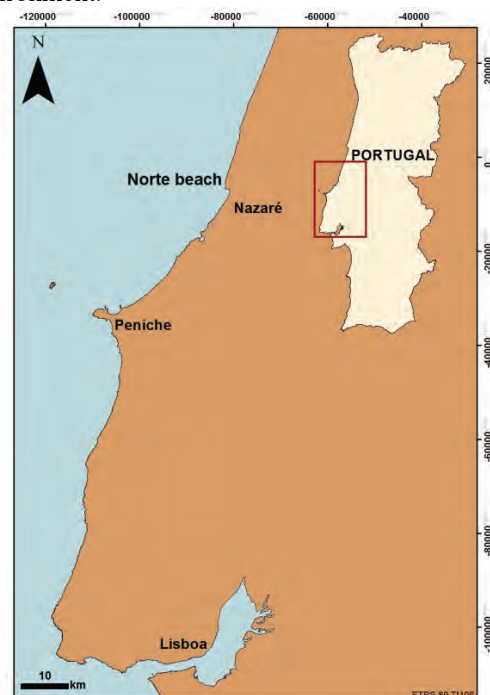


Fig. 1. Norte beach location.

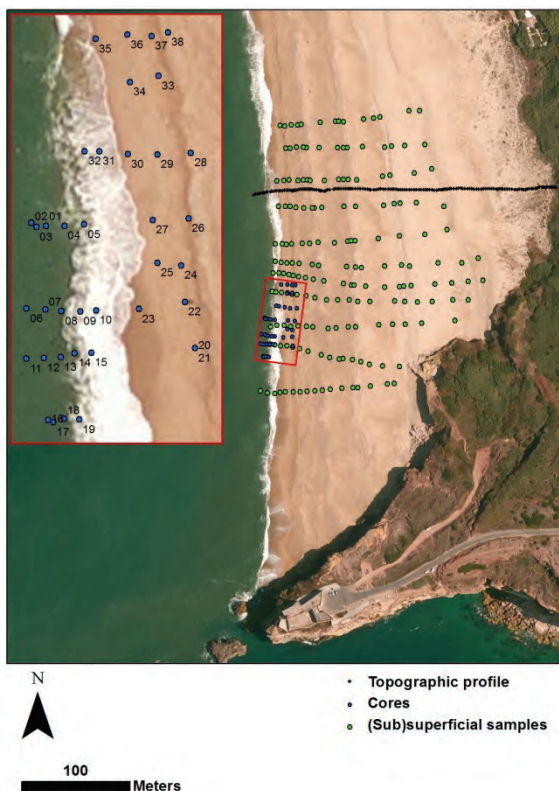


Fig. 2. Sampling location (green dots represent the location of the superficial and sub-superficial samples; blue dots represent the cores location). The location of the cross-shore topographic profile is represented by the black line. The inset represents the coring area. The orthophoto date does not match with the fieldwork date.

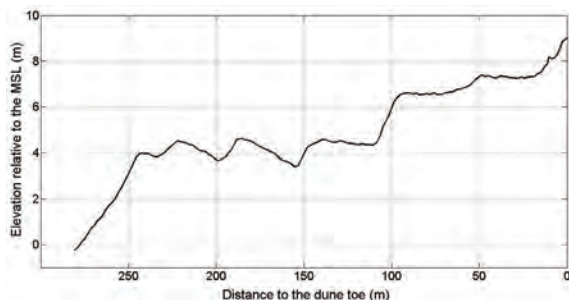


Fig. 3. Beach cross-shore topographic profile (the location is represented on figure 2).

3. RESULTS

3.1. Beach textural variability

Results show that the median grain size of the North beach sand is highly variable, ranging from -2.60 to 1.79 Φ . The statistical parameters that describe median grain size variability across the beach are summarized on table I.

Table I. Statistical parameters of the median grain size according to the main sample groups: ALL- all samples, CORES – cores, SUP –superficial, SUB-SUP – sub-superficial for the entire beach sampled area; SUP_C – superficial, SUBSUP_C – sub-superficial for the coring area. On the first table line: # - number of samples, min – minimum value, max – maximum value, std – standard deviation (all values in Φ units).

Sample group		#	mean	min	Max	std
ALL		1498	0.18	-2.60	1.79	0.63
BEACH AREA	CORES	1068	0.18	-1.50	1.49	0.47
	SUP	215	-0.08	-2.60	1.77	0.97
	SUBSUP	215	0.44	-2.35	1.79	0.78
CORING AREA	SUP_C	23	0.48	-0.55	1.16	0.40
	SUBSUP_C	23	0.76	-0.10	1.28	0.38

The superficial sediments (represented by the SUP group) are the coarser ones with a mean grain size of -0.08 Φ , ranging from -2.60 to 1.77 Φ ; and the finer ones are represented by the SUBSUP group with a mean of 0.44 Φ , ranging from -2.35 to 1.79 Φ .

3.2. Cores textural variability

Along each of the 38 collected cores the difference between the median grain size maximum and minimum rarely exceeds 2 Φ . Most of the cores (23) show a sedimentary positive sequence (the sediment became progressively finer from the base to the top) and the other 15 show an undefined sedimentary sequence. The occurrence of these two types of sequences (positive or undefined) is apparently not correlated with the beach morphology. The same is true if we represent the spatial distribution of each core median grain size (Fig.4). Additionally, if we represent the mean, minimum and maximum of the correspondent core levels it is possible to confirm the dominance of the positive sequence with an average difference of about 0.5 Φ between the lower and the upper levels (Fig.5).

3.3. Superficial spatial variability

For the superficial sediment it can be seen the existence of a longshore band with an approximate 50 m width where the sediment has a median grain size coarser than 0 Φ . This coarser sediment band is approximately located in the beach berm (Fig. 6).

3.4. Sub-superficial spatial variability

For the sub-superficial sediments a similar grain size distribution pattern is observed. However, the median values are considerable lower than the precedent ones (approximately 0.5 Φ)(Fig. 6).

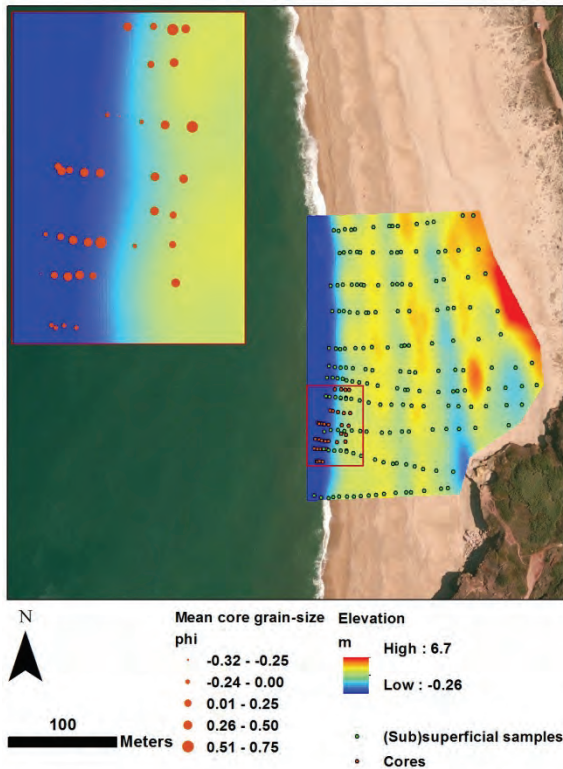


Fig. 4. Distribution of the mean core grain size according to the beach topography.

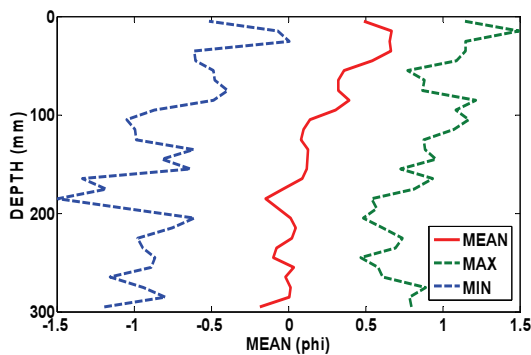


Fig. 5. Mean, maximum and minimum of the sediment media along the 38 collected cores.

4. DISCUSSION

The extensive grain size database collected at North beach allowed, for the first time, the detailed description of spatial (horizontal and vertical) textural variability of a sandy beach.

The magnitude of this variability, higher than 4Φ , arises two main questions: What is the beach representative grain size? How can we sample it? From the present study it became clear that a random sample collected from the beach topographic surface does not represent the typical beach grain size sediment (Fig 7).

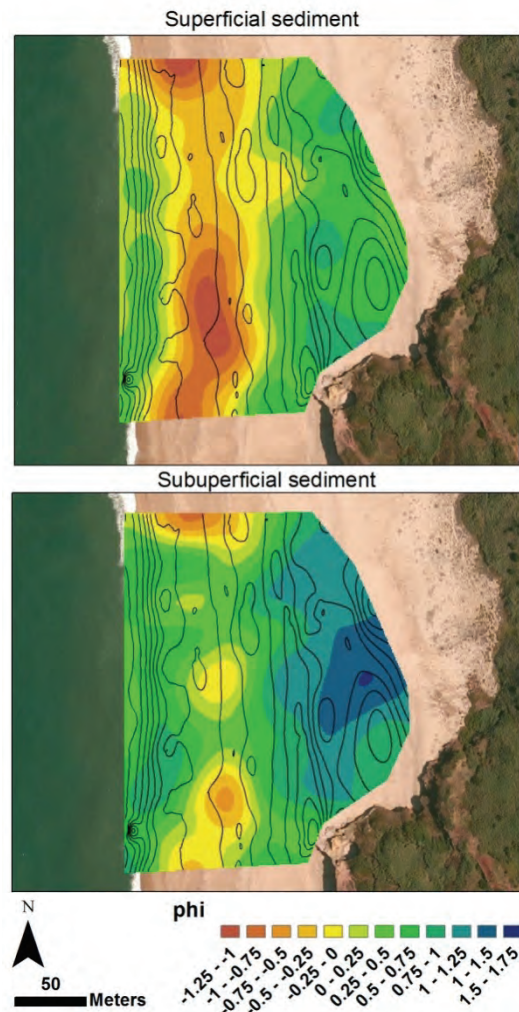


Fig.6. Median grain size distribution pattern of the superficial (top) and sub-superficial sediments (bottom).

Results of the superficial layer show that the sediments have a higher than average median-grain size, while sub-superficial one has an opposite behavior. This is because the uppermost beach layers are in equilibrium with specific hydrodynamic conditions and therefore cannot represent the average time and spatial beach conditions. This averaging is naturally represented in the sediment column which can be obtained using core sampling (Fig. 7).

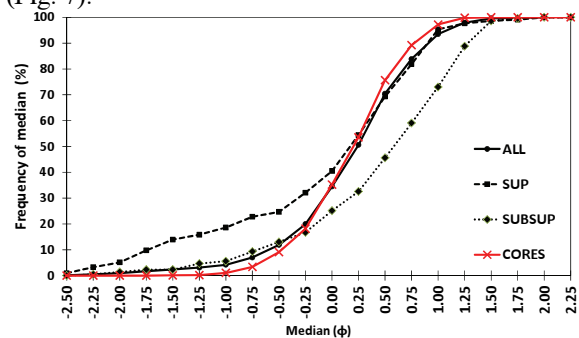


Fig.7. Cumulative frequency curves of the ALL, SUP, SUBSUP and CORES sample groups (see Table 1 for definition).

5. CONCLUSIONS

The application of image analysis techniques to the study of the beach face grain size variability proved to be a very useful tool. The data obtained in the scope of the present work show very large grain size variability both across the horizontal and vertical dimensions. Results question the representativeness of surficial sampling as systematic deviation from the beach “typical” grain size was detected.

Acknowledgements

This work is a contribution of the projects *Sand beach textural and compositional variability as indicator of sedimentary dynamics* (PTDC/CTE-GEX/64592/2006) and *Beach to Canyon Head Sedimentary Processes* (PTDC/MAR/114674/2009), both funded by Portuguese Foundation for Science and Technology (FCT).

The data processing tools are available on the “Beach Sand Code” project web page: <http://sandcode.fc.ul.pt/ImageAnalysis.html>.

REFERENCES

- Barnard, P. L., D. M. Rubin, J. Harney, and N. Mustain (2007), Field test comparison of an autocorrelation technique for determining grain size using a digital ‘beachball’ camera versus traditional methods, *Sediment. Geol.*, 201, 180-195
- Bosnic, I., Sousa, H. , Cascalho, J., Taborda, R., Ribeiro, M. and Lira, C. (this volume). New insights into image analysis applied to beach grain-size variability. *2^{as} Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Lisboa*.
- Bosnic, I. (2011). Caracterização textural de sedimentos de praia através da análise de imagem. *Tese de Mestrado em Geologia do Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa*, 59 p.
- Folk R.L and Ward W.C. (1957). Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3-26.
- Friedman, G. M. (1979). Differences in size distributions of populations of particles among sands of various origins. *Sedimentology*, 26, 3-32.

Evolução morfológica recente da zona lagunar da Ria Formosa

L. I. Portela (1)

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

Resumo: A análise da evolução de um conjunto significativo de canais e barras da Ria Formosa, efectuada com base em levantamentos hidrográficos e em fotografia aérea, indica que, entre 1980 e 2011, nas áreas abrangidas, se verificou uma perda de sedimento da ordem de $12 \times 10^6 \text{ m}^3$, em resultado de dragagens realizadas quer nos canais de navegação, quer em outros canais do sistema lagunar. Os canais interiores aparentam, na ausência de intervenções, uma relativa estabilidade. Pelo contrário, as barras naturais, tendo sofrido ou não intervenções, estão sujeitas a rápidas alterações morfológicas que condicionam a evolução dos trechos dos canais de maré mais próximos. A barra da Armona constitui um caso particular, pela manutenção da tendência de forte redução de largura registada nas últimas décadas.

Palavras chave: deposição, erosão, dragagens, morfodinâmica, Ria Formosa

1. INTRODUÇÃO

A Ria Formosa é um sistema lagunar delimitado exteriormente por um cordão litoral de ilhas barreira, em que se abrem seis barras: Ancão, Faro-Olhão, Armona, Fuzeta, Tavira e Lacém. Essas barras definem, nos extremos do cordão, as penínsulas de Faro e de Cacela e, no seu corpo, as ilhas da Barreta, Culatra, Armona, Tavira e Cabanas. O cordão litoral tem mais de 50 km de comprimento, encontrando-se a laguna preenchida por sapais, áreas entremarés de areia e vasa, e canais.

Os canais de navegação, principais e secundários, encontram-se definidos no Plano de Ordenamento da Orla Costeira e no Plano de Ordenamento do Parque Natural da Ria Formosa. Os canais principais são dragados regularmente pelo Instituto Portuário e dos Transportes Marítimos. Além destes, existem muitos outros canais lagunares, não classificados, alguns dos quais foram dragados no âmbito do Projecto de Requalificação do Sistema Lagunar da Ria Formosa, promovido pelo Instituto da Conservação da Natureza em 1999/2000.

Embora a Ria Formosa tenha sido objecto de numerosos estudos, existe escassa informação acerca das tendências evolutivas dos canais lagunares. Essa informação seria da maior importância para apoiar a elaboração de planos de intervenção que visem potenciar os valores naturais do sistema. A presente comunicação descreve aspectos de um estudo recentemente realizado (Portela *et al.*, 2011), com esse objectivo, em que se procurou caracterizar a evolução morfológica da zona lagunar entre 1980 e a actualidade.

2. METODOLOGIA

O estudo envolveu a comparação de levantamentos hidrográficos (Fig. 1) e fotografia aérea. Numa fase inicial, verificou-se que apenas se encontravam disponíveis levantamentos actualizados das barras de Faro-Olhão e de Tavira, correspondentes aos canais principais. Compararam-se levantamentos dessas

áreas realizados pelo Instituto Hidrográfico em três datas (1979/1980, 2001/2002 e 2008). No resto do sistema, apenas foi examinada fotografia aérea antiga (1983) e recente (2007 e 2009).

No primeiro semestre de 2011, a Sociedade Polis Litoral Ria Formosa promoveu a realização de levantamentos parciais das zonas poente, central e nascente da Ria Formosa, executados pela firma LHT. De forma a completar a análise anterior, estes novos levantamentos, abrangendo 12 canais e barras (Ancão, Armona e Lacém), foram comparados com o levantamento geral do sistema realizado pelo Instituto Hidrográfico em 1979/1980.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Comparação de elementos pré-existent

Os resultados da comparação de levantamentos das barras de Faro-Olhão e de Tavira encontram-se representados nas Figs. 2 e 3. A comparação de levantamentos indica ter-se verificado, entre 1980 e 2008, um aprofundamento muito significativo dos principais canais de navegação, certamente por efeito de dragagens, com um saldo de “erosão” de $8,0 \times 10^6 \text{ m}^3$ no canal de Faro (a montante dos molhes) e de $1,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ em Santa Luzia, Tavira e Cabanas. No caso do canal de Faro, o saldo de “erosão” equivale a um abaixamento médio do leito de 2 m. O efeito das operações de dragagem na evolução do canal de Faro, até 2001, já tinha sido referido por Pacheco *et al.* (2006). O presente estudo permitiu verificar a continuação da tendência de aprofundamento entre 2001 e 2008, embora a ritmo mais lento do que entre 1980 e 2001.

Com base em fotografia aérea, verifica-se ainda, qualitativamente, que as zonas lagunares interiores, afastadas das barras, aparentam uma grande estabilidade morfológica, nomeadamente no que se refere ao posicionamento dos canais de maré. Nas

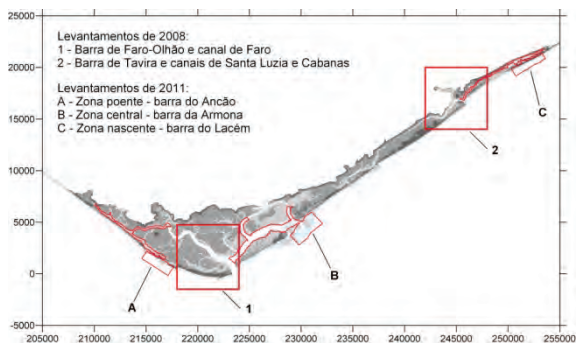


Fig. 1. Localização de levantamentos hidrográficos recentes da Ria Formosa: a) Canais de navegação principais (1, 2); b) Zonas poente, central e nascente (A, B, C).

zonas de menores profundidades, são ainda identificáveis os efeitos das dragagens realizadas em 1999/2000.

Pelo contrário, a análise de fotografia aérea indica que as barras estão sujeitas a grandes alterações morfológicas, que condicionam a evolução dos canais de maré mais próximos. A barra da Armona constitui um caso particular, distinguindo-se das restantes barras naturais (Ancão, Fuzeta e Lacém) pela sua maior importância para o sistema, mas também pela redução de largura, associada ao crescimento da ilha da Culatra, registada nos últimos 100 anos, como se pode verificar, por exemplo, comparando o plano hidrográfico levantado em 1916 “Barra e Canais de Faro e Olhão” com fotografia aérea recente.

3.2 Zona poente - Ancão

A barra do Ancão situa-se numa área muito dinâmica do sistema, estando sujeita a migrações cíclicas para nascente, por vezes descontínuas. Foi objecto de uma intervenção de realocização, a poente, em 1997 (Vila-Concejo *et al.*, 2006). Posteriormente sofreu uma evolução significativa, registando uma taxa de migração máxima de 180 m no primeiro trimestre de 2001 (Vila-Concejo *et al.*, 2004). Com base no levantamento de 2011 e em fotografia aérea de 2007 e 2009, verifica-se que entre 2007 e 2011 (mas essencialmente entre 2009 e 2011), a barra do Ancão se deslocou para nascente cerca de 1000 m, a que não terá sido estranha a ocorrência de galgamentos oceânicos e a ruptura do cordão litoral no final do Inverno de 2009/2010 (Freire *et al.*, 2011).

A comparação em planta dos levantamentos de 1980 e de 2011 indica que os canais lagunares apresentam maior profundidade em 2011 do que em 1980, decerto devido a dragagens, nomeadamente as realizadas em 2000 no âmbito da intervenção de requalificação do sistema lagunar (Fig. 4). O saldo de “erosão” na zona lagunar interior ($0,6 \times 10^6 \text{ m}^3$) é próximo do volume então dragado a W e a E da ponte da Praia de Faro. A comparação dos mesmos levantamentos incluindo a zona exterior conduz a um saldo de “erosão” superior ($1,0 \times 10^6 \text{ m}^3$), mas é

menos significativa, dado que a posição das barras em 1980 e 2011 não coincide.

A comparação de perfis longitudinais de 1980 e de 2011 indica que no esteiro do Ramalhete, no canal da Praia de Faro a W da ponte e no mesmo canal a E da ponte, a profundidade do talvegue aumentou em média, respectivamente, 2,0 m, 1,5 m e 1,3 m. Apenas no trecho de 1000 m do canal da Praia de Faro situado mais a nascente (Fig. 5), sob maior influência da barra do Ancão, este efeito de aprofundamento não é perceptível.

3.3 Zona central - Armona

A barra da Armona, no passado a mais importante do sistema, tem sofrido uma redução de largura muito significativa, a uma taxa média, na segunda metade do século XX, de 30 m ano^{-1} (Vila-Concejo *et al.*, 2002). O levantamento de 2011 revela a continuação deste fenómeno nos últimos 30 anos, encontrando-se a largura ao ZH da barra da Armona em 2011 reduzida a cerca de 200 m. Os levantamentos revelam também que, entre 1980 e 2011, o eixo da barra da Armona sofreu um

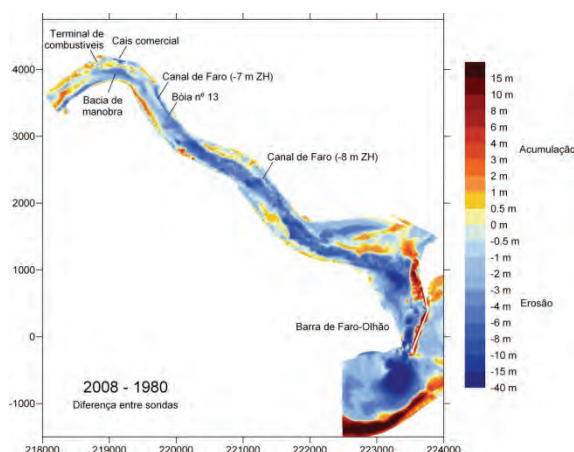


Fig. 2. Barra de Faro-Olhão e canal de Faro. Comparação de levantamentos hidrográficos de 1980 e 2008.

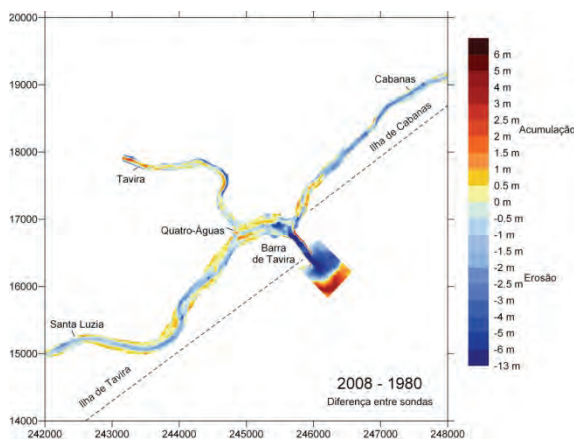


Fig. 3. Barra de Tavira e canais de Santa Luzia e Cabanas. Comparação de levantamentos hidrográficos de 1980 e 2008.

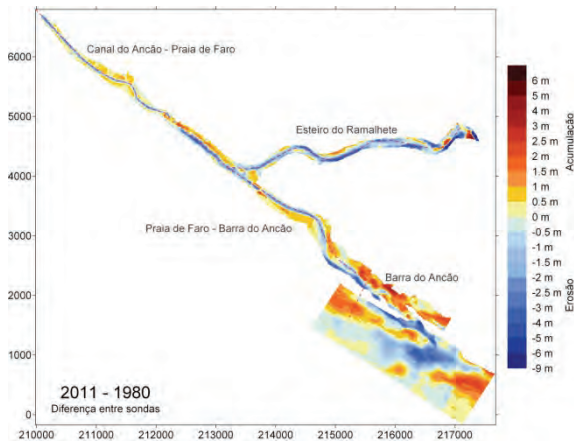


Fig. 4. Zona poente – barra do Ancão. Comparação de levantamentos hidrográficos de 1980 e 2011.

deslocamento para NE de cerca de 180 m. A redução de largura da barra provocou o estrangulamento do escoamento de maré, tendo sido acompanhada por um aumento da profundidade máxima do talvegue, de -6 m ZH para -12 m ZH, e por um apreciável desenvolvimento do delta de vazante.

A distribuição das zonas de acumulação e de erosão sugere uma relativa estabilidade da zona lagunar interior, com alguma acumulação sedimentar em pontos de confluência de canais e tendência de erosão na proximidade das barras de Faro-Olhão e da Armona. O saldo na zona lagunar interior e na zona interior da barra da Armona é de erosão ($1,4 \times 10^6 \text{ m}^3$), mas, incluindo na comparação a zona exterior da barra da Armona, obtém-se um saldo de acumulação de $0,4 \times 10^6 \text{ m}^3$.

A comparação de perfis longitudinais indica que o eixo do canal de Olhão apresenta em 2011 uma cota média da ordem de -4,7 m ZH. O mesmo eixo apresentava em 1980 uma cota média de -4,1 m ZH; o aprofundamento verificou-se essencialmente no trecho poente, sendo pouco significativo no trecho interior. Um levantamento adicional de 2005/2006 realizado pelo Instituto Hidrográfico apresenta uma cota média de -4,3 m ZH, consistente com uma tendência de aprofundamento do trecho poente, mais próximo do canal de Faro e da barra de Faro-Olhão (Fig. 6). O eixo do canal da Culatra, exceptuando o trecho de 1000 m situado mais a nascente, mais próximo da barra da Armona, evidencia grande estabilidade, apresentando em 2011 profundidades praticamente iguais às de 1980 (Fig. 7).

3.4 Zona nascente – Lacém

A evolução da zona nascente do sistema, entre 1980 e 2011, deve ser interpretada com prudência, dado terem ocorrido importantes alterações na barra do Lacém. Com efeito, em fotografia aérea de 1983 observam-se duas barras, cobrindo uma extensão de 1600 m, deslocadas 2000 m para poente da actual. A barra do Lacém terá sido dragada em 1999 (Ciacomar, 2001), mas verificou-se em 2003 a abertura natural de uma nova barra e o encerramento

da anterior (Vila-Concejo *et al.*, 2006). Entre 2007 e 2011, ocorreu um deslocamento da barra de cerca de 150 m para nascente.

A comparação de levantamentos indica que o canal lagunar interior apresenta actualmente maiores profundidades, por efeito de dragagens, excepto na proximidade da barra do Lacém. A comparação de levantamentos revela também que se verificou neste período um recuo significativo do cordão litoral. Dada a reduzida profundidade da actual barra e o importante desenvolvimento do delta de enchente, essa área surge, paradoxalmente, como zona de acumulação. Considerando apenas a zona lagunar, obtém-se um saldo de acumulação de $0,4 \times 10^6 \text{ m}^3$. Globalmente, incluindo a zona exterior, calcula-se um saldo de erosão de $2,0 \times 10^6 \text{ m}^3$.

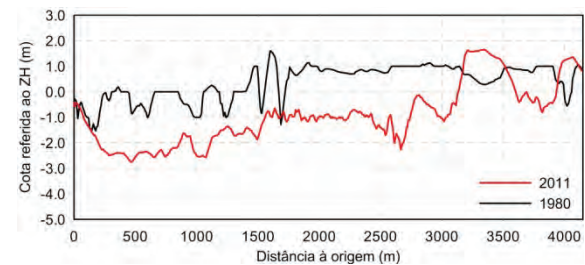


Fig. 5. Perfil longitudinal do canal Praia de Faro-barra do Ancão.

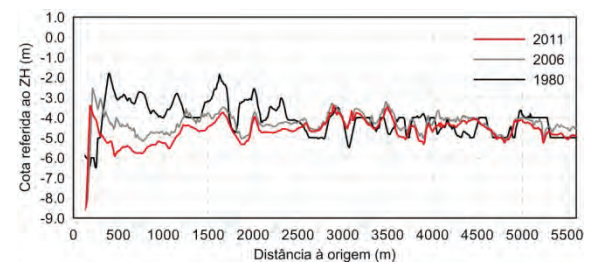


Fig. 6. Perfil longitudinal do canal de Olhão.

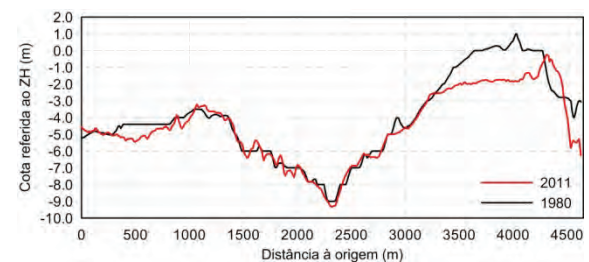


Fig. 7. Perfil longitudinal do canal Culatra-barra da Armona.

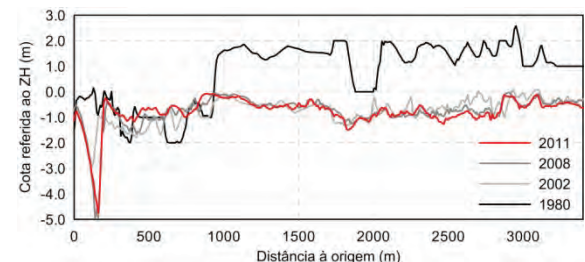


Fig. 8. Perfil longitudinal do canal de Cabanas.

O canal de Cabanas apresenta especial interesse, por existirem levantamentos em diferentes datas (1980, 2002, 2008 e 2011; Fig. 8). Relativamente a 1980, o eixo deste canal em 2011 sofreu um aumento de profundidade de 1,6 m, devido à alteração dos trechos intermédio e nascente, certamente por efeito de intervenções de dragagem. Relativamente aos levantamentos de 2002 e de 2008, realizados pelo Instituto Hidrográfico, embora na proximidade da barra de Tavira, onde a secção se encontra reduzida por aterros e obras, se observem localmente profundidades crescentes, verifica-se, globalmente, uma grande estabilidade da cota média do eixo do canal (-0,74 m ZH em 2002, -0,76 m ZH em 2008 e -0,78 m ZH em 2011).

4. CONCLUSÃO

A análise da evolução de um conjunto significativo de canais e barras da Ria Formosa, efectuada com base em levantamentos hidrográficos e em fotografia aérea, indica que: a) Entre 1980 e 2011, nas áreas abrangidas, se verificou uma perda de sedimento da ordem de 12 milhões de m³, em resultado de dragagens realizadas quer nos canais de navegação e nas barras que se encontram fixas, quer no restante espaço lagunar; b) Os canais interiores aparentam, na ausência de intervenções, uma relativa estabilidade; c) Pelo contrário, as barras naturais, tendo sofrido ou não intervenções, estão sujeitas a rápidas alterações morfológicas que condicionam a evolução dos canais mais próximos; d) A barra da Armona, que já foi a principal barra do sistema, manteve entre 1980 e 2011 a tendência de perda de importância observada nas décadas anteriores, apresentando actualmente apenas cerca de 200 m de largura ao ZH.

Agradecimentos

O autor agradece à Sociedade Polis Litoral Ria Formosa a autorização concedida para a publicação deste estudo.

REFERÊNCIAS

- Ciacomar (2001). *Relatório final da monitorização da repulsão de dragados para a zona barreira da Ria Formosa (Abril de 1999 a Dezembro de 2001)*, 70 pp.
- Freire, P., Sancho, F., Oliveira, F. (2011). *Valorização hidrodinâmica da Ria Formosa e mitigação do risco nas ilhas barreira. Relatório 1: Mitigação do risco nas ilhas barreira, 1ª fase*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Relatório 40/2011-NEC.
- Pacheco, A., Carrasco, A.R., Vila-Concejo, A., Ferreira, Ó., Dias, J.A. (2006). Recent evolution of Faro channel and its association to dredging operations (Algarve, Portugal). *Journal of Coastal Research*, SI 39, 572-577.
- Portela, L.I., Azevedo, A., Fortunato, A. (2011). *Valorização hidrodinâmica da Ria Formosa e mitigação do risco nas ilhas barreira. Relatório 3: Valorização hidrodinâmica da laguna, 3ª fase*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Relatório 395/2011-NEC.
- Vila-Concejo, A., Matias, A., Ferreira, Ó., Duarte, C., Dias, J.M.A. (2002). Recent evolution of the natural inlets of a barrier island system in Southern Portugal. *Journal of Coastal Research*, SI 36, 741-752.
- Vila-Concejo, A., Ferreira, Ó., Morris, B.D., Matias, A., Dias, J.M.A. (2004). Lessons from inlet relocation: examples from Southern Portugal. *Coastal Engineering*, 51, 967-990.
- Vila-Concejo, A., Matias, A., Pacheco, A., Ferreira, Ó., Dias, J.M.A. (2006). Quantification of inter-related hazards in barrier island systems. An example from the Ria Formosa (Portugal). *Continental Shelf Research*, 26, 1045-1060.

Variações texturais e mineralógicas da praia de S. Torpes (Fevereiro a Dezembro 2011)

C. Pólvora (1), A. Oliveira (1), A. Rodrigues (1) e C. Luz (1)

(1) Instituto Hidrográfico. cassandra.polvora@hidrografico.pt

Resumo: Neste trabalho descreve-se e utiliza-se a textura e a mineralogia dos sedimentos como traçadores da dinâmica sedimentar, tendo por objetivo determinar as variações sazonais do perfil de praia de S. Torpes, após a construção do molhe XXI, do Porto de Sines. Utilizaram-se as amostras colhidas em 4 campanhas, entre o período de fevereiro e dezembro de 2011. As análises efetuadas classificam o sedimento como areias médias bem calibradas, em que fração arenosa é constituída por duas componentes principais: uma terrígena com abundância de grãos sub-angulosos de quartzo e minerais pesados, e outra biogénica com predomínio de fragmentos de moluscos. Confirmou-se a existência de duas associações distintas de minerais pesados: uma com origem no maciço ígneo de Sines (grãos angulosos de piroxenas e anfíbulas) e outra nas rochas xisto-grauváquicas das arribas circundantes (grãos rolados de andaluzite e turmalina), tendo sido verificado um aumento significativo desta última associação nos sedimentos de praia. Na fração silto-argilosa, mais diminuta (% <1) há predomínio de calcite, micas, quartzo e plagioclase, tendo sido identificado o ilmenite, como principal mineral opaco. Foi possível verificar a existência de variações sazonais, longilitorais e transversais ligadas a trocas sedimentares entre a praia alta e a praia submersa no período estudado.

Palavras chave: Dinâmica sedimentar, Praia de S. Torpes

1. INTRODUÇÃO

A praia de S. Torpes de orientação NNW-SSE, com 1,5km de extensão e cerca de 50m de largura, localiza-se a sul do cabo de Sines; este, geologicamente, é dominado pelo maciço ígneo de Sines, estrutura sub-vulcânica de natureza gabrodiorítica, que contacta e metamorfiza a norte os calcários do Jurássico superior, e a sul os xistos do Carbónico, originando uma orla de corneanas pelíticas (Canilho, 1989). Trata-se de uma praia encaixada, limitada artificialmente a norte pelo pontão da central termo-elétrica de Sines e a sul por afloramentos rochosos.

Tendo por base a caracterização textural e mineralógica dos sedimentos da praia de S. Torpes, e utilizando os minerais pesados como traçadores naturais da dinâmica sedimentar em sedimentos arenosos, pretende-se caracterizar, do ponto de vista sedimentar, a variabilidade da praia entre fevereiro e dezembro de 2011.

2. TRABALHO DE CAMPO

Foram realizadas 4 campanhas de colheita de sedimentos na praia de S. Torpes, espaçadas de 3 em 3 meses, que procuraram caracterizar as condições típicas de inverno (18 de fevereiro), primavera (18 de maio), verão (07 de setembro) e outono (02 de dezembro). A colheita de sedimentos (num total de 102 amostras) foi realizada tendo em conta a morfologia de praia (berma, face de praia e terraço de praia), em 7 perfis equidistantes de 250m entre si (figura 1).

Também durante as 4 campanhas foi efetuado o levantamento topográfico de praia, durante a baixamar de modo a cobrir toda a extensão da mesma (Ribeiro *et al.*, 2012, *este volume*).

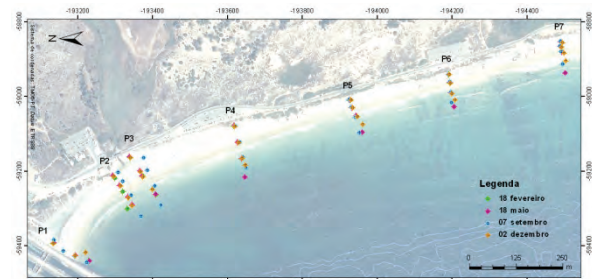


Figura 1. Localização das amostras e perfis de praia (P1 a P7), nas 4 campanhas.

3. MÉTODOS

Após a colheita, as amostras deram entrada no laboratório de sedimentologia do IH, tendo sido analisadas seguindo os procedimentos de análise granulométrica e determinação do teor em carbono, descritas nas normas técnicas NT.LB.022, NT.LB.023 e NT.LB.026 do IH.

Para a análise morfoscópica da fração arenosa e análise da mineralógica da fração silto-argilosa foram selecionadas as amostras pertencentes aos perfis P1, P5 e P7 por se considerarem mais representativos da dinâmica da praia. A análise morfoscópica da fração arenosa foi realizada recorrendo a uma lupa binocular, e observadas 5 frações (-1 a 4 ϕ), identificando pelo menos 300 grãos correspondentes às classes composicionais:

quartzo, micas, agregados (fragmentos líticos, arenitos com cimento carbonatado, agregados silto-argilosos), outros terrígenos (feldspatos e minerais pesados), moluscos, foraminíferos, outros biogénicos (espículas, placas e fragmentos de carapaças de equinodermes, ostracodos, briozoários e espículas de espongiários), glaucónia e não identificados. Com base na composição de cada uma das classes determinou-se a composição total da fração areia. A fração silto-argilosa foi analisada segundo o método descrito em Oliveira *et al.*, (2007).

Para o estudo mineralógico mais detalhado da fração pesada, apenas foram utilizadas as amostras colhidas no P5 (figura 1), nas campanhas de fevereiro, maio e setembro. As observações foram feitas ao microscópio petrográfico, e identificados 300 grãos em cada um das frações (1-2 ϕ), (2-3 ϕ) e (3-4 ϕ). As 11 espécies de minerais transparentes identificadas foram: grupo das piroxenas, grupo das anfíbolas, turmalina, andaluzite, estauroilite, biotite, moscovite, epidoto, esfena, rutilo e zircão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os sedimentos da praia de S. Torpes são constituídos por areias médias, bem calibradas, simétricas ou de assimetria positiva; composicionalmente são ricas em grãos de quartzo e fragmentos de moluscos, e a fração silto-argilosa é dominada por mica/ilite e quartzo. O teor em carbono inorgânico (CIT) ronda os 2% e tem origem nos bioclastos (moluscos, gastrópodes e foraminíferos), uma vez que as rochas da região têm baixo conteúdo em carbonatos.

Em todas as campanhas, os grãos de quartzo da fração da areia grosseira a média, são rolados com superfícies baças, geralmente esbranquiçados, e na fração areia fina e muito fina, hialinos, angulosos a sub-angulosos e com superfícies límpidas. Os fragmentos de partículas biogénicas apresentam características atuais (os moluscos têm ornamentação e interior nacarado e os fragmentos de espículas de espongiários e equinodermes, de coraliários e de restos de equinodermes apresentam cores vivas e ornamentações preservadas).

A maior percentagem de minerais pesados, na sua maioria opacos, está na fração areia fina (3-4 ϕ). Das espécies transparentes mais abundantes, foi possível confirmar duas associações de minerais pesados com diferente origem (IH, 2004). A primeira é dominada pelos grãos arredondados de turmalina (média 3%) e de andaluzite (média 14%) os quais testemunham uma evolução ocorrida em um ou mais ciclos sedimentares, e origem nas formações sedimentares detríticas da cobertura sedimentar recente e do substrato xisto-grauváquico flyschóide, que constitui as arribas adjacentes à praia. A segunda associação, com grãos do grupo das piroxenas (média 32%) e do grupo das anfíbolas (média 27%), geralmente angulosos a sub-angulosos, refletem a assinatura mineralógica das rochas ígneas básicas do maciço

ígneo de Sines (gabros e dioritos) e do campo filoniano associado.

A figura 2 mostra a variação da mediana (D50) e da percentagem de CIT ao longo da praia e sazonalmente; o D50 aumenta de norte para sul, com um ponto de viragem (perfil P4), em Maio e Setembro; a percentagem de CIT em todas as campanhas mostra, também, uma tendência para aumentar de norte para sul.

Assim, com base nos dados sedimentológicos e morfológicos obtidos, a praia pode ser dividida em dois sectores, em que o limite corresponde ao perfil P4: no sector norte o sedimento é caracterizado por ter diâmetros médios entre 1,5 e 1,8 ϕ com maior percentagem de minerais terrígenos, nomeadamente minerais pesados (percentagem mais elevada no topo do perfil P1), em relação aos fragmentos biogénicos; e o sector sul, com diâmetros médios superiores (entre 1,6 e 1,0 ϕ) e aumento da influência de partículas biogénicas.

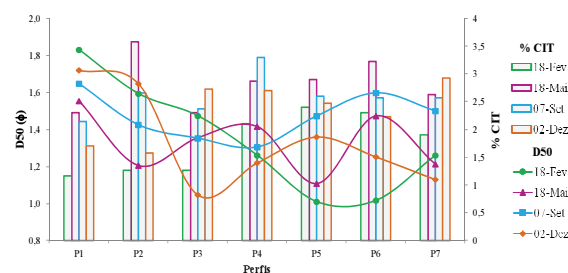


Figura 2. Distribuição da percentagem de CIT e da mediana (ϕ), da cobertura sedimentar em cada perfil, para as quatro campanhas.

4.1 Fevereiro 2011

A praia apresentava um perfil típico de inverno, tendo-se observado variação longilitoral na textura e mineralogia (figuras 3 e 4). No sector norte há predominio de sedimentos mais finos (areia média a fina), com aumento do tamanho médio do grão para sul, relacionado com o aumento da percentagem de fragmentos de molusco e decréscimo de minerais pesados; o que se verifica também na percentagem em carbono inorgânico, em que a sul rondam os 2,8% (terraço do P6) e a norte os 0,6% (topo do P1). Esta tendência também é verificada transversalmente à praia; os sedimentos submersos apresentam maiores percentagens de teor em CIT em relação aos sedimentos da parte subaérea da praia.

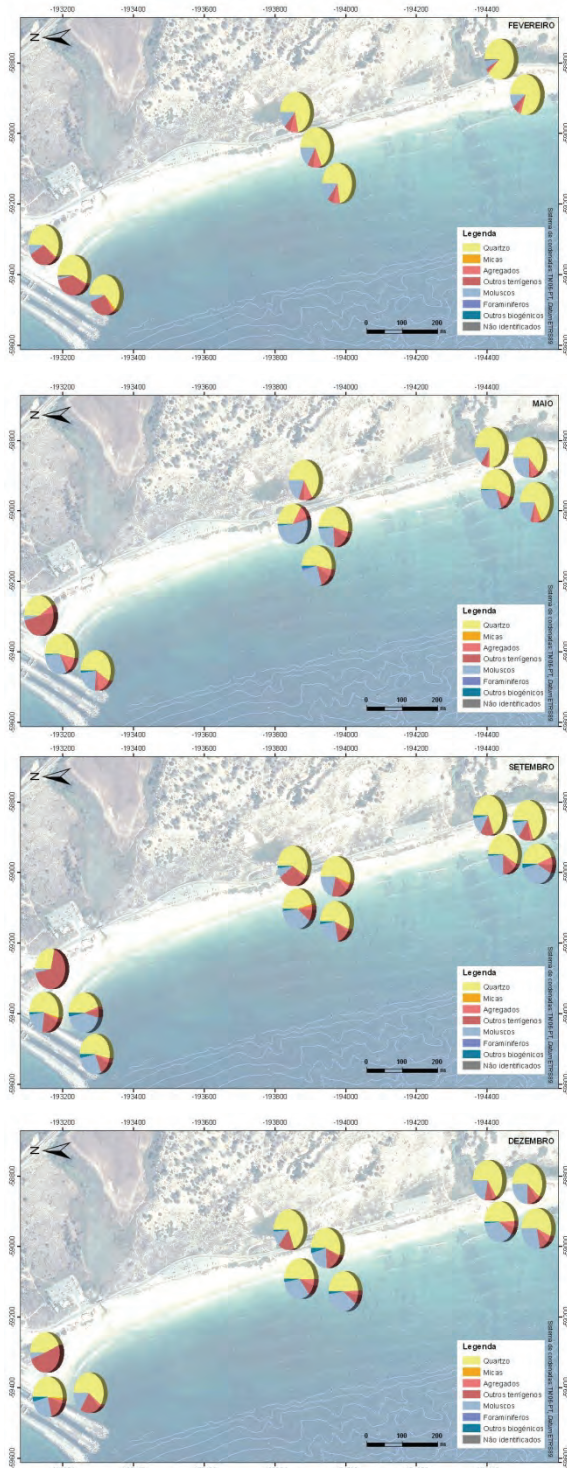


Figura 3. Mapa da distribuição da análise composicional da fração areia (fevereiro, maio, setembro e dezembro).

4.2 Maio 2011

Em maio, a praia encontrava-se em fase de enchimento após vários episódios de temporal, tendo-se verificado perda de sedimentos da porção submersa do perfil para a praia sub-aérea e

exposição dos afloramentos rochosos (especialmente no sector sul) (Ribeiro *et al.*, 2012). Na fração silto-argilosa verificou-se um aumento da percentagem média da mica/ilite, passando de 20% para 40% (figura 4). Este aumento é visível na base de todos os perfis amostrados.

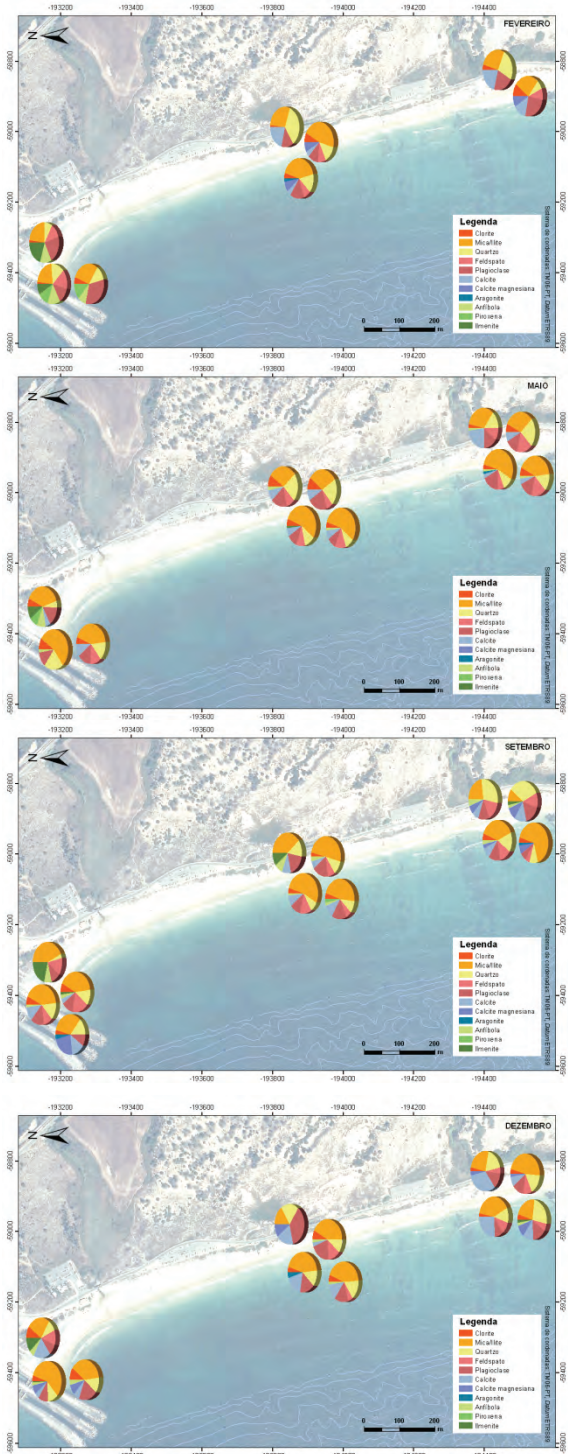


Figura 4. Mapa da distribuição da composição mineralógica da fração silto-argilosa (fevereiro, maio, setembro e dezembro).

A percentagem de CIT aumenta, de forma geral, em toda a praia, com diferenças mais significativas na zona sul. O topo do P1 é onde se verifica uma menor

percentagem de CIT (0,7%) e de fragmentos de moluscos (4,6%), mas uma maior acumulação de minerais pesados (48%).

4.3 Setembro 2011

Durante o mês de setembro, a praia de S. Torpes, apresentava um perfil intermédio, com formação de sistema lomba-canal e berma. Entre a campanha de maio e setembro, houve o enchimento da porção submersa da praia e erosão da parte sub-aérea (Ribeiro *et al.*, 2012), refletindo-se estas alterações na composição mineralógica dos sedimentos com o aumento da percentagem de moluscos (média 34%) na zona submersa dos perfis e o aumento transversal de quartzo, do P1 (média 44%) para o P7 (média 59%). Na fração silto-argilosa há aumento da percentagem de mica/ilite, na base de todos os perfis, e um acréscimo da componente carbonatada e da ilmenite (terraço do P1).

Em setembro, o teor médio de CIT é de 2,59%, variando entre 0,5% (topo do P1) e 4,7% (terraço do P7). Em comparação com a situação de primavera (maio), há um aumento da percentagem de CIT nos sedimentos submersos da zona sul da praia e uma diminuição do mesmo, nos sedimentos do topo dos perfis de praia.

Foram observados foraminíferos bentónicos, em percentagens inferiores a 1% na parte submersa de cada perfil. A percentagem de minerais pesados é mais elevada na parte sub-aérea da praia, nomeadamente no topo do P1 (67%) área onde os mesmos se acumulam preferencialmente, por retirada diferencial da fração leve (quartzo e feldspatos).

4.4 Dezembro 2011

Durante a campanha de dezembro, a praia apresentava morfologia suavizada, com sedimentos mais finos, e exposição das formações rochosas no sector sul da mesma, típico de perfil dissipativo (Ribeiro *et al.*, 2012). O mineral principal na fração areia é o quartzo (média 55%). Tal como foi observado anteriormente é notória a evolução transversal com aumento dos fragmentos biogénicos do P1 (média 5%) para o P7 (média 9%) e consequente diminuição dos fragmentos terrígenos e minerais pesados do P7 (média 6%) para o P1 (média 15%). Foram observados foraminíferos, com percentagens nunca superiores a 1% ao longo do P5 e na zona submersa do P1 e P7. O teor de CIT, varia entre 3,9% (terraço do P4) e 0,8% (topo do P1); em comparação com o mês de setembro, este diminui na toda a praia, à exceção do perfil P7, em que há um pequeno aumento da sua percentagem.

5. CONCLUSÃO

Através da análise granulométrica e mineralógica dos sedimentos da praia de S. Torpes, foi possível verificar, sazonalmente, variações longilitorais e transversais. Os sedimentos mais finos ocorrem

preferencialmente no topo dos perfis, em especial principalmente no P1 (sector norte da praia), com predomínio da fração terrígena. Com aumento da dimensão média do grão (para sul) aumenta também a influência biogénica.

A ocorrência de percentagens mais elevadas de minerais pesados faz-se durante os meses de fevereiro e dezembro, uma vez que a ação do vento e das ondas é mais intensa e retiram os minerais de densidade inferior (fragmentos biogénicos); que ocorrem com maior percentagem durante os meses de maio e setembro.

O conteúdo em minerais pesados permitiu traçar a origem maioritária dos sedimentos como sendo do maciço ígneo, devido à elevada quantidade de grãos sub-angulosos de piroxenas e anfíbolos, apesar desta percentagem ser inferior à obtida no trabalho realizado em 2004 (IH, 2004), o que poderá estar relacionado com as alterações na circulação costeira induzidas pela ampliação da estrutura portuária, localizada a norte à praia de S. Torpes.

De facto, as variações encontradas, quer a nível textural, quer a nível composicional permitem constatar a forte influência do maciço de Sines, como fonte de partículas terrígenas deste sector e a fraca energia dos processos de dispersão e transporte, apesar da variabilidade sazonal observada. O forçamento meteorológico e oceanográfico parece ser, no sector norte, atenuado pelo papel de barreira do porto de Sines.

Agradecimentos

Este trabalho insere-se no projeto “*Caracterização ambiental da área de expansão marítima do porto de Sines e região envolvente*”, solicitado pela APS, através da empresa CONDURIL.

REFERÊNCIAS

- Canilho, M. H. (1989). Elementos de geoquímica das rochas do maciço ígneo de Sines. *Ciências da Terra (UNL)*, Lisboa, 10, 65-80.
- IH (2004). *Estudo da dinâmica sedimentar litoral na zona do porto de Sines*. Lisboa, pp.204.
- Oliveira, A.; Vitorino, J.; Rodrigues, A. (2007) - *Sedimentary particle distribution and dynamics on the Nazaré canyon system and adjacent shelf (Portugal)*. *Marine Geology*, 246:105-122.
- Ribeiro, M., Ferreira, F., Rodrigues, A., Oliveira, A., Taborda, R., Pinto, J. (2012). *Morphological short-term variation on the São Torpes beach*. 2.^{as} Jornadas de Engenharia Hidrográfica (*este volume*).

Short-term morphodynamics of Almagreiro Beach (Peniche)

N. Lapa (1), A. Rodrigues (1), R. Taborda (2), A. Dias (2), M. Carapuço (3) e J. P. Pinto (1)

- (1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 49, 1249-093 Lisboa, Portugal; nuno.lapa@hidrografico.pt
 (2) Departamento de Geologia, Fac. de Ciências da Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisboa.
 (3) Instituto Dom Luiz, Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisboa

Abstract: This work aims to characterize the morphodynamics of the Almagreiro beach (Peniche), a high energetic beach that is fully exposed to the north Atlantic swell. In order to achieve this objective, several campaigns were performed, between 2009 and 2011, covering a wide range of energetic conditions. Topographic surveys were complemented with sediment samples and wave data that was registered with an ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) deployed offshore, at approximately 27 meters depth.

Keywords: Beach, morphodynamics, sediment dynamics, topography, Peniche

1. INTRODUCTION

The Almagreiro beach, a 3 km coastal stretch located on the NE-SW coast between Peniche and Lagoa de Óbidos (Fig. 1), is a narrow, low gradient and dissipative beach, backed by low to medium active cliffs.



Fig. 1 – Location of the Almagreiro beach.

This beach, fully exposed to the NE Atlantic swell, is characterized by a high energetic incident wave regime characteristic of this region. These conditions promote a high potential sediment transport both in cross-shore and longshore directions traduced in significant changes in beach morphology. The submarine beach profile is dominated by a wide surf zone (≈ 300 m), where most of the incident wave energy is dissipated. At the southward end, the beach is limited by the presence of rocky outcrops, which act as barrier to longshore sand transport, while the northern boundary is fully open.

This work aims to characterize the short-term morphodynamics of the Almagreiro beach (Peniche).

2. METHODS

2.1 Fieldwork

Almagreiro beach morphodynamics characterization was based in 13 campaigns that took place between 2009 and 2011. During this time interval, 9 topographic beach surveys and 6 sediment sampling

campaigns (Table I) were performed. The campaigns took place during spring tides, around low tide, in order to extend data acquisition as much as possible. Topographical surveys were performed using a backpack differential GPS (DGPS 900 LEICA), in RTK mode. Distance between acquisition points was set to 1 meter and all points with a 3D accuracy lower than 10 centimeters were discarded. The characterization of the beach, included the systematic survey of the overall beach surface, as well as 5 cross-shore profiles, P1, P4, P7, P10 and P13 (Fig. 2).

In these profiles, superficial sediments at the beach berm, face and terrace were collected, totalizing 79 samples. In order to access the textural characteristics of the river sediment supply, additional samples were collected from the Vale Grande stream in each sampling campaigns. Table I summarizes field work activities.

Table I – Fieldwork campaigns performed on Almagreiro beach.

Campaign	Date	Topographic survey	Sediment sampling
1	15 Oct 2009	X	X
2	15 Jan 2010		X
3	29 Apr 2010		X
4	28 Jun 2010	X	X
5	01 Oct 2010		X
6	28 Oct 2010	X	
7	11 Nov 2010	X	
8	25 Nov 2010	X	
9	10 Dez 2010	X	
10	07 Jan 2011	X	
11	26 Jan 2011	X	
12	04 Feb 2011		X
13	23 Feb 2011	X	

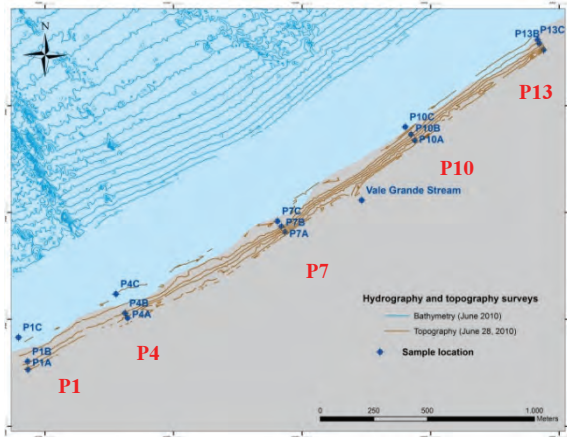


Fig.2 – Location of beach profiles (P1, P4, P7, P10 and P13) and superficial sampling stations, along the 5 profiles.

Wave data was collected by an ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) which was deployed offshore at approximately 27 m depth, in 17 minutes burst events, with sampling rate of 2 Hz, every three hours.

2.2. Data processing

The collected sediment samples were processed in the laboratory including the determination of grain size (where main statistical parameters were calculated, according to Davis (1973), Folk (1974) and McMannus (1988)). The dimensional limits for particle classes were defined according to the Wentworth classification presented by Dias (2004).

Topographic data were processed in order to compute beach profile volumes and digital terrain models (DTM).

Wave characterization was based on short-term statistics computed from the observations collected with the ADCP. The wave parameters were computed from the wave height spectra derived from the ADCP velocity profiler.

3. RESULTS

3.1. Sediment characterization

Results show that the Almagreiros beach sediments are coarse to medium sands (0 to 2 ϕ), despite some grain size variations both in time and space. Longshore spatial variations were identified as follows: in the southernmost sector (profiles 1 and 4), the sediments are medium sands (1 to 2 ϕ) while in the central and northern sectors the grain size increases to coarse sands (0 to 1 ϕ), and occasionally, fine gravel (-2 to -1 ϕ) (Fig. 3). Concerning cross-shore variations, the upper beach and beach face are characterized by medium to coarse sands while the terrace sediments are coarser, being very coarse during some periods.

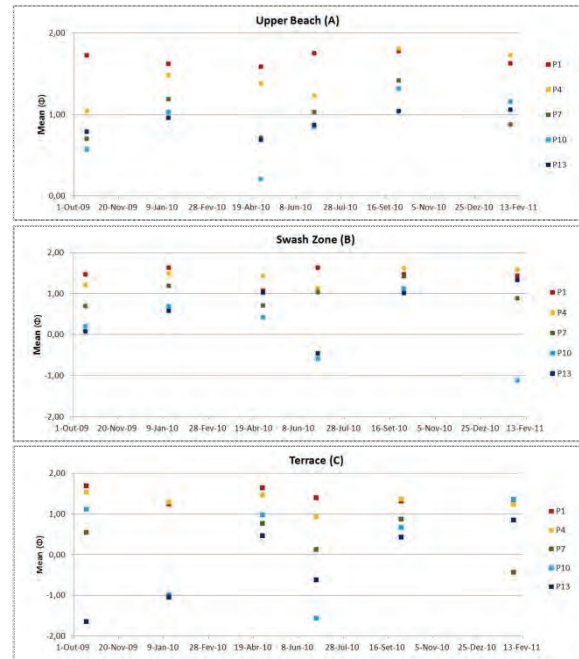


Fig. 3 – Variation of the beach sediments grain size from October 2009 to February 2011.

The mean scatterplot between the mean and standard deviation (Fig. 4) show that the finer sediments are generally well sorted while the larger fractions tend to be moderately to poorly sorted. The majority of grain size distributions is *fine to coarse skewed* except some coarse sand samples which are *strongly coarse skewed*.

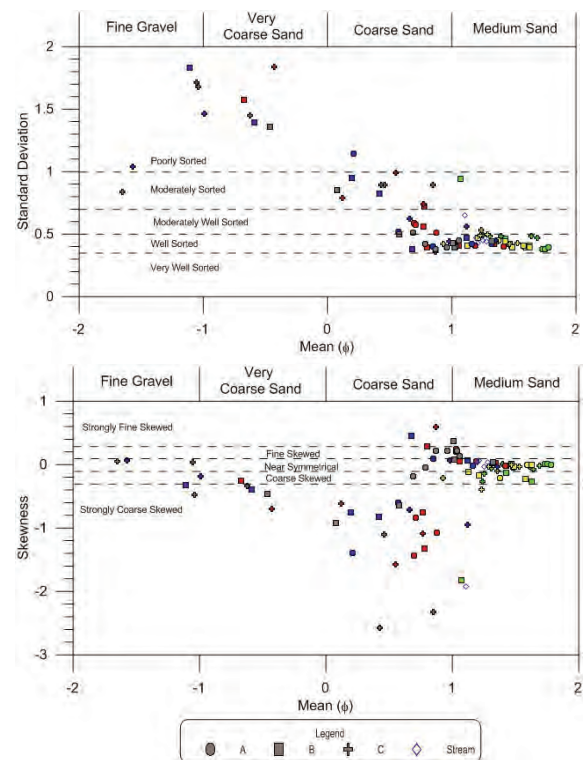


Fig. 4 – Grain size distribution vs. standard deviation plot, on top, and grain size distribution vs. skewness on bottom (A – upper beach, B – swash zone and C – terrace; P1 – green, P4 – yellow, P7 – red, P10 – blue, P13 – grey).

3.2. Beach morphodynamics

Morphological results are summarized in Table II and Figs. 5 and 6.

Table II – Computed volumetric changes (in 10^3m^3). Positive values represent net beach accretion.

Period	Balance
15 Oct 09/28 Jun 10	-100
28 Oct 10/28 Jun 10	-96
28 Oct 10/11 Nov 10	-14
11 Nov 10/25 Nov 10	-34
25 Nov 10/10 Dec 10	14
10 Dec 10/07 Jan 11	22
07 Jan 11/26 Jan 11	-19
26 Jan 11/23 Feb 11	-83
15 Oct 09/23 Feb 11	-310

During the observational period, results show a decrease in net beach volume of $310\,000\text{ m}^3$.

From 15th October 2009 to 28th June 2010 (Fig. 5) it is possible to see generalized beach face erosion, which reached the maximum extent between P4 and P10, where elevation changes reached up to 3.5 m. In contrast, the southern beach sector, in the vicinity of P1, experienced accretion with positive elevation differences that reached 0.5 m; this behavior can be explained by the presence of rocky outcrops, that develops at a normal direction to the beach extending to the inner shelf, and act as a natural spur. During this period, incident wave characteristics were typical of a winter regime, with significant wave heights of 2 m and a mean direction of 312° in a direction southward in relation to the normal to beach (323°). This induced a northwards longshore drift which translates into beach sediment depletion (Fig. 5).

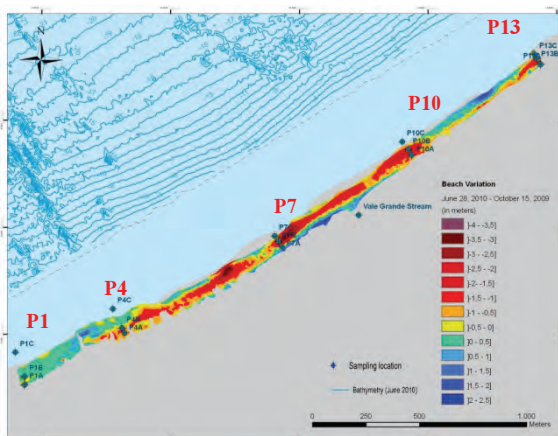


Fig. 5 – Elevation changes between 15th October 2009 and 28th June 2010. The orange/red toned colours represent the depletion areas and the blue tones the accretion areas.

Between 28th June 2010 and 28th October 2010 the erosional trend persists. The wave height exhibited

the characteristics of a typical summer regime with mean significant wave height of 1.5 m but with a direction abnormally rotated westwards (322°). This wave regime did not change the beach sedimentary budget thus maintaining the beach erosion trend.

From 28th October 2010 to 23th February 2011 (Fig. 6), the net erosional trend is maintained. The erosional pattern extended to the all beach length but with higher expression at upper beach, at the cliff toe. During this period, mean significant wave height of 2 m and a mean direction of 314° (NW) were registered. This wave regime induced a northward longshore drift, prolonging the erosional beach state.

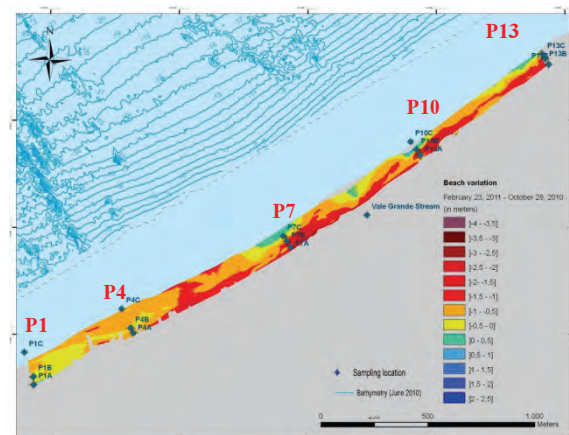


Fig.6 – Elevation changes between 28th October 2010 and 23th February 2011. The orange/red toned colours represent the depletion areas and the blue tones the accretion areas.

4. DISCUSSION

During the monitoring period, the Almagreiros beach revealed an unforeseen persistent erosional behaviour that endured in both winter and summer. As the Almagreiros beach is located on the southernmost end of a littoral cell (the southern boundary is partially closed while the northern one is open), a northward directed longshore drift, induces a negative sedimentary budget, while a southern direct longshore drift has an opposite effect.

Considering that throughout the observational period the wave regime was unusually more rotated westwards than the average long-term direction, this induced an abnormal northward direct longshore drift, which translated in observed erosional trend.

A major issue regarding the measured morphological changes at Almagreiros beach is to recognize if the trend is representative of long-term beach behaviour.

The representativeness of the wave regime during the study period can be accessed through the use of North Atlantic Oscillation (NAO) index (www.cpc.ncep.noaa.gov) considering the strong link between the ocean and atmospheric dynamics. In fact, a negative NAO index is related to western-than-average mean wave direction while a positive

index is connected to a northern-than-average direction (Dodet *et al.*, 2010). Taken into account the time-series of the NAO index from 2002 to 2012 (Fig. 7), it can be seen that, the observational period correspond to a major negative anomaly, which agrees with the persistent northern directed longshore drift and erosion observed at Almagreiro beach.

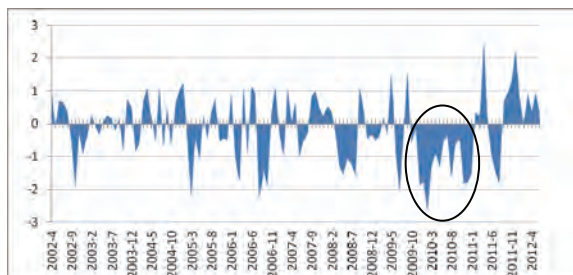


Fig. 7 – NAO variation from April 2002 to April 2012.

5. CONCLUSIONS

This work describes the short-term morphodynamics of Almagreiro beach (Peniche) based on the systematic survey of sedimentological and morphological variations. During the studied period, the beach revealed a persistent erosional behaviour that was related with northern directed longshore drift.

The accretion and erosion patterns at Almagreiro beach seems to be constrained by its geomorphological setting at the end of a littoral cell and, thus, dominated by the longshore drift gradients. This background makes the sedimentary balance at Almagreiro beach very susceptible to the rotation of wave regime.

Acknowledgments:

This is a contribution of the European “Simple Underwater Renewable Generation of Electricity - SURGE” project (contract FP7/ENERGY/2008/TREN1/239496).

REFERENCES

- Davis, John C. (1973) – *Statistics and Data Analysis*, Geology (2nd Ed.), John Wiley & Sons, 646 pp.
- Dias, J. M. A. (2004) – *A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos (uma Introdução à Oceanografia Geológica)*. http://w3.ualg.pt/jdias/JAD/e_books.html
- 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), 120-131.
- Folk, R. L. (1974) – *The petrology of sedimentary rocks*: Austin, Tx, Hemphill Publish.Co., 182 pp.

McMannus, J. (1988) – Grain size determination and interpretation in: *Tucker, M.(ed.): Techniques in sedimentology*. Blackwell Scient. Public. pp 63-85.

Wentworth, C.K. (1922) – *A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments*. *Journal Geology*, 30, pp 377-392.

www.cpc.ncep.noaa.gov

Evolução da linha de costa na praia de São Torpes nas últimas décadas

F. Ferreira (1), R. Taborda (2), A. Rodrigues (1) e M. Ribeiro (1, 2)

- (1) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 49, 1249-093 Lisboa. frederico.ferreira@hidrografico.pt
 (2) Instituto D. Luiz, Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisboa.

Resumo: O principal objetivo deste trabalho é descrever a evolução da praia de S. Torpes à escala decadal, num contexto de crescente intervenção antrópica.

A linha de costa foi identificada nos documentos fotográficos de 1967, 1987, 1995 e 2004 (fotografias aéreas e ortofotomapas) a partir da linha correspondente à base da duna/arriba. Para quantificar a evolução da linha de costa na praia, utilizou-se a ferramenta DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*), para o ajuste ao modelo parabólico foi utilizado o *software* MEPBAY (*Model for Equilibrium Planform of Bay Beaches*).

No período analisado (37 anos), observa-se rotação em sentido anti-horário, com recuo da linha de costa no setor sul e progradação no setor norte. Os resultados obtidos através do ajuste ao modelo parabólico mostram que a evolução da praia foi determinada não só pelo efeito das sucessivas ampliações do porto mas também pela construção dos molhes da central termoeleétrica.

Palavras chave: São Torpes, linha de costa, DSAS, MEPBAY

1. INTRODUÇÃO

A compreensão da dinâmica da linha de costa é de grande importância para o planeamento e gestão das regiões costeiras, principalmente quando estas estão sujeitas a uma grande pressão antropogénica. Esta estreita faixa de terra, afetada constantemente por processos oceanográficos essencialmente relacionados com a agitação marítima e marés, é muito dinâmica e suscetível a alterações de natureza global e local.

A área em estudo é a praia de S. Torpes, localizada a sul de Sines, numa zona costeira que tem vindo a sofrer grandes transformações, devido à construção de infraestruturas portuárias, em terra e no mar, que servem essencialmente de abrigo e de apoio ao porto de Sines. A construção do porto de Sines foi iniciada em 1973, e desde essa altura o porto tem experimentado inúmeras obras de ampliação.

No seguimento das intervenções que estão previstas para o porto de Sines onde se inclui a expansão do terminal XXI, foi realizado o estudo que se apresenta, e que tem como objetivo a descrição da evolução da praia de S. Torpes, à escala decadal, e que se pretende que seja um instrumento importante para a gestão ambiental desta região costeira, uma vez que permite deduzir o comportamento da linha de costa associada às intervenções previstas.

2. MÉTODOS

A descrição da evolução da linha de costa foi efetuada recorrendo à análise de fotografias aéreas (1967, 1987 e 1995) e ortofotomapas (2004). Estes elementos permitiram caracterizar o setor costeiro, quer no período anterior à construção do porto de Sines (1973), numa altura em que a linha de costa se

encontrava menos intervencionada, quer nas sucessivas fases de construção e ampliação do porto.

As fotografias aéreas e os ortofotomapas foram processados no *software* ArcGIS 10 da ESRI e georreferenciadas com recurso à ferramenta *georeferencing*. Para georreferenciar as fotografias aéreas foram identificados pontos de controlo reconhecidos simultaneamente nos ortofotomapas e nas fotografias aéreas (erro associado de 6 metros).

A linha de costa, para cada ano considerado, foi vetorizada, gerando uma série multitemporal abrangendo o período de 1967 a 2004.

A interpretação da posição da linha de costa em diferentes suportes cartográficos constitui-se como uma tarefa complexa, devido à dificuldade em adotar critérios simples e objetivos. A definição da linha de costa baseou-se no conceito de Linha Máxima de Preia-Mar em Águas Vivas Equinociais (LMPAVE), definido em Teixeira (2009). Esta tarefa teve em consideração a morfologia do lado de mar (Leito) e do lado de terra (Margem).

A análise e quantificação da evolução da linha de costa no período de análise foi efetuada através da ferramenta DSAS, que é uma extensão que amplia as funcionalidades do *software* ArcGIS. Esta ferramenta permite a automatização de grande parte das tarefas relacionadas com a análise quantitativa da evolução das tendências de erosão e acreção através de uma série estatística de tempo e posições múltiplas da linha de costa (Thieler *et al.*, 2005). O DSAS gera um conjunto de perfis ortogonais (a verde na figura 1) a uma linha de base definida pelo operador (a amarelo na figura 1). Com base no espaçamento definido são calculadas as taxas de variação da linha de costa através de diferentes métodos estatísticos que, posteriormente são convertidas numa tabela de atributos. A figura 1

representa a aplicação para o caso da praia de S.Torpes.

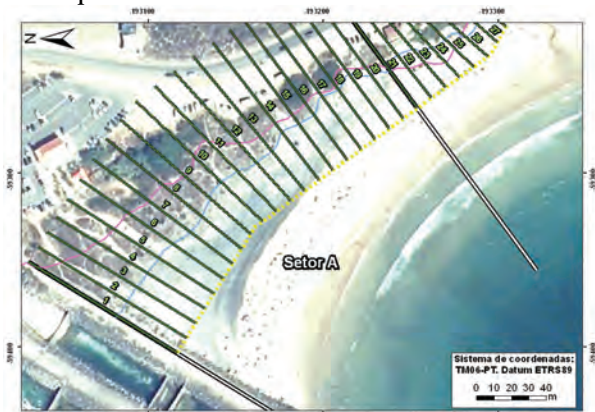


Fig. 1 – Exemplo de aplicação do DSAS no extremo norte da praia de S. Torpes. A azul está representada a linha de costa em 2004 e a rosa a linha de costa em 1967.

A praia de São Torpes corresponde a uma praia em baía com as características necessárias para aplicação de modelos de linha de costa parabólicos, como o de Silvester e Hsu (1993). O modelo parabólico baseia-se nas relações entre as características geométricas da praia em planta e no ângulo de incidência da agitação marítima (Silvester e Hsu, 1993), segundo a equação 1 e figura 2:

$$\frac{R_n}{R_\beta} = C_0 + C_1 \left(\frac{\beta}{\theta_n} \right) + C_2 \left(\frac{\beta}{\theta_n} \right)^2 \quad (1)$$

onde: R_β é o comprimento da linha de controlo, ρ o ângulo formado entre as linhas de crista de onda e R_β ; θ é o ângulo formado entre a linha de crista de onda e os demais comprimentos R_n ; R_n são os raios traçados a partir do ponto de difração das ondas e unidos ao longo da praia tendo em conta θ ; C_0 , C_1 e C_2 correspondem aos coeficientes obtidos em função do ângulo β e definidos através de testes (valores tabelados em Silvester e Hsu, 1993).

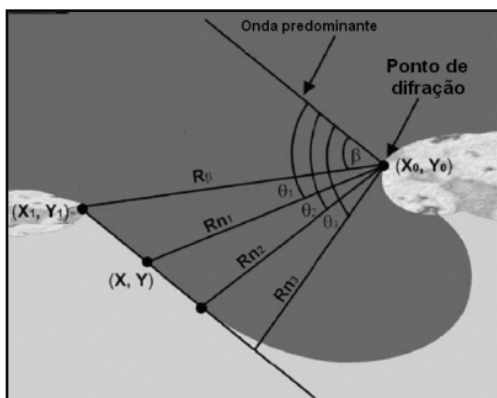


Fig. 2 – Parâmetros físicos utilizados na aplicação do modelo parabólico (adaptado de Klein et al., 2003).

Posteriormente, Klein (2003) desenvolveu o software MEPBAY que, graficamente, testa as diversas posições da linha de costa para diferentes pontos de difração das ondas. Esta aplicação revelou-se bastante útil na definição de impactos associados à construção de obras costeiras que

induzam modificações da fisiografia litoral (e.g.: construção de molhes ou quebra-mares).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da aplicação da ferramenta DSAS à variação da linha de costa em S. Torpes permitiu segmentar a praia em três setores distintos identificados como Setor A, B e C, representados nas Figuras 3 e 4).

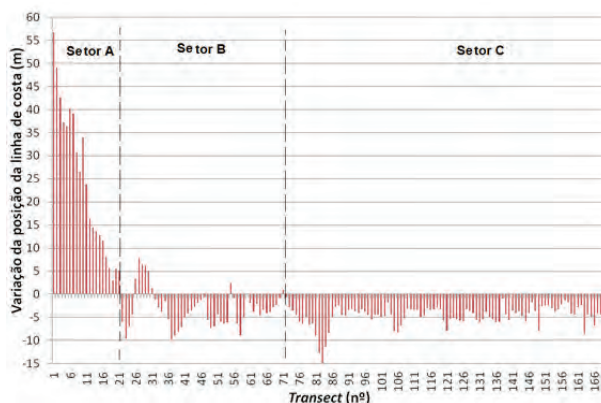


Fig. 3 – Variação da posição da linha de costa entre 1967 e 2004. Os valores negativos indicam recuo e os positivos progradação da linha de costa.



Fig. 4 – Praia de S. Torpes dividida em três setores.

Durante o período considerado, verificou-se uma progradação da linha de costa, ao longo de todo o setor A que atingiu um máximo de 56 m no limite adjacente ao molhe da central termoelétrica. Este cenário de acreção parece estar diretamente relacionado com a construção do molhe, uma vez que este oferece condições privilegiadas de abrigo, e funciona como barreira ao trânsito dos sedimentos. Os valores máximos do avanço da linha de costa foram de 33 m entre 1967 e 1987 (1,7 m/ano); de 12 m entre 1987 e 1995 (1,7 m/ano); e de 11 m entre 1995 e 2004 (1,2 m/ano). As variações neste setor foram, progressivamente, atenuadas para sul. No setor B não se verificaram diferenças significativas na posição da linha de costa nos diferentes anos estudados. Adicionalmente, não se verificou nenhuma tendência evolutiva definida, quer positiva (acreção) quer negativa (erosão). As

variações entre as linhas de costa foram normalmente inferiores a 5 metros, existindo variações pontuais que se aproximaram dos 9 metros.

Por último no setor C, verificou-se uma tendência em que as três linhas de costa mais recentes (1987, 1995 e 2004) recuaram em relação à linha de costa de 1967. As linhas de costa de 1987, 1995 e 2004, ao longo deste setor, variaram de posição mas sem se verificar nenhuma tendência constante de erosão ou acreção. O recuo verificado entre a linha de costa de 1967 e as restantes variou em média 8 metros, sendo o máximo registado de 13 metros.

O ajuste do modelo parabólico à praia de S. Torpes foi realizado com o programa MEPBAY. Neste processo foram testados diferentes pontos de difração das ondas, com o objetivo de verificar qual deles se adequava melhor à situação de referência da praia de S. Torpes. O ponto de difração foi ajustado a diferentes estruturas do porto de Sines e aos molhes da central termoelétrica, mantendo sempre a mesma direção correspondente à secção retilínea da praia (Fig. 5, 6 e 7).



Fig. 5 – Ajuste da configuração parabólica (a verde) com o ponto de difração (a verde) nas imediações da ponta do molhe Oeste.



Fig. 6 – Ajuste da configuração parabólica (a laranja) com o ponto de difração (a laranja) nas imediações da ponta do molhe Leste (ampliação 1). A amarelo encontra-se igualmente o ajuste da configuração parabólica com o ponto de difração (a amarelo) nas imediações da ponta do molhe Leste (ampliação 2), esta ampliação encontra-se em execução e é representada a vermelho na figura.

Os resultados obtidos nas simulações efetuadas, ilustrados nas figuras 5, 6 e 7, mostram que a praia de S. Torpes é influenciada por dois pontos de difração que permitem o melhor ajuste do modelo à configuração plana atual da praia. A curvatura da praia é influenciada pelo molhe Leste e pelos molhes da central termoelétrica. O ponto de difração situado nas imediações do molhe Leste influencia o setor sul da praia e, o ponto de difração que se localiza nas imediações dos molhes da central termoelétrica influencia o setor norte (Fig. 8).



Fig. 7 – Ajuste da configuração parabólica (a vermelho) com o ponto de difração (a vermelho) nas imediações dos molhes da central termoelétrica.

Segundo Klein (2003), quando a linha de costa teórica coincide com a linha de costa observada na imagem, significa que a praia se encontra em equilíbrio estático, sendo este o caso da praia de S. Torpes (Fig. 8).

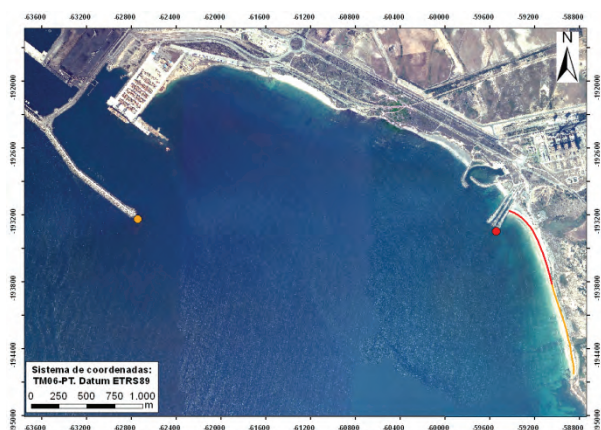


Fig. 8 – Melhor ajuste da configuração parabólica para a praia de S. Torpes, considerando dois pontos de difração. A laranja está representado o ajuste para o setor sul da praia e o respetivo ponto de difração; e a vermelho está representado o ajuste para o setor norte da praia e o respetivo ponto de difração.

As observações efetuadas das fotografias aéreas e do ortofotomapa da praia, indicam que esta tem sofrido erosão a sul e acumulação a norte. Esta tendência evolutiva parece resultar do impacto das estruturas associadas ao porto de Sines, nomeadamente o molhe Oeste e o Leste, que influenciaram o rumo das ondas incidentes na praia de S. Torpes, e dos

molhes da central termoelétrica que parecem funcionar como barreira à deriva litoral para norte concebendo condições privilegiadas de abrigo para a deposição e acumulação local de sedimentos.

A tendência evolutiva descrita será acentuada pela expansão do porto e ampliações previstas para os molhes. Já construída, a ampliação do molhe Leste em mais 400 m com orientação noroeste-sudeste, irá proteger ainda mais a praia de S. Torpes dos rumos da agitação vinda dos quadrantes noroeste e norte. A concretizar-se a nova ampliação do molhe de 2 km para sudeste (em fase de estudo pela Administração do Porto de Sines (APS)), criar-se-á uma barreira à propagação da agitação marítima não só de norte e noroeste, mas também de oeste. Deste modo, as condições de acumulação sedimentar, que se observam atualmente, apenas no setor norte da praia, estender-se-ão progressivamente a quase toda a totalidade da praia de S. Torpes. De acordo com a aplicação do modelo parabólico MEPBAY, a nova configuração do molhe Leste, induzirá uma rotação em sentido anti-horário da configuração plana da praia, conduzindo à erosão do sector sul e acumulação a norte, com condições para a ocorrência de transposição de sedimento para norte dos molhes da central termoelétrica. Nesse sentido, é provável que a praia evolua entre dois cenários considerados extremos (Fig. 9): i) junto aos molhes a morfologia da praia atual mantém-se invariante; neste cenário admite-se que a capacidade máxima de retenção de sedimentos por partes destes molhes já foi atingida; ii) a praia irá estender-se até ao extremo da extensão do molhe; este cenário majora a capacidade de retenção de sedimentos por parte destes molhes.



Fig. 9 – Cenários entre os quais evoluirá a morfologia da praia para a nova configuração do molhe Leste, em fase de estudo pela APS (a vermelho). A azul a linha de costa considerada para o cenário i) e a verde para o cenário ii); a amarelo o ponto de difração considerado para ambos os cenários; a rosa área de jurisdição terrestre atual da APS.

Em ambas as situações considera-se que o sedimento que irá transpor os molhes da central termoelétrica, se irá acumular a norte destes molhes.

4. CONCLUSÕES

A análise da variação da linha de costa da praia de S. Torpes entre 1967 e 2004 indica uma rotação em sentido anti-horário na configuração plana da praia, com progradação no setor norte com uma magnitude máxima de 56 m no limite adjacente ao molhe da central termoelétrica, e recuo generalizado no setor sul, com um recuo máximo de 13 m.

A aplicação do modelo parabólico sugere que a construção dos molhes associados à tomada de água da central termoelétrica foram os principais responsáveis pela evolução observada.

Para a nova configuração do molhe Leste, em fase de estudo pela APS, prevê-se que a rotação da configuração plana da praia em sentido anti-horário se acentue, levando à acumulação de todo o sedimento da praia no setor norte e transposição de sedimento para o setor costeiro a norte dos molhes da central termoelétrica. Este comportamento poderá levar ao desaparecimento do sector meridional da praia de S. Torpes. Os resultados descritos apontam para o delicado equilíbrio que a praia de S. Torpes se encontra atualmente e permite avaliar de forma objetiva os impactos que as sucessivas obras de expansão do porto de Sines tiveram na evolução deste troço costeiro.

Agradecimentos

Este trabalho insere-se no projeto de investigação e desenvolvimento “*Caracterização ambiental da área de expansão marítima do porto de Sines e região envolvente*”, solicitado pela APS, através da empresa CONDURIL. Os autores agradecem a estas entidades a disponibilização dos dados e autorização na publicação deste artigo.

REFERÊNCIAS

- Thieller, E. R.; Martin, D.; Ergul, A. (2005). *The Digital Shoreline Analysis System, version 2.3. Shoreline change measurement software extension ArcMap 9.0*. USGS Open-File. <http://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/dsas/>
- Klein, A. H. F.; Vargas, A.; Raabe, A. L. A.; Hsu, J. R. C. (2003). Visual assessment of bayed beach stability using computer software. *Computer and Geosciences*, 29:1249-1257.
- Silvester, R. e Hsu, J.R.C. (1993). *Coastal Stabilization: innovative concepts*. Englewood Cliffs, New Jersey. Prentice Hall, 578pp.
- Teixeira, S. B. (2009). Demarcação do leito e da margem das águas do mar no litoral sul do Algarve. *Administração da Região Hidrográfica do Algarve*. Faro, 207p.

Aplicação do LISST em praias estuarinas. Exemplo da praia do Alfeite

A. Oliveira (1), A. Santos (1) M. Ribeiro (2) e C. Pólvara (1)

- (1) Instituto Hidrográfico - Rua das Trinas 49, 1249-093 Lisboa. anabela.oliveira@hidrografico.pt
 (2) FCUL/ IH - Instituto Hidrográfico - Rua das Trinas 49, 1249-093 Lisboa

Resumo: O presente trabalho teve como objetivo estudar a dinâmica dos sedimentos em suspensão durante um ciclo de maré, em ambiente de praia de baixa energia, tendo como caso de estudo a praia estuarina do Alfeite. A sonda LISST foi associada a um OBS 3+ e a um TDR 2050; simultaneamente foram realizadas colheitas de água (30 em 30 min) para calibração da concentração e granulometria dos sedimentos em suspensão. Os equipamentos foram colocados na face de praia, fixos à estrutura de proteção do LISST, a cerca de 19-20cm do fundo.

Os resultados mostram que não ocorreram variações significativas na concentração de sedimento em suspensão entre a enchente e vazante, com valores médios de 0.43g/l e 0.47g/l, respetivamente. Contudo, observou-se que em situação de enchente há possibilidade de erosão e transporte de sedimento mais grosseiro (maioritariamente biogénicos), entre o raso de maré e a face da praia; em situação de vazante, são as areias muito finas e o silte que são eficazmente remobilizadas e transportadas para o raso de maré.

Palavras chave: praia de baixa energia, LISST, sedimentos, Alfeite.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo têm sido desenvolvidos vários métodos para medir a concentração de sedimentos em suspensão (CSS) na zona de rebentação, pois é um parâmetro fundamental para quantificar o transporte longilitoral total. Os métodos mais usados são as armadilhas de sedimentos e as bombagens que permitem aceder diretamente às características composicionais e texturais do sedimento mas têm o grande inconveniente de serem amostras instantâneas no tempo; e os indiretos utilizando sensores ópticos – (OBS) e acústicos – (ABS) que permitem a aquisição de dados temporais a elevadas frequências, mas que necessitam de calibração. O LISST também é um método indireto mas para além de medir a concentração, têm a vantagem de medir a dimensão das partículas, e a sua calibração necessita apenas de um fator, para todo o intervalo de utilização (LISST's, 1997). Como a granulometria raramente se mantém no espaço e no tempo os instrumentos ópticos e acústicos de retrodispersão, devem usar diferentes calibrações para cada uma das distribuições granulométricas. Por exemplo, no caso do OBS3+, se houver em suspensão uma grande quantidade de partículas siltosas, a resposta do OBS é duas vezes superior ao verificado com a mesma concentração de areias, mesmo que as duas concentrações em massa sejam as mesmas; se for silte fino, com um diâmetro de 10µm, a resposta do OBS será 10x superior; se tivermos argilas, com 2µm de diâmetro, a resposta do OBS será 50x superior. O mesmo se passa se tivermos diferentes tamanhos de areia em suspensão (Battisto, 2000).

Este trabalho pretendeu testar e calibrar o sistema LISST, na zona de rebentação de uma praia de baixa energia e contribuir para o conhecimento dos processos de dispersão dos sedimentos em suspensão na praia do Alfeite.

2. ÁREA DE ESTUDO

A praia do Alfeite, com cerca de 2600m de extensão, localiza-se na margem norte da restinga do Alfeite, no estuário do Tejo. É uma praia refletiva, em que a face de praia é, de um modo geral, constituída por areia quártzica, de grão médio a grosseiro que contacta inferiormente com um raso de maré arenoso de cerca de 300m de largura (Freire, 2003). O contacto entre a face da praia e o raso de maré está marcado, geralmente, por um depósito residual de cascalheira, por vezes com elevada percentagem de bioclastos.

A amplitude local da maré varia entre 3.2m e 1.5m, em marés vivas e mortas, respetivamente. O nível máximo da maré acima do Zero Hidrográfico (ZH) é de 4.3m. Esta praia está exposta à agitação local, originada fundamentalmente por ventos do quadrante N com *fetch* da ordem de 13km. O regime de agitação médio é caracterizado por ondas com altura significativa média de 0.2-0.4m (Freire & Andrade, 1998).

3. MÉTODOS

O sistema LISST (*Laser In Situ Scattering Transmissometry*) permite medir *in situ* a dimensão dos sedimentos em suspensão (2.5 a 500 µm) e a respetiva concentração, assim como a temperatura e

a pressão. Neste trabalho, o LISST foi associado a um turbidímetro OBS 3+ (*Optical Backscatter Sensor*) para medir a CSS e a um TDR 2050 (*Temperature, Depth, Recorder*) para medir as variações da coluna de água. Os equipamentos foram programados para o registo e gravação dos dados, com o máximo de resolução: 0.1 Hz no caso do TDR; 2 Hz no caso do LISST e 10 Hz no caso do OBS3+. Simultaneamente, foram colhidas amostras de águas (30 em 30 min), junto dos sensores, para posterior calibração da concentração e granulometria dos sedimentos em suspensão. Os equipamentos foram fundeados, na face de praia, fixos à estrutura de proteção do LISST, a cerca de 19-20cm, do fundo. A amostragem de água foi realizada com uma garrafa de Niskin de 8 litros, colocada na horizontal a 15-20 cm do fundo, e armazenada em recipientes de plástico de 5 litros. Posteriormente, em laboratório (nas 24h seguintes), as amostras de água foram filtradas em filtros de acetato de celulose (0.45µm de porosidade e 47mm de diâmetro), que foram secos (40°C, 24h) e pesados para determinar a concentração, em mg/l. A análise textural dos sedimentos com dimensão superior a 63µm foi realizada pelo método da peneiração, e a dos sedimentos com dimensão inferior a 63µm pelo método da difração laser (*Malvern Microp2000*).

2.1. Processamento dos dados

A concentração de sedimento medida pelo LISST, em µg/l, foi convertida em g/l, através da expressão:

$$C \left(\frac{g}{l} \right) = C \left(\frac{\mu l}{l} \right) \times \gamma / 1000 \quad (\text{eq. 1})$$

C = Concentração

γ = Densidade das partículas (quartzo = 2.65 g/cm³)

O sinal do OBS3+ (em mV) foi convertido em g/l, a partir da equação de calibração, obtida em laboratório com areias do Alfeite (Ribeiro *et al.*, 2010) e em função do diâmetro das partículas em suspensão obtidos pelo LISST. O cálculo de conversão foi realizado assumindo uma mediana (D50) constante de 3.38 ϕ (96µm) e um D50 variável (de acordo com o registo do LISST):

$$c = (0.0076d^2 - 0.0556d + 0.1196)x(V - b)$$

C é a concentração em g/l, V é o output do OBS em mV, d é o diâmetro das partículas em ϕ e b é o coeficiente que depende da concentração de fundo (*wash load*).

Foi realizada a comparação das distribuições granulométricas obtidas em laboratório, por análise dos sedimentos amostrados com as garrafas de Niskin, e as resultantes das medições do LISST a hora das respetivas amostragens.

Os dados de pressão foram corrigidos por remoção do *offset* de pressão (valor de registado pelo TDR antes de entrar na água) e filtrados pelo método das médias móveis de 10 em 10 minutos, permitindo observar a variação da maré.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A campanha decorreu no dia 13 de Julho de 2010, em situação de marés vivas (MV), com uma amplitude de maré de 3.5 m, ondulação de 20-30cm e vento fraco de NW (9.3-16.7 km/hora) de parte da manhã, tornando-se mais forte (14.8-25.9 km/h) de N-NW, ao início da tarde, com aumento da altura da ondulação (~40-50 cm). A temperatura média do ar foi de 22°C. A pressão do nível médio do mar variou de 1014-1017 hPa (média de 1016 hPa) (1hPa=0.001bar).

3.1. Temperatura das águas

A temperatura média registada pelos equipamentos foi de 23.9 °C, variando de 23.1 a 27.3°C. O máximo de temperatura verificou-se no início do registo (14:47h), decrescendo com a enchente e entrada de águas mais frias na baía. O valor mínimo, ocorreu por voltas das 16:26h, mantendo-se em torno da média, até ao final do registo.

3.2. Granulometria do sedimento em suspensão (LISST versus colheitas)

No período considerado (entre as 15:06h e as 19:25h), a percentagem média de areia foi de 64% (min:27%; max: 98%), de silte foi de 32% (min:1.5%; max: 57%) e de argila de 4% (min:0.12%; max: 19%). A figura 1, mostra que a fração areia têm um comportamento inverso à do silte, verificando-se que quando a percentagem de areia aumenta a do silte diminui e vice-versa. Observou-se um aumento significativo da percentagem de silte e argila em torno da PM.

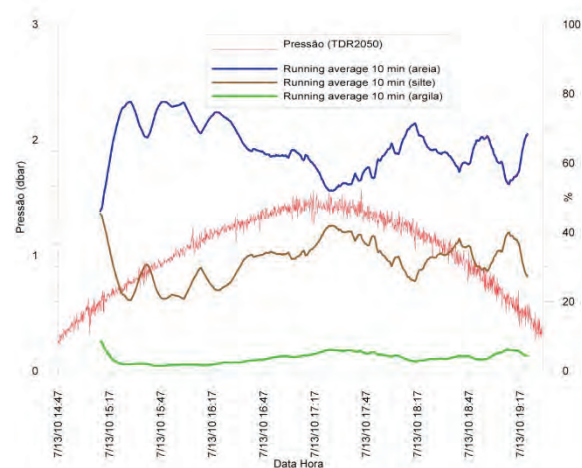


Figura 1. Registo de 10 em 10 min. da % de areia, silte e argila. A linha a vermelho representa a altura de água (pressão dbar).

Em relação às distribuições granulométricas, a moda principal variou de 460µm a 54µm, com valor médio de 132µm (areia fina) e a mediana (D50) variou de 363µm a 39µm com valor médio de 96µm (areia muito fina). A figura 2 mostra que os sedimentos em suspensão durante a enchente são caracterizados por diâmetros medianos e modas mais grosseiras (provavelmente relacionado com a maior energia da

onda, e/ou disponibilidade de partículas dessa dimensão no sedimento), que na PM e na vazante onde os valores de D50 raramente ultrapassam os 150 μ m (fig. 3).

As distribuições granulométricas obtidas com o LISST (fig.4), para o momento da amostragem, mostram curvas populacionais com moda principal na fração da areia fina (128-157 μ m) a muito fina (88-104 μ m) e deassimetria positiva (enriquecida em finos). A exceção, é o registo das 14:45h, onde a curva obtida é polimodal e com assimetria negativa (aberta nos grosseiros e com moda superior a 500 μ m, limite superior do LISST). A análise granulométrica realizada no material colhido em suspensão confirma as modas registadas pelo LISST; tendo sido identificada a curva polimodal na colheita das 14:45h, com modas aos 8 μ m, 110-120 μ m e 600 μ m.

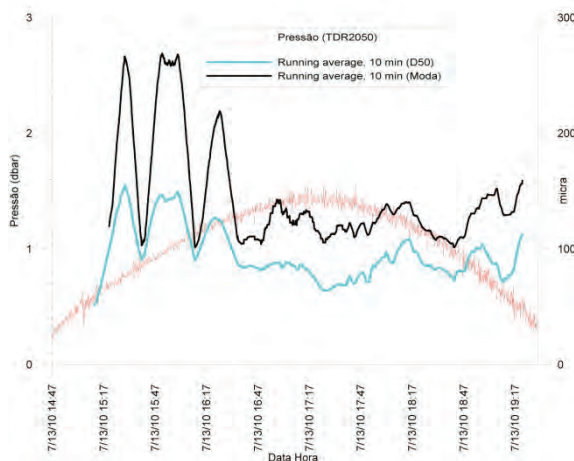


Figura 3. Registo de 10 em 10 min. da Moda e D50 (μ m). A linha a vermelho representa a altura de água (pressão dbar).

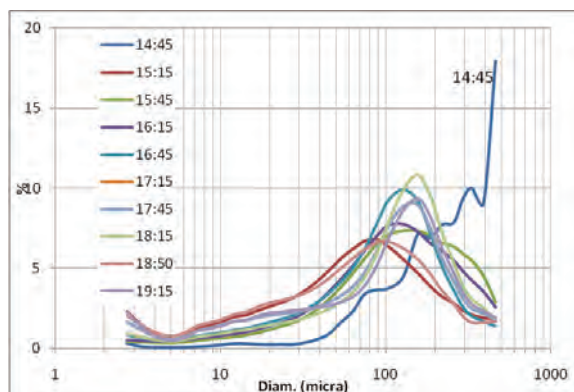


Figura 4. Distribuição granulométrica obtidas com o LISST nos momentos das colheita.

Estes resultados apontam para uma maior eficácia de remobilização de partículas da dimensão das areias finas a médias com a enchente, que não se verificam em vazante. Em vazante, estes picos são mais ténues ocorrendo só remobilização das areias muito finas. Contudo, o contacto entre a face da praia e o raso de maré é rico em bioclastos cascalhentos. Quando presentes no sedimento, estas partículas biogénicas

(restos de conchas de moluscos) com densidade inferior entram facilmente em suspensão, com a ação da rebentação da onda. Em enchente, a granulometria mais grosseira deve-se certamente à disponibilidade destas partículas no sedimento que não estavam presentes em vazante (removidos e transportados para montante ao longo da face de praia).

3.3. Concentração dos sedimentos em suspensão (CSS)

Considerando a mesma série temporal, as concentrações totais obtidas com o LISST, variaram entre 0.11 e 2.98g/l, com valor médio de 0.45g/l (fig.5). No geral, os valores mais elevados de concentração, verificaram-se em torno das BM (principalmente na 2^o), quando a onda rebentava na proximidade da estrutura, e os mais baixos em PM, com a coluna de água mais alta. Foram observados 4 períodos em que a percentagem da fração silto-argilosa (<63 μ m) foi superior a 50%, sendo o mais longo em torno da PM (fig.5, período 2), com valores de concentração baixos.

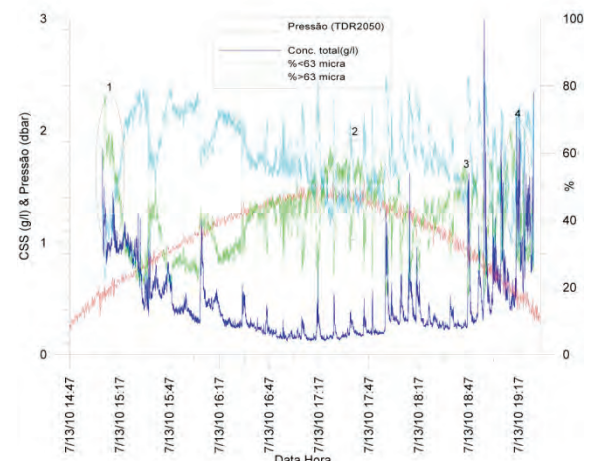


Figura 5. Concentração de sedimentos em suspensão (g/l) totais, e percentagem da fração <math><63\mu\text{m}</math> e >63 μ m, obtidas com o LISST. As elipses representam os momentos em que a fração inferior a 63 μ m é superior a 50%.

A figura 6, representa o registo médio das concentrações obtidas com o LISST e OBS3+, entre as 15:17 e 19:10h. As concentrações medidas pelo OBS3+ são sistematicamente mais elevadas, considerando um D50 constante (cerca de 3x superiores), melhorando quando se considera um D50 variável (cerca de 2.5x superiores). Este facto, poderá estar relacionado com a presença de sedimentos mais finos, ao longo do registo, que não foram utilizados na calibração do OBS. Contudo, o registo apresenta sempre a mesma tendência geral, com exceção do período entre as 16:30h e as 17:30h, onde o OBS regista valores anormalmente elevados, que não foram registados pelo LISST. No decorrer deste período de baixa energia, a lente do OBS esteve possivelmente obstruída por uma alga ou resto de plástico, muito comum em suspensão na

praia do Alfeite, dando valores anómalos de concentração.

Estes resultados confirmam a importância de se conhecer a variabilidade da granulometria e concentração no espaço e no tempo, e a mais-valia da associação de sensores ópticos de diferentes tipos para efeitos de calibração e conhecimento real do sistema.

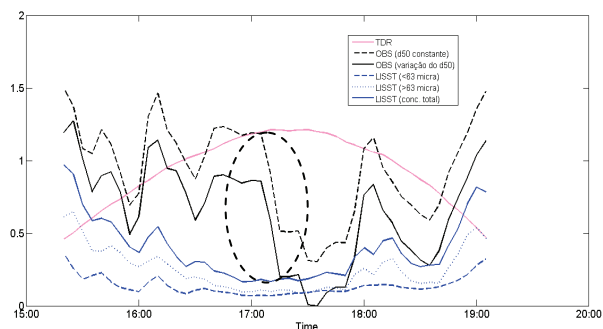


Figura 6. Registo médio da concentração de sedimento em suspensão (g/l) e da altura da coluna de água (dbar) para intervalos de 10 min (LISST e OBS3+). A elipse assinala o período de registo do OBS com valores anómalos de concentração.

As concentrações obtidas a partir das amostras de água, variaram entre 0.1g/l e 0.05g/l, e apresentam valores inferiores aos registados pelo LISST. É de realçar as baixas concentrações obtidas com este método, para ambas as frações, e em particular, para a fração arenosa. A correlação das concentrações obtidas com os dois métodos para a fração inferior a $63\mu\text{m}$ é fraca ($R^2=0.62$); e ausente no caso da fração superior a $63\mu\text{m}$ (fig. 7).

Os resultados apresentados podem estar condicionados pelas limitações do procedimento de colheita de material arenoso, uma vez que, devido à baixa energia da onda não é possível manter as areias em suspensão o tempo suficiente para serem colhidas pela garrafa. O volume colhido (8 litros) também não foi suficiente para caracterizar a concentração do material arenoso em suspensão.

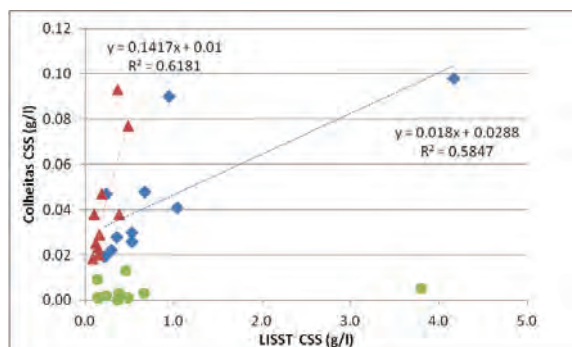


Figura 7. Correlação linear entre CSS obtida pelo LISST e pelas colheitas com garrafas (a azul-CSS total; a verde-CSS $>63\mu\text{m}$ e a vermelho $<63\mu\text{m}$).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este tipo de análise, confirmou a validade dos dados de concentração e dimensão das partículas em suspensão obtidos pelo LISST, sendo útil em todo o tipo de estudos de dinâmica e modelação sedimentar. Verificou-se também que o LISST, utilizado em conjunto com outros sensores, tem discriminação suficiente para calibrar a concentração obtida pelo OBS3+.

Em relação ao período em estudo, os dados indicam que em situação de baixa energia, a praia emersa se encontra em equilíbrio com os depósitos sedimentares descritos por Freire (2003). Em situação de enchente o sedimento mais grosseiro, principalmente composto por partículas biogénicas, é removido e transportado entre o raso de maré e a face da praia. Em vazante, são as areias muito finas e o silte que são eficazmente remobilizadas e transportadas para o raso de maré.

Não foram observadas variações significativas nas concentrações de sedimento em suspensão em enchente e em vazante; com valor médio de 0.43g/l e 0.47g/l, respetivamente.

Agradecimentos

Este trabalho é uma contribuição para o projeto BEACH SAND CODE (Sand beach textural and compositional variability as indicator of sedimentary dynamics), financiado pela FCT (PTDC/CTE-GEX/64592/2006).

REFERÊNCIAS

- Battisto, G., 2000. *Field measurement of mixed grain size suspension in the nearshore under waves*. Master in Science Thesis, Virginia, USA, 81p.
- Freire, P. & Andrade, C., 1998. Morfodinâmica de margens estuarinas: evolução da restinga do Alfeite nos últimos 150 anos (Estuário do Tejo). *Actas do V Congresso Nacional de Geologia*, Tomo 84, Fascículo 1. I. G. M. Lisboa, pp. C-59/C-62.
- 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., 2003.
- LISST, 1997. Laser in-situ Scattering Transmissometer. *Workshop sponsored by Sequoia Scientific Inc.*, Mercer Island, WA, (21-24 June 1997).
- Ribeiro M., J. Cascalho, J., Taborda, R., Oliveira, A., Freire, P. & Rodrigues, A., 2010. Evaluation of suspended sediment in a fetch limited beach using optical backscatter sensors: particle size effects. *Actas das 1^o Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, Instituto Hidrográfico, 219-222.

Impacte da dinâmica sedimentar litoral na sedimentação de um porto de pesca

F. S. B. F. Oliveira (1) e P. Freire (1)

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

Resumo: Aplicou-se uma metodologia de avaliação da dinâmica sedimentar de praias para diagnosticar a causa do problema de sedimentação à entrada do porto de Vila Praia de Âncora e interpretar a sua evolução. Esta metodologia baseou-se em monitorização e modelação matemática da dinâmica sedimentar das praias adjacentes a sul (praia de Âncora e praia da Gelfa). A monitorização da zona de estudo durante um período de 5 anos permitiu simular e interpretar, recorrendo a modelos de propagação da agitação marítima, transporte sedimentar, evolução da linha de costa e morfodinâmica, o funcionamento hidro-sedimentar da zona de estudo, durante o período em apreço. As principais conclusões foram: o porto e praias adjacentes a sul constituem uma unidade morfológica, logo, requerem gestão integrada; a agitação marítima induz um padrão de transporte sedimentar acentuadamente sazonal nesta unidade morfológica; a sedimentação à entrada do porto, localizada na zona ativa da praia, é irreversível sem intervenção humana.

Palavras chave: morfodinâmica, sazonalidade, praia, modelação matemática, monitorização

1. INTRODUÇÃO

Em geral, os portos têm problemas de manutenção da profundidade mínima que garanta a segurança da navegação. Intervenções de dragagem são a solução mais frequentemente aplicada para manutenção dessa profundidade em portos com tendência para sedimentação. No entanto, existe outro tipo de soluções, auto-sustentáveis, aplicadas com sucesso. Por exemplo: soluções que contemplam alterações das condições de troca de água dentro do porto, através da implementação de estruturas, cuja configuração afeta as correntes e, assim, induz à redução do transporte sedimentar; e soluções cuja configuração do porto foi projetada tendo em vista, não só a proteção contra a agitação marítima incidente, mas também, a otimização do *bypass* da deriva litoral (Broker, 2007).

Este estudo aborda o problema de sedimentação do porto de pesca de Vila Praia de Âncora, construído de Março/2002 a Novembro/2003, para abrigo de pequenas embarcações. O assoreamento verificado, que impedia a entrada de embarcações em condições de baixa-mar, teve início alguns meses após a conclusão da construção do porto. O objetivo do estudo que aqui se sumariza foi diagnosticar as causas da sedimentação verificada à entrada do porto e prever a sua evolução (permanência, reversibilidade natural ou agravamento), para que, na posse desta informação, fosse possível decidir sobre a melhor solução que garantisse a permanente acessibilidade ao porto.

2. ZONA DE ESTUDO

2.1. Geomorfologia

A baía de Vila Praia de Âncora localiza-se na costa Norte de Portugal, entre os promontórios rochosos Forte da Lagarteira, a Norte, e Forte do Cão a Sul. Este trecho de costa inclui as praias de Âncora, com

cerca de 400 m de comprimento, e da Gelfa, com cerca de 1700 m de comprimento (Figura 1). O trecho é predominantemente arenoso, contudo são visíveis aforamentos rochosos no extremo Sul da praia da Gelfa; tem um desenvolvimento curvilíneo no extremo Norte, que inclui a foz do rio Âncora, contudo, o alinhamento principal é NNE-SSW.

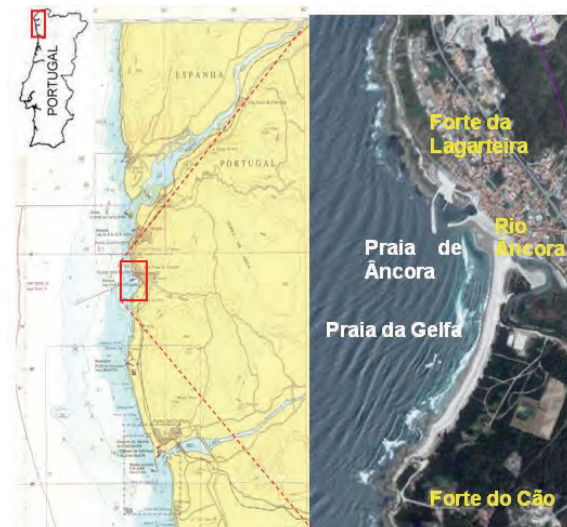


Fig. 1. Localização da zona de estudo.

As duas praias têm limite superior bastante diferenciado: a Âncora é limitada por uma defesa longitudinal aderente e a Gelfa é limitada por um sistema dunar. O caudal anual médio do rio Âncora é $3.2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Contudo, nos meses de Julho, Agosto e Setembro, ocorre, em geral, o fecho da foz do rio. Dada a existência de uma pequena represa construída para fins de rega agrícola, a aproximadamente 900 m da foz, estima-se que o caudal sólido que atinge a praia seja bastante reduzido. Por isso, não se considerou o rio como fonte sedimentar neste estudo.

2.2. Agitação marítima

Analisou-se a série temporal de agitação marítima (parâmetros altura, período e direção) num ponto à profundidade 10 m abaixo do Zero Hidrográfico (ZH) em frente à zona de estudo, para o período desde Outubro/2001 a Abril/2006, que correspondeu ao período de monitorização, doravante designado como período de estudo (Oliveira e Freire, 2011). Considerando as estações marítimas de inverno, de 1/Outubro a 31/Março, e de verão, de 1/Abril a 30/Setembro, o período de estudo contempla cinco invernos marítimos e quatro verões marítimos, doravante designados por inverno e verão, respetivamente.

Durante o inverno, as ondas com maior altura ocorrem predominantemente de WNW, o setor direcional com maior frequência de ocorrência para a maioria dos invernos. Em oposição, durante o verão, as ondas com maior altura não incidem de um setor direcional em particular e foi o setor NNW que verificou maior frequência de ocorrência para os quatro verões.

Durante o período de estudo verificaram-se variações interanuais significativas do regime de agitação marítima. Nos invernos de 2003 e 2004 ocorreu uma menor frequência das ondas com maior altura no setor direcional WNW do que nos restantes três anos. Durante os últimos três invernos analisados verificou-se maior frequência das ondas com maior altura no setor direcional NNW do que nos anteriores dois anos. No ano de 2004, de forma atípica, verificou-se uma frequência de ocorrência bastante elevada de ondas incidentes dos setores mais rodados a Norte.

Apesar de menos relevantes do que no inverno, também se verificaram variações interanuais da agitação marítima no verão para o período de estudo: excecional predominância de ondas incidentes do setor NNW em 2004 e maior frequência de ocorrência das ondas mais altas no setor NNW em 2005.

2.3. Sedimentos

Os sedimentos das praias de Âncora e da Gelfa são predominantemente areias médias a grosseiras. No extremo Sul da praia da Gelfa, na zona dos afloramentos rochosos encontrou-se um depósito de cascalho na base da face de praia. Na zona da foz do rio Âncora os sedimentos apresentam uma fração silto-arenosa que não excede 1% do peso total das amostras.

3. MÉTODOS

A metodologia aplicada para interpretar a tendência de sedimentação à entrada do porto baseia-se na investigação do comportamento hidro-morfológico das praias adjacentes. A zona de estudo foi monitorizada com base num programa que incluiu levantamentos topo-hidrográficos sistemáticos de

toda a zona, e recolha e análise de amostras de sedimentos superficiais da face de praia, ao nível médio do mar (NMM), em vários perfis normais à linha de costa.

A metodologia integra resultados de duas análises complementares. A primeira contemplou a evolução morfo-sedimentar da praia e baseou-se no processamento, manipulação e interpretação dos resultados do programa de monitorização. A segunda baseou-se em modelação matemática da dinâmica longitudinal e transversal da praia, e, através da utilização dos resultados da primeira análise (como condições iniciais e de controlo), permitiu simular com continuidade o comportamento hidro-morfológico na zona de estudo.

A primeira análise incluiu: i) a avaliação da variação temporal e espacial das características granulométricas dos sedimentos, para conhecimento de eventual alteração de fontes sedimentares; ii) a avaliação da variação da geometria da linha de água ao NMM, para ajudar a conhecer as oscilações longitudinais de sedimentos dentro da baía; iii) a avaliação da evolução de perfis de praia, para concluir sobre o transporte transversal de sedimentos; iv) a comparação de modelos digitais de terreno, executados com base nos levantamentos topo-hidrográficos sistemáticos realizados, para avaliar as áreas de erosão e deposição e respetivas taxas; e v) a investigação da relação entre os eventos extremos ocorridos e as alterações morfológicas causadas.

A modelação matemática incluiu: i) o cálculo da hidrodinâmica da zona de rebentação induzida pela série de agitação marítima imposta na fronteira do lado mar da zona de estudo; ii) a identificação de tendências sazonais e de variações interanuais do transporte longitudinal no período de estudo; iii) a distribuição transversal do transporte longitudinal durante o período de estudo; iv) a avaliação do impacto do transporte longitudinal na morfologia da praia durante o período de estudo; e v) a avaliação do impacto de tempestades marítimas na morfologia da praia.

4. RESULTADOS

4.1. Programa de monitorização

Evolução sedimentológica

As características granulométricas dos sedimentos das praias de Âncora e da Gelfa foram relativamente constantes no espaço e tempo: o parâmetro D_{50} variou entre 0.4 e 0.6 mm e entre 1.3 e 1.7 mm, respetivamente, nas praias de Âncora e da Gelfa. Verificou-se que os valores mais baixos do parâmetro dispersão granulométrica estão associados aos sedimentos com menor diâmetro mediano.

Evolução morfológica

A variação da geometria da linha de água ao NMM durante o período de monitorização não mostrou um

padrão sazonal consistente. Contudo, observou-se uma transferência de sedimento entre os dois extremos do trecho de estudo: no sentido SSW durante o verão e no sentido NNE durante o inverno. A evolução de perfis transversais de praia distribuídos uniformemente ao longo da zona de estudo foi consistente com as variações sazonais do regime de agitação: verificou-se transferência de sedimentos da face da praia para a zona de rebentação durante condições mais energéticas e o processo inverso em condições de baixa energia. Na praia de Âncora, a migração natural da foz do rio Âncora causa variabilidade da morfologia transversal naquela zona. Na praia da Gelfa observa-se variabilidade longitudinal entre os extremos: o setor Sul é relativamente estável, provavelmente devido à presença dos afloramentos rochosos, e no setor Norte observa-se uma variação significativa do perfil transversal.

A comparação de modelos digitais de terreno baseados nos levantamentos topo-hidrográficos evidencia variações morfológicas significativas. Observou-se a seguinte relação entre a sazonalidade do regime de agitação marítima e o padrão de distribuição das áreas de erosão e deposição:

a) Durante o verão de 2004 desenvolveu-se uma barra na direção longitudinal à entrada do porto, à profundidade ZH. Ocorreu erosão na parte subaérea da praia de Âncora e acreção na parte subaérea da praia da Gelfa.

b) Durante o inverno de 2005 aumentou a sedimentação na zona da entrada do porto e ao longo da profundidade ZH. O banco migrou para Oeste e Sul, possivelmente devido ao deslocamento de sedimento da parte subaérea da Gelfa para maiores profundidades.

A comparação da morfologia do final de inverno de 2004 com a morfologia do final de inverno de 2006 evidencia a sedimentação que ocorreu à entrada do porto, com formação de um banco ao longo da profundidade ZH (Figura 2). A taxa de deposição à entrada do porto entre Abril e Novembro de 2004 foi 0.7 m.ano^{-1} .

4.2. Modelação matemática

Transporte longitudinal

Estimou-se o transporte longitudinal (ambos os modos, em suspensão e de fundo) durante o período de estudo. Aplicou-se o modelo Litdrif (DHI, 2005) para cada uma das nove estações marítimas separadamente. Utilizou-se a respetiva série de agitação marítima e o perfil representativo para essa estação extraído do setor central do trecho em estudo.

Os resultados mostraram um distinto padrão sazonal do transporte longitudinal, em concordância com os resultados de evolução morfológica do programa de monitorização: predominância do transporte em direção a NNE durante o inverno e em direção a SSW durante o verão (Figura 3). Tendo em conta o

alinhamento principal da linha de costa, estes resultados estão em concordância com as características sazonais da agitação marítima descritas na seção 2.2.

As variações interanuais do regime de agitação marítima ocorridas no inverno de 2003 e 2004 refletiram-se no transporte longitudinal, que se dirigiu para SSW, em oposição à tendência predominante.

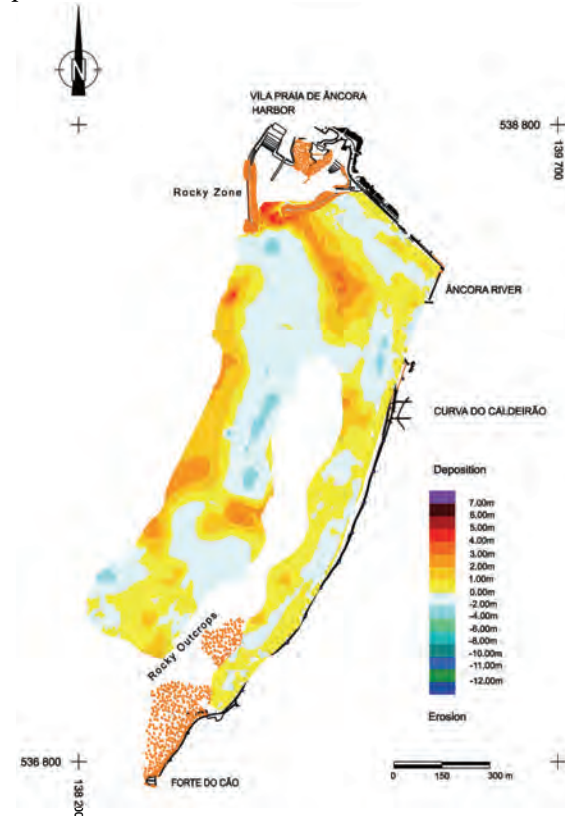


Fig. 2. Comparação dos modelos digitais de terreno de Abril/2004 e Abril-Maio/2006.

Durante o inverno, a extensão da zona ativa da praia submersa e a profundidade de fecho (ambas relativas ao transporte longitudinal) são consideravelmente maiores do que no verão. Em 2002 estes dois parâmetros duplicaram do verão para o inverno, quando a extensão da zona ativa alcançou cerca de 850 m e a profundidade de fecho -9 m ZH (Figura 4).

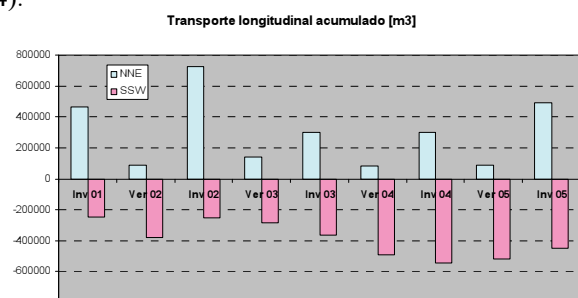


Fig. 3. Transporte longitudinal sazonal num perfil transversal central

Na estimativa do transporte sazonal, usou-se o respetivo perfil sazonal, que se considerou constante ao longo de cada estação. Contudo, como durante cada estação marítima o perfil não é estático, investigou-se o efeito da geometria do perfil na avaliação do transporte longitudinal. Os resultados obtidos com os 6-meses de agitação marítima do inverno de 2003 e os perfis representativos do inverno e do verão de 2003 mostraram diferenças significativas na distribuição transversal do transporte longitudinal (Figura 5), conforme se descreve com detalhe em Oliveira e Freire (2011). A geometria do perfil de inverno induz mais transporte longitudinal do que a geometria do perfil de verão: cerca de 20% mais na direção NNE, e 24 % mais na direção SSW.

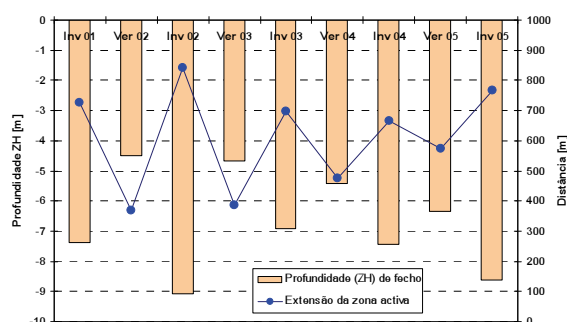


Fig. 4. Parâmetros morfológicos por estação marítima num perfil transversal central.

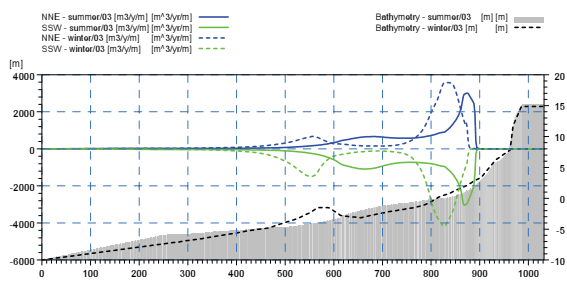


Fig. 5. Distribuição transversal do transporte longitudinal para NNE e SSW.

Evolução da linha de costa

Simulou-se a evolução da linha de água ao NMM durante o período de estudo com o modelo numérico Litline (DHI, 2005). Os resultados mostraram que o modelo tem uma boa concordância no extremo Sul da zona de estudo, mas não na zona Norte, ou seja, na zona da foz do rio Âncora (Oliveira e Freire, 2011). Estes resultados são devidos ao facto da zona Norte possuir um desenvolvimento plano suficientemente curvilíneo para fazer prevalecer os processos bidimensionais e assim violar as condições de aplicação deste tipo de modelos.

Dinâmica transversal de curto prazo

Simulou-se a evolução morfológica das duas praias, Âncora e Gelfa, para a mais severa tempestade marítima ocorrida durante o período de estudo com base no modelo numérico Litprof (DHI, 2005). Concluiu-se que a praia de Âncora é mais vulnerável do que a da Gelfa, pois o volume mobilizado na

última foi cerca de 84 e 63% do volume mobilizado na primeira, para os perfis de inverno e verão, respetivamente. A profundidade de acumulação dos sedimentos foi cerca de -7 e -5 m ZH nas praias de Âncora e Gelfa, respetivamente. Testou-se o efeito da tempestade sobre os perfis de inverno e verão para cada praia. Verificou-se que o efeito erosivo é agravado no perfil de inverno, pois não só o volume extraído da face de praia é superior, 30 e 7% para as praias da Gelfa e de Âncora, respetivamente, como também a barra submersa é deslocada para maior profundidade (Oliveira e Freire, 2011).

5. CONCLUSÕES

Aplicou-se uma metodologia que integra monitorização e modelação matemática para investigar a dinâmica costeira na baía de Vila Praia de Âncora e assim diagnosticar a causa e prever a futura evolução da tendência sedimentar observada à entrada do porto de pesca. Concluiu-se que:

- o processo de sedimentação ocorre predominantemente durante o inverno marítimo quando o transporte longitudinal, que se estende até aos -9 m ZH, é predominantemente para Norte e, simultaneamente, ocorre transferência de sedimentos da face de praia para maiores profundidades do que -5 m ZH na praia de Âncora (maior profundidade do que a entrada do porto).
- durante o verão marítimo, quando o transporte longitudinal é predominantemente para Sul e o perfil de praia tende a ser reconstruído (transporte sedimentar do mar para terra), o volume de areia que foi acumulado à entrada do porto no inverno antecedente não é mobilizado devido às condições de abrigo promovidas pelo molhe oeste, que, por efeito de difração, tende a encaminhar para o interior do porto a areia acumulada na entrada. Assim, concluiu-se que o processo de sedimentação não é reversível sem intervenção humana.

Agradecimentos

As autoras agradecem aos colegas do NPE-DHA-LNEC pela transferência do regime ao largo e ao IPTM por autorizar a publicação deste estudo.

REFERÊNCIAS

- Broker, I. (2007). The use of advanced numerical models to support the design of coastal structures. *Revue Européenne de Génie Civil, Special issue Génie Côtier*.
- DHI (2005). *Litpack: Noncohesive sediment transport in currents and waves – user guide*. Danish Hydraulic Institute. Denmark.
- Oliveira, F.S.B.F. e Freire, P. (2011). Coupling monitoring and mathematical modelling of beaches to analyse a problem of harbour sedimentation: case study. *Journal of Coastal Research*. Vol. 27, No. 6A:104-115.

Aplicação do modelo Duner para erosão de dunas

F. S. B. F. Oliveira(1)

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

Resumo: O estudo visou melhorar a avaliação e previsão da vulnerabilidade/resiliência de sistemas dunares à acção das ondas e da sobrelevação do nível do mar em condições de tempestade marítima. O objetivo específico foi testar o modelo matemático morfodinâmico Duner, desenvolvido com base no método de convolução, para uma experiência laboratorial em canal de grande escala. Utilizaram-se três casos de geometria de perfil de equilíbrio idealizada aproximados do perfil inicial para calcular o máximo potencial de erosão do perfil praia-duna. Da avaliação do desempenho do modelo, realizada através de indicadores de impacto e de erro, resultou a classificação de bom para o melhor caso de aproximação do perfil inicial e a classificação de razoável para os outros dois casos testados. Estes resultados permitiram reforçar a conclusão de que o modelo constitui um instrumento simples e eficiente para avaliação e previsão da vulnerabilidade de dunas.

Palavras chave: morfodinâmica, convolução, perfil de praia, tempestade, sobrelevação

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas dunares constituem a mais importante defesa natural costeira. A sua erosão constitui um elevado risco no que respeita a perda de território e património e a degradação ambiental.

O objectivo deste estudo foi melhorar o teste do modelo matemático morfodinâmico Duner (Oliveira, 2012b), na erosão de dunas, para uma experiência laboratorial em canal de grande escala. O desempenho do modelo aqui avaliado foi também comparado com o desempenho de outros modelos numéricos previamente aplicados para o mesmo caso de estudo (Oliveira, 2012a; Oliveira, 2012b).

O caso de estudo, descrito em WL | Delft Hydraulics (2006) como teste T01, foi um caso de erosão de um perfil de praia com duna realizado em canal de grande escala (fator de escala profundidade nd igual a 6) em modelo reduzido de laboratório. A reprodução dos processos costeiros em modelo reduzido de laboratório, em canais de grande escala (para minimizar os efeitos de escala), tem a vantagem, relativamente ao protótipo, de proporcionar maior controlo dos processos envolvidos, quer nas condições iniciais e de forçamento quer na monitorização da evolução, e consequentemente garantir maior confiança nos resultados. As condições em canal equivalem a uma praia uniforme ao longo da componente longitudinal. A geometria do perfil inicial pode ser vista na Figura 1. O perfil foi implementado desde o nível -4.5 m, ao largo, até aproximadamente ao nível 1.68 m, correspondente ao topo da duna. O sedimento utilizado caracteriza-se por $D_{50}=0.2$ mm, $D_{90}=0.3$ mm e densidade 2.65. O teste foi realizado à temperatura aproximada de 9°C. As condições de onda incidente foram um espectro de Pierson Moskowitz com altura significativa $H_s=1.5$ m, período de pico $T_p=4.9$ s e duração 6 horas. O teste foi temporariamente interrompido para realizar

medições do fundo a 0.1, 0.3, 1, 2.04 e 6 horas a contar a partir do início da experiência laboratorial. Os intervalos no início do teste foram mais curtos porque no início de um teste as taxas de erosão são mais elevadas.

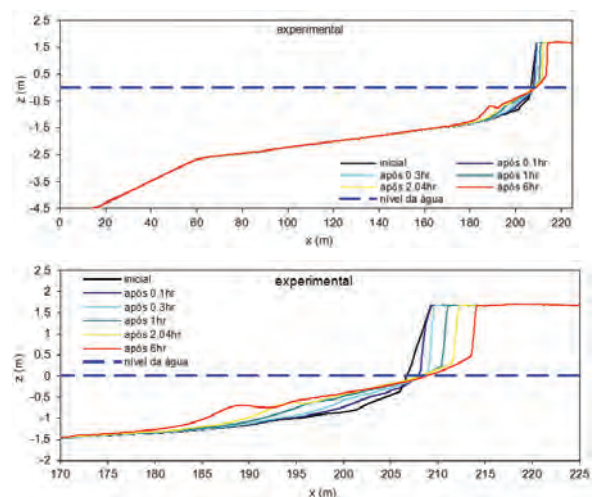


Fig. 1. Evolução do perfil para o caso experimental: perfil completo (em cima) e pormenor (em baixo).

2. MÉTODO

2.1. Modelo Duner

O modelo Duner, desenvolvido pela autora, baseia-se no método de convolução (também conhecido pelo método da integral de convolução) aplicado para estimar a resposta a uma excitação arbitrária no estudo de sistemas dinâmicos lineares. A utilização deste método para estimar a erosão de praias em condições de tempestade marítima foi proposta por Kriebel e Dean (1993).

Trata-se de um modelo unidimensional, na direção do perfil de praia perpendicular à linha de costa, em que se admite que a resposta do perfil, i.e., a variação do nível topo-hidrográfico no tempo,

quando submetido à variação das condições de hidrodinâmica (ondas e sobrelevação), é exponencial. Com base neste pressuposto, a variação do perfil no tempo, $R(t)$, pode ser aproximada por

$$R(t) = R_{\infty} \left(1 - e^{-t/T_s} \right) \quad (1)$$

onde R_{∞} =máximo deslocamento do perfil a esse nível topo-hidrográfico que ocorre depois do sistema alcançar o equilíbrio e T_s = escala temporal característica da resposta exponencial. Considerando a ação forçadora subida do nível do mar (sobrelevação) em condições de tempestade expressa pela função $f(t)$, a equação diferencial linear que governa a resposta do perfil é

$$\frac{dR(t)}{dt} = \frac{1}{T_s} [R_{\infty} f(t) - R(t)] \quad (2)$$

cujas soluções podem ser obtidas pelo método da integral de convolução, expressa por

$$R(t) = \alpha R_{\infty} \int_0^t f(\tau) e^{-\alpha(t-\tau)} d\tau \quad (3)$$

onde $\alpha = 1/T_s$ e τ =desfasamento temporal. Desta expressão retiram-se duas características da resposta do perfil: que a resposta é atrasada relativamente à ação forçadora e que é amortecida relativamente ao máximo potencial de erosão do sistema. Para além do recuo da face, berma e duna da praia o método de convolução também permite obter o volume de erosão associado. Partindo do pressuposto que o perfil recua à mesma taxa relativa, i.e., que o parâmetro adimensional $R(t)/R_{\infty}$ é constante, o volume de erosão relativo é o mesmo que o recuo da berma relativo, ou seja

$$\frac{V(t)}{V_{\infty}} = \frac{R(t)}{R_{\infty}} \quad (4)$$

onde $V(t)$ =volume de erosão no tempo t acima de um nível de referência e V_{∞} =volume de erosão de equilíbrio acima do mesmo nível de referência. É através da determinação dos parâmetros R_{∞} e V_{∞} que o método de convolução satisfaz a equação da continuidade ou conservação transversal de areia.

Na forma adimensional, a solução da eq. (3) pode ser expressa por

$$\frac{R(t)}{R_{\infty}} = \frac{1}{2} \left\{ 1 - \frac{\beta^2}{1+\beta^2} \exp\left(-\frac{2\sigma t}{\beta}\right) - \frac{1}{1+\beta^2} [\cos(2\sigma t) + \beta \sin(2\sigma t)] \right\} \quad (5)$$

onde $\beta = 2\pi T_s / T_D$, sendo T_D =duração total da sobrelevação, i.e., tempo que decorre desde o início até ao fim da subida do nível do mar.

O tempo correspondente à máxima erosão, t_m , é obtido igualando a função derivada da eq. (5) a zero, de onde resulta a expressão

$$\exp\left(-\frac{2\sigma t_m}{\beta}\right) = \cos(2\sigma t_m) - \frac{1}{\beta} \sin(2\sigma t_m) \quad (6)$$

que é resolvida iterativamente em ordem à fase, σt_m , entre $\pi/2$ e π . O desfasamento da máxima resposta é

$\sigma t_m - \pi/2$. A substituição da eq. (6) na eq. (5) permite calcular a resposta máxima, que é

$$\frac{R_{\max}}{R_{\infty}} = \frac{1}{2} [1 - \cos(2\sigma t_m)] \quad (7)$$

Neste estudo pretendeu-se melhorar o teste do modelo matemático morfodinâmico Duner realizado por Oliveira (2012b). Para isso, utilizou-se um novo caso de geometria de perfil de equilíbrio idealizada proposto em (Kriebel e Dean, 1993) para calcular o parâmetro R_{∞} . Assumiu-se que a geometria do perfil inicial pode ser aproximada por um novo caso perfil de equilíbrio com duna sem berma, a que se chamou caso 3, pois já tinham sido usadas as designações de caso 1 e caso 2 para os casos de aproximação baseados num perfil de equilíbrio com face de praia inclinada e noutro perfil de equilíbrio com duna sem berma, respetivamente (Figura 2).

Conforme descrito em Oliveira (2012b), verificou-se que o perfil inicial abaixo da face de praia, i.e., abaixo do nível -0.9 m, possui uma geometria aproximada de um perfil de equilíbrio, $x = (h/A)^{3/2}$, onde x é a coordenada horizontal, h é a profundidade e A é o parâmetro que governa a inclinação do perfil, que depende do diâmetro dos sedimentos (Dean, 1977), considerado $A=0.065 \text{ m}^{1/3}$. Na Figura 2 pode ver-se o ajustamento do perfil inicial ao perfil de equilíbrio. Considerou-se a sobrelevação, S , igual a 0.9 m, correspondente à subida do nível da água desde o topo do perfil de equilíbrio até ao nível zero (mantido constante ao longo da experiência). Com base nos resultados experimentais, considerou-se o índice de rebentação γ unitário, sendo $\gamma = H_b / h_b$ (onde H_b =altura de onda na rebentação e h_b =profundidade de rebentação), usualmente entre 0.78-1.0. As diferenças entre os casos 1, 2 e 3 estão na geometria do perfil acima do topo do perfil de equilíbrio. No caso 1 considerou-se uma face de praia de declive constante, igual a 1:4.3, entre a base da face de praia e o topo da duna. No caso 2 consideraram-se dois trechos de declive constante que resultaram do prolongamento da face de praia do perfil inicial até ao nível da água (declive 1:15), seguido de um trecho de duna com declive igual ao da duna do perfil do caso 1 (declive 1:4.3). No caso 3 consideraram-se dois trechos de declive constante que resultaram, o primeiro, com declive 1:9.6, da variação linear entre a base da face de praia (topo do perfil de equilíbrio) e a interseção do nível da água com a face da duna, seguido do segundo, a face da duna, com declive 1:3.7.

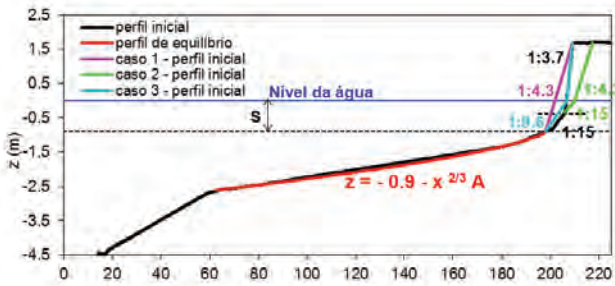


Fig. 2. Condições de aplicação do modelo Duner: casos de geometria de perfil de equilíbrio idealizada aplicados, baseados nos casos propostos em (Kriebel e Dean, 1993), para estimar R_{∞} .

2.2. Indicadores de desempenho

Utilizaram-se dois tipos de indicadores para avaliar o desempenho dos modelos: indicadores de impacto e de erro. Os indicadores de impacto foram o volume de erosão (por metro de comprimento longitudinal de praia) e o recuo (da duna e do topo da duna), respetivamente definidos por

$$\text{Volume de erosão} = \int_{z_1}^{z_2} (\text{perfil inicial} - \text{perfil pós-tempestade}) dz \tag{8}$$

$$\text{Re cuo} = |x_0 - x_t| \tag{9}$$

sendo z_1 e z_2 a profundidade do ponto inicial do perfil e a cota do topo da duna, respetivamente; e x_0 e x_t as coordenadas horizontais, a um determinado nível de referência (nível da água ou topo da duna) da duna frontal, no perfil inicial e no perfil pós-tempestade, respetivamente.

A medição de erro para avaliar o desempenho dos modelos foi feita com base no método Brier Skill Score (BSS), descrito por Van Rijn *et al.* (2003), que compara previsões ($z_{b,c}$) e medições de perfil ($z_{b,m}$) com o perfil inicial ($z_{b,0}$) e tem em conta o erro de medição ∂ (que aqui se assumiu nulo). Define-se por

$$\text{BSS} = 1 - \frac{\langle (z_{b,c} - z_{b,m} - \partial)^2 \rangle}{\langle (z_{b,0} - z_{b,m})^2 \rangle} \tag{10}$$

onde os parêntesis angulares denotam a média.

Apresenta-se na Tabela I a classificação do desempenho de modelos morfodinâmicos proposta por Van Rijn *et al.* (2003).

Tabela I. Classificação de desempenho com base no Brier Skill Score (BSS).

	BSS
Excelente	1.0 – 0.8
Bom	0.8 – 0.6
Razoável	0.6 – 0.3
Fraco	0.3 – 0.0
Mau	< 0.0

3. RESULTADOS

Apresentam-se na Figura 3 e 4 os resultados da evolução do perfil ao fim de 6hr obtidos com o modelo Duner à escala laboratorial para os 3 casos de aproximação do perfil inicial. Na Figura 3 também se pode ver o perfil correspondente ao máximo potencial de erosão, R_{∞} , para cada caso. A resposta dos perfis de praia obtida com o modelo Duner mostrou que o máximo recuo devido à erosão, R_{max} , foi 6.1, 2.4 e 3.4 m para os casos 1, 2, e 3, respetivamente, e que foi cerca de 23, 11 e 14% do respetivo potencial de erosão para cada um dos casos (parâmetro R_{max}/R_{∞}). A máxima erosão ocorreu primeiro no caso 1, seguidamente no caso 3 e por último no caso 2, sendo os respetivos desfazamentos 2.62, 2.77 e 2.83 radiano (Figura 5). O parâmetro β , que indica o rácio entre escala temporal de erosão e a duração da tempestade, foi 10.69, 26.07 e 19.24 para os casos 1, 2 e 3, respetivamente.

Apesar do declive da duna ter variado durante a experiência (principalmente no início), acima do nível da água o perfil experimental manteve-se entre os perfis simulados nos casos 1 e 2 (Figura 4). O caso 3 foi o que apresentou a melhor similaridade entre os perfis finais experimental e simulado.

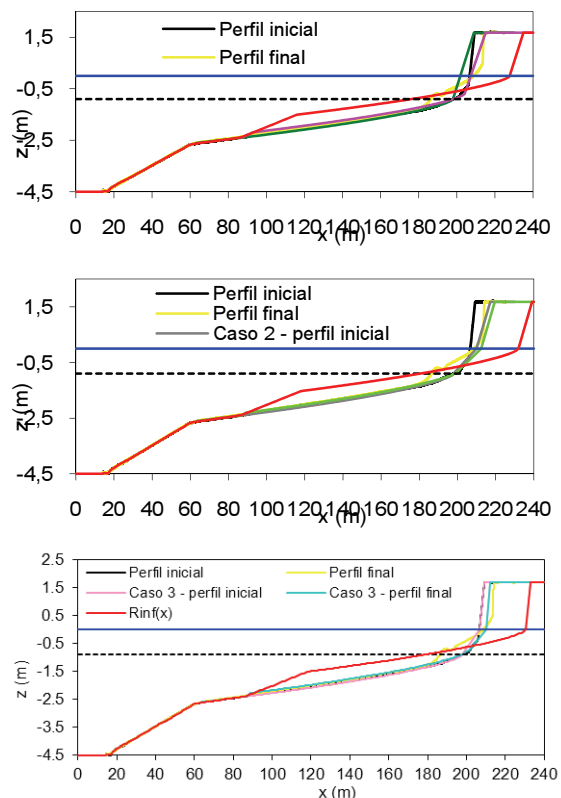


Fig. 3. Resultados do modelo morfodinâmico Duner à escala laboratorial, para os casos 1, 2 e 3, ao fim de 6 horas e para o máximo potencial de erosão.

Avaliou-se o desempenho do modelo na previsão da evolução do perfil com base no indicador de erro BSS (Figura 6) e nos indicadores de impacto volume

de erosão, recuo da duna e recuo do topo da duna (Tabela II). O indicador de erro BSS para o caso 3 classifica o desempenho do modelo como bom. O desempenho do modelo Duner para os casos 1 e 2 classifica-se como razoável com base no indicador de erro BSS.

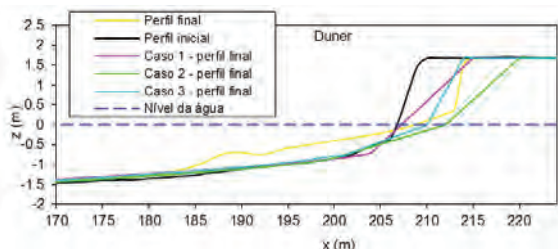


Fig. 4. Resultados do modelo morfodinâmico Duner à escala laboratorial ao fim de 6 horas (pormenor).

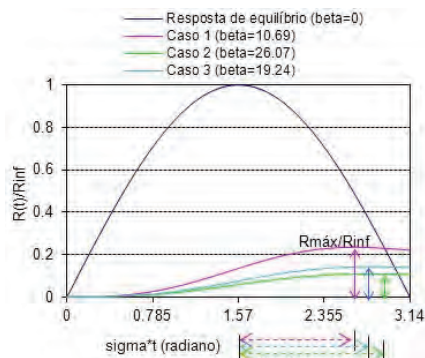


Fig. 5. Resposta do perfil de praia para os casos 1, 2 e 3.

Os resultados dos indicadores de impacto volume de erosão e recuo do topo da duna são consentâneos com o resultado do indicador de erro, pois é no caso 3 que estes indicadores tem valores mais próximos dos valores da experiência. Quanto ao indicador de impacto recuo da duna (ao nível da água) é o caso 1 que mais se aproxima do resultado experimental, contudo, uma vez que o recuo é inferior ao observado, por uma questão de segurança, considera-se que o caso 3, o segundo melhor, é o mais fiável pois está do lado da segurança. Desta análise, concluiu-se que o caso 3 foi o que teve o melhor desempenho dos três casos analisados.

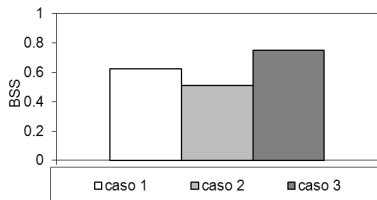


Fig. 6. Indicador de erro para os casos 1, 2 e 3.

Tabela II. Indicadores de impacto para os casos 1, 2 e 3.

	Volume de erosão [m ³ .m ⁻¹]	Recuo da duna [m]	Recuo do topo da duna [m]
Experiência	-9	2	5
Caso 1	-6	1	4
Caso 2	-15	5	10
Caso 3	-7	4	4

4. CONCLUSÕES

Pretendeu-se melhorar o teste do modelo morfodinâmico Duner para um caso de erosão de dunas em canal de grande escala (experiência laboratorial) previamente realizado por Oliveira (2012b). Para isso, utilizou-se um novo caso de geometria de perfil de equilíbrio idealizada proposto em (Kriebel e Dean, 1993) para calcular o parâmetro R_{∞} . A comparação da evolução morfológica observada com a evolução morfológica simulada e a avaliação do desempenho do modelo realizada com indicadores de impacto e de erro mostraram que para este novo caso de aproximação do perfil inicial o modelo Duner teve um bom desempenho e que este desempenho foi superior ao obtido com os casos previamente testados. Estes resultados permitiram reforçar a conclusão de que o modelo constitui um instrumento simples e eficiente para avaliação e previsão da vulnerabilidade de dunas.

Salienta-se ainda que o melhorado desempenho do modelo Duner aqui obtido foi também comparado com o desempenho de outros modelos numéricos previamente aplicados para o mesmo caso de estudo (Oliveira, 2012a; Oliveira, 2012b) e que se concluiu que apesar do modelo XBeach continuar a ter melhor desempenho do que o modelo Duner (que advém da melhor simulação da parte submersa do perfil), o requisito do conhecimento de um elevado número de parâmetros físicos locais e o custo computacional do modelo XBeach tornam o modelo Duner um modelo morfodinâmico bastante competitivo.

REFERÊNCIAS

Dean, R.G. (1977). Equilibrium beach profiles: U.S. Atlantic and Gulf Coasts. Oc. Eng. Report No. 12, Univ. of Delaware, Newark.

Kriebel, D.L. e Dean, R.G. (1993). Convolution method for time-dependent beach-profile response. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 119(2), 204-226.

Oliveira, F.S.B.F. (2012a). Erosão de dunas com os modelos XBeach e Litprof. *Revista Gestão Costeira Integrada (em impressão)*.

Oliveira, F.S.B.F. (2012b). Modelação numérica da erosão de dunas durante tempestades. *IV Conferência MEFTE 2012 (em impressão)*.

WL | Delft Hydraulics (2006). Dune erosion, Large-scale model tests and dune erosion prediction method. Report H4357, Delft.

Van Rijn, L.C., Walstra, D.J.R., Grasmeyer, B., Sutherland, J., Pan, S. e Sierra, J.P. (2003). The predictability of cross-shore bed evolution of sandy beaches at the time scale of storms and seasons using process-based profile models. *Coastal Engineering*, 47, 295-327.

Tipificação das zonas marginais estuarinas. O caso do estuário do Tejo.

P. Freire (1), A. Rilo (1), R. Ceia (2), R. Nogueira Mendes (2), J. Catalão (3),
R. Taborda (3) e R. Melo (2)

- (1) Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Avenida do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa. pfreire@lnec.pt
(2) Centro do Oceanografia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisboa
(3) Instituto Dom Luiz, Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisboa

Resumo: Devido à crescente ocupação antrópica, as zonas marginais dos estuários encontram-se mais vulneráveis às variações e alterações do regime hidro-sedimentar estuarino. A análise do comportamento morfodinâmico e a avaliação do risco à erosão e inundação daquelas zonas pressupõe o conhecimento prévio do tipo de ocupação natural e antrópica. Neste trabalho apresenta-se o resultado da tipificação da zona marginal do estuário do Tejo, incluindo o leito, margem e orla estuarina tal como definidos na legislação em vigor. A cartografia dos elementos morfosedimentares, habitats e ocupação antrópica foi efetuada através da interpretação de fotografia aérea e imagens de satélite em ambiente SIG, e verificações no terreno. Os resultados mostram a forte componente humana da zona estudada, tanto no leito como na margem e orla, representando a ocupação antrópica cerca de 15% da área intertidal do estuário. Na orla estuarina as zonas agrícolas e urbanas representam, respectivamente, 35% e 34% da área total.

Palavras chave: leito, margem, orla estuarina, sistema de informação geográfica, ocupação antrópica, deteção remota

1. INTRODUÇÃO

Os estuários constituem sistemas naturais de transição, que devido às suas condições de abrigo e recursos naturais apresentam grande atratividade para diversas atividades antrópicas. A ocupação sistemática das áreas estuarinas e margens adjacentes, subtraindo zonas naturais ao estuário, originam que a sustentabilidade deste sistema dependa de um balanço complexo entre o desenvolvimento socioeconómico e os valores naturais. A redução das áreas naturais de dissipação de energia, como sapais e rasos de maré, devido à ocupação antrópica, potencia o risco de inundação das zonas marginais (Townend e Pethick, 2002), com potenciais consequências graves para pessoas e bens. O conhecimento e levantamento sistemático da tipologia das zonas marginais estuarinas, incluindo a sua ocupação, reveste-se, por isso, de importância crucial na previsão do impacto das variações e alterações do regime hidro-sedimentar estuarino, num contexto de alterações climáticas.

O presente trabalho foi realizado no âmbito do projeto de investigação *MorFeed: Resposta morfológica das margens estuarinas aos efeitos das alterações climáticas*, e teve como objetivo realizar a tipificação do leito, margem e orla do estuário do Tejo, com vista a sustentar previsões de evolução face aos efeitos das alterações climáticas, nomeadamente a subida do nível médio do mar.

2. ZONA DE ESTUDO

O estuário do Tejo situa-se na costa ocidental portuguesa, região da Estremadura e Ribatejo Meridionais, apresentando uma morfologia

particular incluindo uma região interior extensa e pouco profunda, alongada segundo a direção NNE-SSW, e um canal de embocadura, estreito e profundo, orientado ENE-WSW. A área de estudo do presente trabalho abrange a zona estuarina entre Vila Franca de Xira e a embocadura (linha Cova do Vapor – Bugio – São Julião) (*Figura 1*). A extensão da zona intertidal interior proporciona o desenvolvimento de diferentes morfologias e habitats nomeadamente rasos de maré e sapais mais ou menos desenvolvidos junto às margens (Caçador *et al.*, 2007). Com características mesotidais, o estuário apresenta condições de geração local de ondas devido à extensão da zona interior e a sua orientação relativamente aos ventos dominantes, do quadrante norte (Freire, 2003; Freire *et al.*, 2006). A zona circundante do estuário do Tejo está incluída na unidade territorial de Lisboa e Vale do Tejo, para a qual se estima uma população das freguesias ribeirinhas de cerca de um milhão habitantes (INE, 2012). Para além dos importantes valores socioeconómicos, ao longo da margem esquerda do estuário desenvolve-se a Reserva Natural do Estuário do Tejo constituindo um importante valor ecológico e ambiental.

3. METODOLOGIA

Para a prossecução do presente trabalho foi delimitado o leito, a margem (faixa de 50 m a partir da linha da máxima preia-mar de águas vivas equinociais-LMPMAVE) e a orla estuarina (faixa terrestre de 550 m a partir da LMPMAVE) sobre os ortofotomapas de 2007 do Instituto Geográfico Português (IGP).



Fig.1 Localização do estuário do Tejo.

Os critérios de delimitação destas unidades seguiram as normas legais que os definem (Lei 54/2005 de 15 de novembro que estabelece a titularidade dos recursos hídricos e decreto-lei 129/2008 de 21 de julho, que estabelece o regime dos planos de ordenamento de estuários), e ainda os critérios descritos em Rilo *et al.* (2012).

A tipificação das unidades morfosedimentares, habitats e ocupação antrópica do leito foi efetuada com recurso a técnicas de deteção remota, descritas em detalhe em Mendes *et al.* (2012), e considerando as seguintes classes: sapal, praias estuarinas, ostras, ervas marinhas, raso de maré, zonas com ocupação antrópica. Os resultados obtidos foram

sistematicamente validados em várias campanhas de campo. Com o objetivo de efetuar a tipificação da ocupação da orla estuarina (que inclui a margem), foi concebido um sistema de classificação de uso (*Tabela 1*) inspirado na nomenclatura do Corine Land Cover (CLC) (Caetano e Nunes, 2009).

Este sistema europeu de classificação de uso do solo está organizado em classes e sub-classes às quais correspondem um código numérico que traduz o nível de detalhe da respetiva classe e a identifica.

Procedeu-se à vectorização das classes de uso do solo concebidas para o efeito, usando para tal o software ArcGis, no qual foi construída uma base de dados georreferenciados cuja estrutura congrega o código de cada classe, respetiva designação e área do polígono em km².

A definição dos polígonos foi efetuada com base nas características físicas da orla estuarina capazes de serem detetadas à escala 1:10 000, usando como base os ortofotomapas de 2007 do IGP. Foi construído um arquivo de relações topológicas por forma a evitar erros de vectorização e fazer o controlo de qualidade, que foi sendo validado ao longo do trabalho.

A tarefa de vectorização foi suportada pela consulta das bases geográficas GoogleEarth® e BingMaps® (vistas em voo de pássaro), e por três campanhas de validação de campo que decorreram entre agosto e outubro de 2011.

Tabela 1. Descrição da nomenclatura das classes de ocupação adoptada no âmbito do projeto MorFeed. Adaptada de Caetano e Nunes (2009).

Código CLC	Nome CLC	Código MorFeed	Classe de ocupação MorFeed	Descrição explicativa da nomenclatura adoptada no MorFeed
1.1	Tecido urbano	1	Espaço Urbano	Áreas urbanizadas com características residenciais e de serviços e espaços de ligação (estradas, terrenos adjacentes sem utilização específica ou parques de estacionamento). Não se faz a distinção entre zona urbana contínua e descontínua.
1.2	Indústria, comércio e transportes	2	Espaço Industrial	Áreas de indústria, pavilhões, armazéns e escritórios de empresas, bem como espaços de ligação como terrenos sem utilização específica, estradas e caminhos-de-ferro.
1.2.3	Áreas portuárias	3	Espaço Portuário	Áreas ocupadas por infraestruturas portuárias civis e militares e estruturas associadas como portos, docas e marinas e edifícios associados a construção / reparação de embarcações.
1.2.4	Aeroportos e aeródromos	4	Espaço Aeroportuário	Áreas ocupadas por estruturas aeroportuárias civis e militares bem como áreas conexas de apoio.
1.4	Espaços verdes urbanos, equipamentos desportivos, culturais e de lazer e zonas históricas	5	Espaço Verde	Áreas verdes com ou sem ajardinamento e equipamentos de desporto e lazer associados. Não se incluem pequenas zonas com árvores entre prédios ou pequenos logradouros ajardinados. Distinguem-se os espaços naturais, na medida em que foram intervencionados pelo Homem, perdendo as suas características naturais originais.
2.4	Áreas agrícolas heterogéneas	6	Espaço Agrícola	Áreas ocupadas por culturas agrícolas, permanentes ou não, por vezes misturadas com vegetação natural
3	Florestas e meios naturais e semi-naturais	7	Espaço Natural	Áreas que conservam grande parte das suas características biofísicas originais e cujas intervenções humanas não modificaram significativamente a estrutura natural.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tipificação do leito, margem e orla estuarina permitiu a caracterização biofísica do território e da sua ocupação antrópica. Os resultados revelaram que cerca de 43% da área total do estuário corresponde a zonas intertidais. O sapal ocupa cerca de 13% destas zonas, estando 15% da área intertidal ocupada com estruturas, geralmente ligadas a atividades de exploração do sal, relacionadas com o aproveitamento da energia das marés (moinhos de maré) ou agrícolas (mouchões).

As classes de ocupação mais importantes da orla estuarina (que inclui a margem) (*Tabela II* e *Figura 2*) correspondem aos espaços agrícolas e urbanos. Os primeiros constituem cerca de 35% da orla, e são explicados pela grande extensão de lezírias na zona NE do estuário e pela margem esquerda possuir ainda uma área vasta dedicada a esta atividade. As áreas urbanas representam 34% da orla, o que reflete a localização da mais importante área metropolitana do país. Também devido a este facto, é igualmente significativa a ocupação por espaços industriais, cerca de 15%.

Tabela II. Áreas ocupadas por classe de ocupação na orla estuarina.

Nome da classe	Área (km ²)	%
Espaço Verde	8,1	6
Espaço Urbano	44,5	34
Espaço Portuário	3,4	3
Espaço Natural	1,7	1
Espaço Industrial	19,8	15
Espaço Agrícola	44,8	35
Espaço Aeroportuário	7,4	6
Total	129,6	100

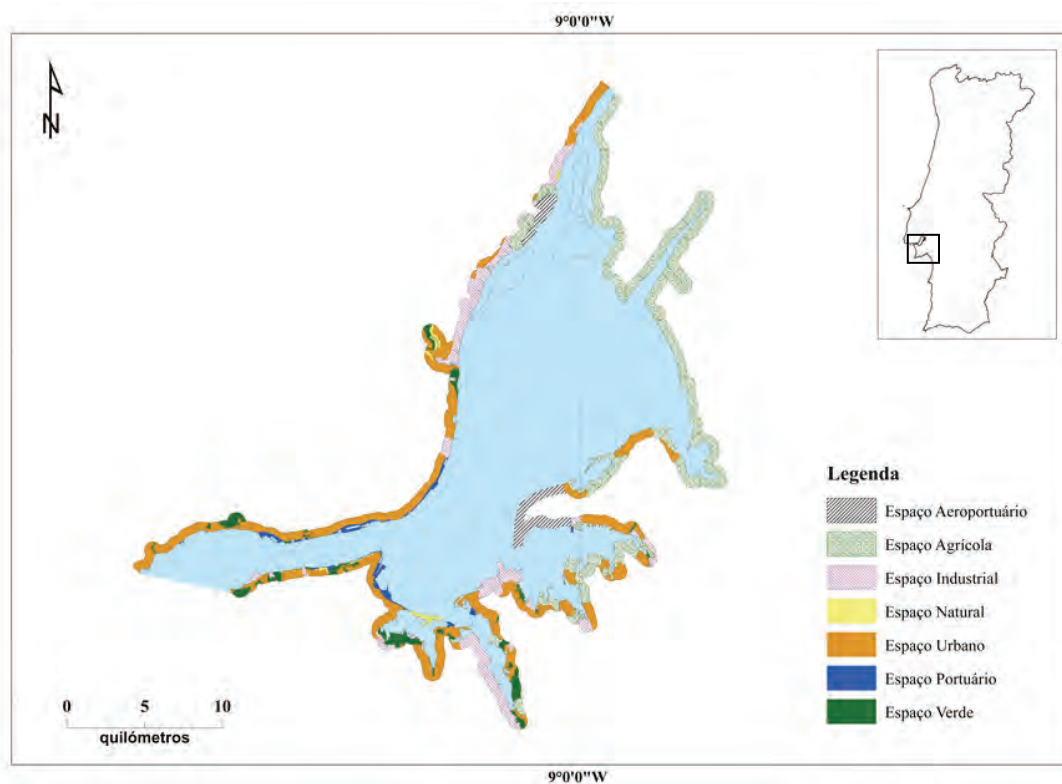


Fig. 2. Tipificação da ocupação antrópica na orla estuarina.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em conta a importância de que se reveste o conhecimento da ocupação das zonas marginais estuarinas na previsão e avaliação das consequências dos efeitos das alterações climáticas nestes ambientes, foi efetuada a tipificação das unidades morfosedimentares, habitats e ocupação do leito e orla do estuário do Tejo.

Os resultados revelaram que a presença antrópica, tanto no leito como na orla estuarina, é muito significativa: cerca de 7% do leito está ocupado por estruturas antrópicas; as áreas urbanas e industriais (incluindo as áreas portuárias e aeroportuárias) ocupam cerca de 60% da orla, correspondendo as áreas verdes e naturais apenas a 7%.

Face a estes resultados torna-se evidente a exposição destas zonas aos possíveis efeitos das alterações climáticas, traduzidos na subida do nível médio do mar e na ocorrência mais frequente de eventos extremos como *storm surges*. Só um melhor conhecimento dos processos de erosão e inundação das zonas marginais estuarinas permitirão uma avaliação sustentada do risco associado a estes fenómenos e a consequente proposta de medidas de mitigação e adaptação adequadas.

Agradecimentos

Este trabalho é um contributo do projeto *MorFeed: resposta morfológica das margens estuarinas aos efeitos das alterações climáticas*, financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (PTDC/AAC-AMB/100092/2008).

Os autores agradecem a todos os elementos da equipa do projeto *MorFeed* e aos técnicos superiores Lourival Trovisco e Luís Simões Pedro pela contribuição dada neste estudo.

REFERÊNCIAS

- Caetano, M., V. Nunes e A. Nunes (2009). *CORINE Land Cover 2006 for Continental Portugal*. Relatório técnico, Instituto Geográfico Português.
- Caçador, I., Tibério, S. e Cabral, H.N. (2007). "Species zonation in Corroios salt marsh in the Tagus estuary (Portugal) and its dynamics in the past fifty years". *Hydrobiologia*. 587, pp 205-211.
- Freire, P.M.S (2003). *Evolução morfo-sedimentar das margens estuarinas. Estuário do Tejo, Portugal*. Tese de Doutoramento apresentada à Universidade de Lisboa, Lisboa, LNEC,TPI28.
- Freire, P.F., Taborda, R. e Andrade, C. (2006). Caracterização das praias estuarinas do Tejo. Em *Livro de comunicações do VIII Congresso da Água*, Figueira da Foz (Portugal), 13 – 17 Fev. pp 12.
- INE (2012). Censur 2011- resultados provisórios. INE, Lisboa. ISSN 2182-4215.
- Mendes, N. R., Ceia, R., Silva, T., Rilo, A., Guerreiro, M., Catalão, J., Taborda, R., Freitas, C., Andrade, C., Melo, R., Fortunato, A. e Freire, P. (2012). Detecção Remota e Cartografia de Intertidal. O contributo do Projeto MorFeed. Em: *Actas das 2^{as} Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, IH, Lisboa (submetido).
- Rilo, A. R., Freire, P., Mendes, R. N., Ceia, R., Catalão, J., Taborda, R., Melo, R., Caçador, M.I., Andrade, C., Freitas, M. C. (2012). Um contributo para o traçado da Linha da máxima preia-mar de águas vivas equinociais em ambientes de transição. O caso do estuário do Tejo. *11^o Congresso da Água, 6-8 de Fevereiro 2012*. APRH, Porto, Portugal, CD-ROM, 11 pp. http://www.lnec.pt/organizacao/dha/nec/estudos/id/morfeed/pdfs/CAgua_paper_Rilo_et_al.pdf.
- Townend, I., Pethick, J. (2002). Estuarine flooding and managed retreat. *Society*: 360 (1796): 1477-1495.

Sistemas de Informação Geográfica e Gestão de Dados do Ambiente Marinho

Comparação da agrimensoria dos espaços marítimos nacionais por métodos geodésicos e cartográficos

M. Bessa Pacheco (1) e P. Sales (2)

(1) Marinha Portuguesa e Univ. Lusófona de Humanidades e Tecnologias. miguelbessapacheco@gmail.com

(2) ESRI-Portugal

Resumo: O potencial económico, político e social de um país ribeirinho, está muito relacionado com a dimensão do seu território e dos espaços marítimos sob sua soberania ou jurisdição. Portugal, fruto da sua privilegiada localização geográfica, tem uma dimensão marítima significativa quando comparada com o território e com muitos outros países costeiros. A evolução tecnológica, principalmente a que se refere aos sistemas de informação geográfica, colocou à disposição ferramentas que nos permitem calcular, de modo expedito, áreas elipsóidais, em contraponto aos tradicionais cálculos com recurso a projeções cartográficas, minimizando os erros associados à planificação da Terra.

Face ao que precede, este artigo tem três objetivos: documentar as áreas elipsóidais dos espaços marítimos nacionais, ordenar os países com maiores áreas de zona económica exclusiva e fazer uma análise comparativa dos resultados obtidos, para os mesmos espaços, entre as áreas elipsóidais e cartográficas.

Os cálculos das áreas dos espaços marítimos, tanto as elipsóidais como as cartográficas, foram realizados com recurso a sistemas de informação geográfica. Para o cálculo das áreas elipsóidais utilizou-se como referência o elipsoide WGS84. Para o cálculo das áreas cartográficas utilizou-se como referência o elipsoide WGS84 e uma projeção cartográfica equivalente de Lambert de cobertura global.

Com este projeto, foram obtidas as áreas elipsóidais e cartográficas dos espaços marítimos sob soberania ou jurisdição nacionais, bem como a da zona económica exclusiva dos países ribeirinhos e arquipelágicos. Os resultados obtidos permitiram verificar que a diferença de valores, entre as áreas elipsóidais e cartográficas calculadas, é relativamente reduzida, podendo chegar a valores máximos da ordem de 1%.

Palavras chave: Área elipsoidal, Área cartográfica, SIG, ZEE, Mar territorial

1. INTRODUÇÃO

A Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM) confere aos Estados costeiros prerrogativas de soberania ou jurisdição sobre os espaços marítimos adjacentes que podem estender-se até muitas milhas além da costa. Por via daquela Convenção, Portugal reclamou já soberania ou jurisdição sobre os espaços marítimos a que tem direito, estando em curso nas Nações Unidas o processo de delimitação da plataforma continental para lá das 200 milhas náuticas. O potencial económico, político e social de um país ribeirinho, está muito relacionado com a dimensão do seu território e dos espaços marítimos sob sua soberania ou jurisdição. Portugal, fruto da sua privilegiada localização geográfica, tem uma dimensão marítima significativa quando comparada com o território e com muitos outros países costeiros. A evolução tecnológica, principalmente a que se refere aos sistemas de informação geográfica, colocou à disposição ferramentas que nos permitem calcular, de modo expedito, áreas elipsóidais, em contraponto aos tradicionais cálculos com recurso a projeções cartográficas, minimizando os erros associados à planificação da Terra.

Face ao que precede, este artigo tem três objetivos: documentar as áreas elipsóidais dos espaços marítimos nacionais, ordenar os países com maiores áreas de zona económica exclusiva e fazer uma análise comparativa dos resultados obtidos, para os mesmos espaços, entre as áreas elipsóidais e cartográficas.

2. METODOLOGIA

Devido às complexidades técnicas de planificação de superfícies esféricas, as medidas geo-espaciais são normalmente calculadas com recurso a projeções cartográficas. Neste âmbito, diferentes projeções podem ser usadas para fins distintos consoante os objetivos pretendidos. Por outro lado, a medição de áreas e distâncias directamente sobre os elipsóides de referência, são mais complexas mas minimizam os erros associados às projeções cartográficas, obtendo-se valores com maior fiabilidade. Neste artigo, as áreas apresentadas foram calculadas sobre um elipsóide de referência, usando uma técnica com recurso a múltipla geração de triângulos esféricos. Todas as áreas apresentadas foram calculadas com recurso ao sistema de informação geográfica ArcGIS, do fabricante ESRI, com a extensão “*graphics and shapes*” (geodesic

tools), do fabricante Jenness Enterprises, e estão referidas ao elipsóide WGS84 (utilizado pelo sistema de posicionamento global GPS). Os dados geográficos dos limites marítimos nacionais foram gerados a partir da legislação nacional. Os limites da reclamação de extensão da plataforma continental foram obtidos da Estrutura de Missão para a Extensão da Plataforma Continental. Os limites das ZEE dos países ribeirinhos foram obtidos a partir de Sales (2009).

3. TERRITÓRIO E ESPAÇOS MARÍTIMOS

3.1. Território e Linha de Costa

A dimensão dos espaços marítimos releva quando comparada com a dimensão do território nacional. Assim, nesta secção apresentam-se os valores da área do território e comprimento da linha de costa de Portugal.

O comprimento oficial da linha de costa do continente (Instituto Nacional de Estatística, 2010) contempla um segmento que inclui o estuário do rio Tejo, que para muitas aplicações não é considerado como linha de costa. A tabela seguinte apresenta os valores da área dos vários espaços territoriais nacionais e o comprimento da linha de costa. O valor apresentado para a linha de costa corresponde ao valor oficial nacional, retirado o segmento correspondente ao estuário do rio Tejo 157,4 km e tendo um acrescento de 5,4 km correspondente ao fecho da foz na zona entre o forte de S. Julião e a Trafaria. A área do território nacional é apresentada na Tabela I.

Território	Área (km ²)	Linha de Costa (km)
Continente	89.084	1.102
Açores	2.322	943
Madeira	801	402
Total	92.207	2.447

Tabela I - Área do território nacional e comprimento da linha de costa.

3.2 Linhas de Base

A referência internacional para medição da largura dos espaços marítimos é a linha de base. As linhas de base podem ser constituídas por um conjunto de linhas de base normal, correspondentes aos locais que definem a mais baixa baixa-mar alguma vez observada, e por linhas de base recta, que entram pelo mar a dentro, de acordo com determinadas condições orográficas e conforme juridicamente estabelecidas na CNUDM. Portugal tem as suas linhas de base definidas no Decreto-lei nº 495/85, e foram estas as linhas utilizadas para se marcarem as áreas dos espaços marítimos a seguir indicados (fig. 1).



Fig. 1 - Linha de base no continente.

3.3 Águas Interiores

As águas interiores correspondem aos espaços marítimos e fluviais que se situam entre a linha de costa e as linhas de base recta. Conforme indicado na tabela II, as águas marítimas interiores de Portugal somam cerca de 14.050 km².

Área marítima	Área Elipsoidal (km ²)	Área Cartográfica (km ²)
Águas interiores fluviais	654	654
Águas interiores marítimas	13.396	13.419
Total	14.050	14.073

Tabela II - Área das águas interiores nacionais.

3.3Mar Territorial

A soberania de um Estado costeiro estende-se, além do seu território e das águas interiores, a uma zona adjacente designada por mar territorial.

O mar territorial tem uma largura de 12 milhas náuticas (limite máximo reclamável), sendo a origem desta medição a linha de base. A tabela III indica a dimensão da área do mar territorial nacional, resulta da soma das zonas do continente e arquipélagos da Madeira e Açores (fig. 2).

Área marítima	Área Elipsoidal (km ²)	Área Cartográfica (km ²)
Mar territorial	50.960	50.966

Tabela III - Área do mar territorial nacional.

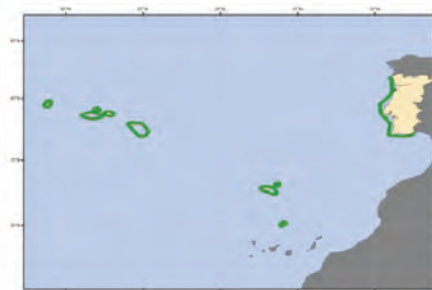


Fig. 2 - Cobertura geográfica do mar territorial.

3.4 Zona Contígua

A zona contígua tem o seu limite interior no limite exterior do mar territorial (12 milhas náuticas) e pode estender-se até 24 milhas náuticas, contadas a partir das linhas de base.

A tabela IV indica a dimensão da área da zona contígua nacional.

Área marítima	Área Elipsoidal (km ²)	Área Cartográfica (km ²)
Zona contígua	64.314	64.348

Tabela IV – Área da zona contígua nacional

Em termos legais, de acordo com a CNUDM, na zona contígua, o Estado costeiro pode tomar as medidas de fiscalização necessárias a:

- a) Evitar as infracções às leis e regulamentos aduaneiros, fiscais, de imigração ou sanitários no seu território ou no seu mar territorial;
- b) Reprimir as infracções às leis e regulamentos no seu território ou no seu mar territorial.

3.5 Zona Económica Exclusiva

A Zona Económica Exclusiva (ZEE) corresponde à área cujo limite interior é o limite exterior do mar territorial e pode estender-se até 200 milhas náuticas, contadas a partir das linhas de base.

A tabela V indica a dimensão da área da ZEE nacional e a fig. 3 ilustra a sua cobertura geográfica.

Tabela V – Área da zona económica exclusiva nacional.

Área marítima	Área Elipsoidal (km ²)	Área Cartográfica (km ²)
ZEE	1.660.270	1.661.234

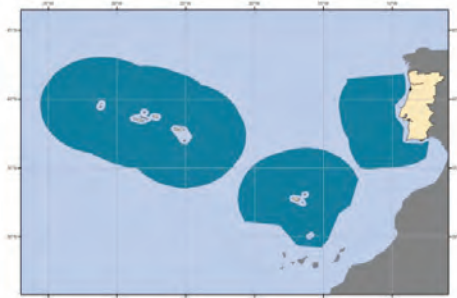


Fig. 3 - Cobertura geográfica da ZEE nacional.

Em termos legais, de acordo com a CNUDM, na ZEE o Estado costeiro tem:

- a) Direitos de soberania para fins de exploração e aproveitamento, conservação e gestão dos recursos naturais, vivos ou não vivos das águas sobrejacentes ao leito do mar, do leito do mar e seu subsolo, e no que se refere a outras actividades com vista à exploração e aproveitamento da zona para fins económicos, como a produção de energia a partir da água, das correntes e dos ventos;
- b) Jurisdição, em conformidade com as disposições pertinentes da presente convenção, no que se refere:
 - i) colocação e utilização de ilhas artificiais, instalações e estruturas;
 - ii) investigação científica marinha;
 - iii) protecção e preservação do meio marinho.

3.6 Plataforma Continental

A plataforma continental corresponde ao solo e subsolo marinho cujo limite interior é o limite exterior do mar territorial e estende-se até aos limites da ZEE ou do bordo exterior da margem continental.

A tabela VI indica o valor actual da área da plataforma continental e o da reclamação de extensão, e a fig. 4 ilustra a sua cobertura geográfica.

De acordo com a CNUDM, o Estado costeiro exerce direitos de soberania sobre a plataforma continental para efeitos de exploração e aproveitamento dos seus recursos naturais.

Tabela VI – Área da plataforma continental nacional e reclamação da sua extensão.

Área marítima	Área Elipsoidal (km ²)	Área Cartográfica (km ²)
Plataforma continental	1.660.270	1.661.234
Extensão plataforma continental (reclamação)	2.108.837	2.110.353
Total	3.769.107	3.771.588

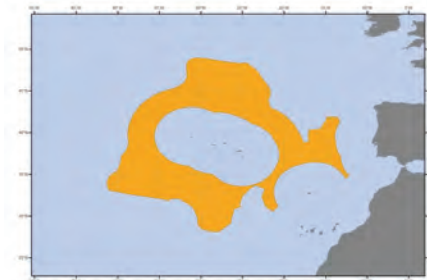


Fig. 4 - Cobertura geográfica da reclamação nacional de extensão da plataforma continental

4. ZEE DOS ESTADOS COSTEIROS

A ZEE portuguesa é a 20ª maior do mundo (com um valor muito semelhante ao da Papua Nova Guiné) e a 5ª maior dos países europeus, de um total de 150 países que têm soberania e jurisdição sobre zonas marítimas. Nesta ordenação não está considerada a eventual ZEE da Antártica cujo estatuto internacional não permite que nenhum país se torne soberano do seu espaço.

A tabela VII ordena e indica a área da ZEE dos primeiros 21 estados costeiros, bem como a diferença percentual entre a área elipsoidal e a área cartográfica destes espaços marítimos ([área cartográfica-área elipsoidal]/área elipsoidal).

5. ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS DIFERENÇAS DE ÁREAS

Para obtenção de um grau de confiança relativamente ao cálculo cartográfico de áreas, com a projecção seleccionada (cilíndrica, equivalente de Lambert, de aplicação mundial) foi realizada uma análise estatística das diferenças percentuais entre as áreas elipsoidais e cartográficas das ZEE dos 150 estados costeiros. Desta análise obtiveram-se os seguintes parâmetros estatísticos e histograma (fig. 5):

Tabela VII – Ordenação dos países ribeirinhos por área de ZEE

Pais	Área Elipsoidal (km ²)	Área Cartográfica (km ²)	Diferença (%) área geodésica
Estados Unidos da América	11.430.842	11.429.633	-0,0106
França	9.730.123	9.709.615	-0,2108
Antarctica	8.098.322	8.156.664	0,7204
Austrália	8.139.846	8.132.406	-0,0914
Nova Zelândia	6.536.339	6.533.043	-0,0504
Reino Unido	6.524.570	6.527.043	0,0379
Rússia	6.413.523	6.454.069	0,6322
Japão	3.660.944	3.655.832	-0,1396
Brasil	3.457.784	3.445.822	-0,3460
Chile	3.433.681	3.433.509	-0,0050
Kiribati	3.375.025	3.360.258	-0,4375
México	3.019.303	3.010.810	-0,2813
Canadá	2.941.793	2.957.883	0,5469
Micronésia	2.909.002	2.896.581	-0,4270
Indonésia	2.765.141	2.753.308	-0,4279
Dinamarca	2.330.913	2.348.944	0,7736
Noruega	2.317.285	2.332.362	0,6506
Índia	2.106.360	2.098.505	-0,3729
Pais	Área Elipsoidal (km ²)	Área Cartográfica (km ²)	Diferença (%) área geodésica
Ilhas Marshall	1.888.255	1.880.670	-0,4017
Papua Nova Guiné	1.679.308	1.671.748	-0,4502
Portugal	1.660.270	1.661.234	0,0580
África do Sul	1.471.660	1.472.807	0,0780
...
Total	122.199.005	122.143.978	-0.0450

Descritor	Valor
Média	-0,18%
Desvio padrão	0,32%
Mínimo	-1,06%
Máximo	1,17%

Tabela VIII – Descritores estatísticos das diferenças de áreas

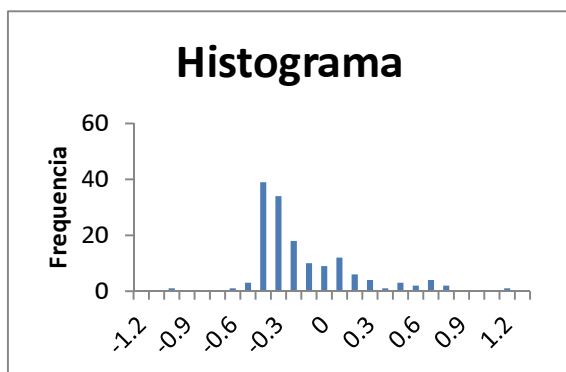


Fig. 5 - Histograma das diferenças percentuais de áreas elipsóidais e cartográficas (projecção equivalente)

As diferenças percentuais obtidas foram associadas aos espaços marítimos correspondentes, de modo a se perceber da existência de um padrão na sua distribuição geográfica. Verificou-se que a distribuição das diferenças está correlacionada com a variação em latitude. Nas baixas latitudes (equador) as diferenças são negativas e de menor valor (área elipsoidal maior que a área projectada). Nas latitudes dos trópicos as diferenças são mínimas. Nas altas latitudes as diferenças são

positivas e de maior valor (áreas projectadas são maiores que as elipsóidais). Esta correlação das diferenças com a latitude resulta das próprias características da projecção cartográfica utilizada.

A fig. 6 ilustra a distribuição geográfica das diferenças entre as áreas elipsóidais e cartográficas das ZEE dos países ribeirinhos. A zona esverdeada corresponde a maiores valores de áreas elipsóidais. As zonas amarelas correspondem a valores relativamente idênticos (<0,1%) entre as áreas elipsóidais e projectadas. As zonas avermelhadas correspondem a maiores valores de áreas projectadas (>0,7%).

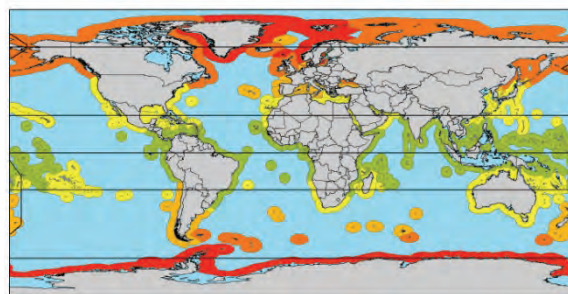


Fig. 6 - Distribuição geográfica das diferenças entre áreas elipsóidais e áreas cartográficas.

6. CONCLUSÕES

Face a estes resultados, pode concluir-se que a diferença máxima esperada entre o cálculo de áreas elipsóidais e cartográficas, usando a projecção equivalente seleccionada, é da ordem de 1%, sendo na maior parte dos casos inferior a 0,5%. Esta ordem de grandeza nas diferenças obtidas é aceitável para a maior parte das aplicações tradicionais.

REFERÊNCIAS

- Instituto Nacional de Estatística (2010). *Anuário Estatístico de Portugal – 2009*.
- Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (1982). Montego Bay.
- Decreto-Lei nº 495/85 de 29 de Novembro, do Ministério do Mar. *A redefinir as linhas de fecho e de base rectas*. Diário da República, 1ª Série – Nº 275.
- Lei nº 34/2006 de 28 de Julho, da Assembleia da República. *Determina a extensão das zonas marítimas sob soberania ou jurisdição nacional e os poderes que o Estado Português nelas exerce, bem como os poderes exercidos no alto mar*. Diário da República, 1ª Série – Nº 145.
- Sales, P. (2009). *Sistema de informação sobre os limites marítimos do mundo*. Relatório de estágio. Instituto Superior de Estatística e Gestão da Informação. Universidade Nova de Lisboa.

Two dimensional unstructured mesh generation for shallow water models based on the multi-criteria strategy

A. Mazzolari (1), A. Trigo-Teixeira (1) e M.A.V.C. Araújo (1)

(1) CEHIDRO, Instituto Superior Técnico, Technical University of Lisbon, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001, Lisboa
andrea.mazzolari@ist.utl.pt

Abstract: Finite element shallow water models have successfully demonstrated great flexibility in handling complex geometries, encompassing at the same time oceanic, coastal and estuarine spatial scales. The design of unstructured meshes for multi-scale domains represents a non-trivial task, as the need of node placement optimization should cope with the necessity of local and global bathymetry accuracy and with the representation of all the involved physical forcings. In this work different strategies of discretization are presented, all of them based on the concept of node spacing function: a series of a priori and/or a posteriori criteria, derived from bathymetrical, physical or numerical constraints, are merged in a final piece-wise function, which represents the target node spacing in the meshing process. Examples of an idealized geometry and an ocean domain are provided.

Keywords: advancing front, finite elements, node spacing function, local truncation error analysis

1. INTRODUCTION

Finite Element Modeling of hydrodynamics in ocean, coastal and estuarine domains requires the meshing of the computational domain. Models are becoming more complex and meshes should comprise several length scales. The concept of the Node Spacing Function (NSF) is introduced to define the target spacing for nodes on the mesh. This function may be created using a multi-criteria strategy. To create the triangular mesh, the code MESHGR (Trigo-Teixeira, 1994), based on the advancing front concept, is used for an idealized geometry; the Delaunay triangulator TRIANGLE (Shewchuck, 1996) and an a-posteriori error estimator (Hagen et al., 2000) for an oceanic domain.

2. IDEALIZED GEOMETRY

In order to understand how the multi-criteria strategy is applied, one idealized geometry, which consists in a 100 Km squared multi-connected domain with the presence of two islands, is tested (Figure 1). The bathymetry scatter set has been digitized manually, and, if from one side it tries to reproduce the two islands on a gently inclined sea floor, on the other has been kept as simple as possible. Two a-priori meshing criteria are considered here: the wavelength to mesh size (Le Provost and Vincent, 1986) and a geometric distance criterion (Legrand et al., 2006). The first can be expressed as:

$$\Delta x_1(x, y) = \frac{\lambda(x, y)}{\alpha} = \frac{T\sqrt{gh(x, y)}}{\alpha} \quad (1)$$

where Δx_1 is the target node spacing function, λ the wavelength, g the gravity acceleration, $h(x, y)$ the bathymetry depth as a function of position, T the wave period and α a constant. Contours of (1) are

the same, apart from a factor of proportionality, to the depth contours of Figure 1. Similarly to Legrand

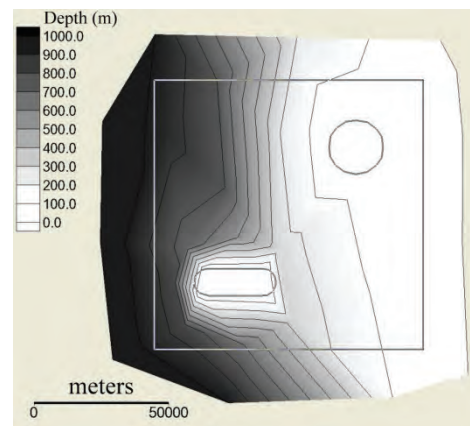


Figure 1. Boundary and bathymetry contours of example 1. The coastline is represented by the last contour on the right, the islands by the internal closed curves.

et al. (2006), a second NSF, based on the distance from the nearest island or reef, is proposed:

$$\Delta x_2(x, y) = d_{MIN} + \frac{(D(x, y))^2}{D^2} (d_{MAX} - d_{MIN}) \quad (2)$$

where d_{MIN} and d_{MAX} are the minimum and maximum element target sizes, in this case set respectively to 1000 m and 10000 m, while $D(x, y)$ represents the distance from the nearest island center and D the square side length. The final NSF is the minimum between the considered criteria. Figure 2 shows the final mesh and the area of influence of each criterion: for the shallowest area the wavelength derived criterion is the most stringent and leads the final refinement; the rest of the domain is meshed according to the geometry derived function. The meshing was performed with MESHGR and completed with a Laplacian smoothing process. Some quality checks may at this point be done: the

histograms of Figure 3 plot the shape index q_i of the i element, defined as:

$$q_i = \frac{4\sqrt{3}A_i}{(a_i^2 + b_i^2 + c_i^2)} \leq 1 \quad (3)$$

being A_i the element area and a_i , b_i and c_i the side lengths. q_i estimates how equilateral is an element: for an equilateral triangle $q_i = 1$. In numerical modeling bad shaped elements, causing rapidly varying sizes, affect solution accuracy by increasing the odd-order truncation error terms (Hagen et al., 2000) and should be taken with caution. Figure 3 shows an overall good element shape quality distribution, with just one element below 0.6: this can be explained by the effectiveness of the MESHGR Laplacian smoothing in the node repositioning, and by the relatively simple geometry and regular underlying bathymetry. Another quality check is done by comparing the original bathymetry with the mesh bathymetry (Figure 4): the agreement between the mesh and the scatter set contours is optimal along straight segments, while minor differences are localized in the vicinity of singular points of the depth contours.

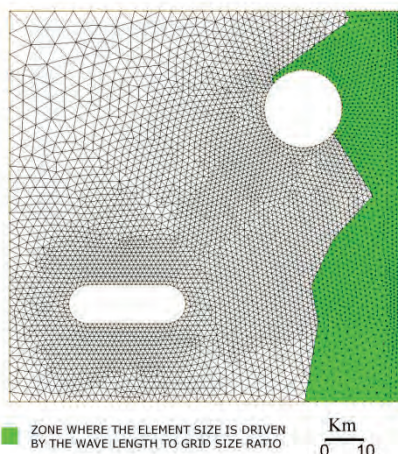


Figure 2. Final mesh and domain zoning according to the leading meshing criteria. The shadowed region is the area where the wavelength NSF is predominant over the distance NSF

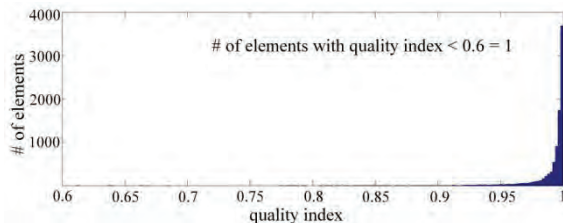


Figure 3. Histograms of the quality index q_i .

3. OCEANIC DOMAIN

A 400 Km for 615 Km domain, with a land boundary going from Cabo Toriñana (Spain) to Cabo Carvoeiro (Portugal) along the Western Iberian coast (Figure 5), is chosen as a real case study where an a-priori meshing criterion and an a-posteriori error estimator criterion are compared. The bathymetry is retrieved from a manual editing

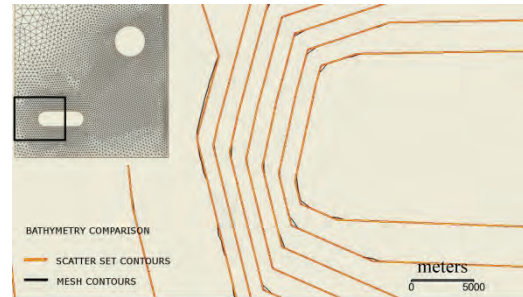


Figure 4. Comparison between mesh bathymetry and scatter set bathymetry. The mesh contours are represented with a darker line

of the 1:150000 and 1:1000000 nautical charts of the Portuguese Hydrographic Institute until a depth of 4000 m. The remaining area is covered by the 1' resolution world ocean floor database of Smith and Sandwell (1997).

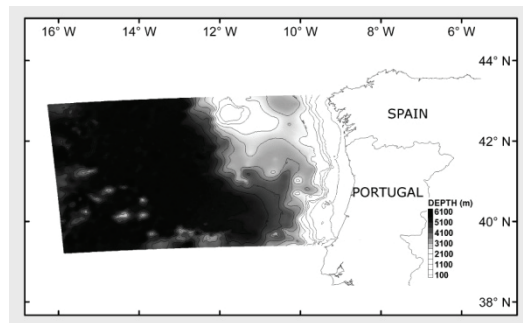


Figure 5. Ocean domain, extending for 400 km along the west Iberian Coast and 615 km across the Atlantic Ocean

3.1 Mesh Generation

The Delaunay mesh generator TRIANGLE (Shewchuck, 1996) supports the creation of the first mesh, where the node placement is determined, via successive refinements, through the a-priori relationship $h/A < \beta$, being h the local depth, A the element area and β a user dependent parameter: at each step, existing elements with a h/A ratio higher than a threshold β are refined. Laplacian smoothing is applied to achieve a smoother element area grading. The final mesh T41 (Figure 6) has 41367 nodes and 80590 elements. Figures 7 and 8 visualize T41 quality characteristics in terms of q_i and side length distribution. Despite applying Laplacian smoothing, 25 poorly shaped elements are found. The side length distribution ranges from a maximum of 32 Km (1 occurrence) to less than 350 m (around 10000 occurrences, as the shortest elements, consequently to the depth dependent refinement, are located in the shallower part of the domain. The second discretization technique applies the local truncation error analysis LTEA (Hagen, 2001) to T41. LTEA redistributes the nodes of an already existing mesh in order to achieve a uniform distribution of an error estimator. This error is expressed as a function of the discretization of the ADCIRC-2DDI (Luettich and Westerink, 1992)

linearized shallow water equations, for a M2 tidal

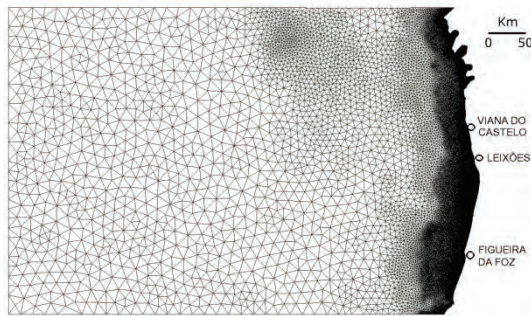


Figure 6. Mesh T41. Element refinement is proportional to depth and it gradually increases on the continental shelf.

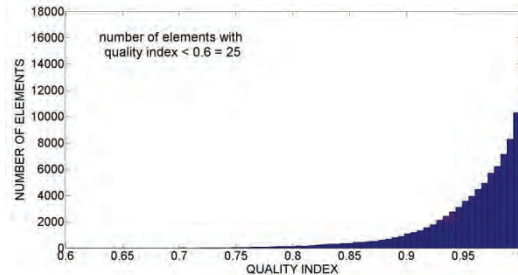


Figure 7. q_i distribution for T41

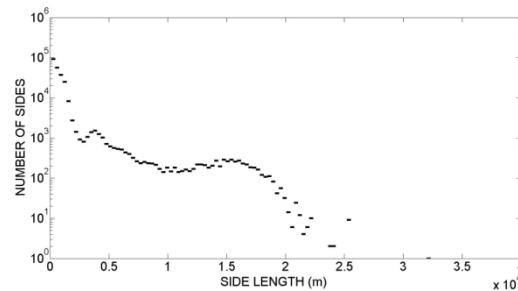


Figure 8. Distribution of the T41 triangle side lengths

forcing. Boundary nodes can be redistributed and internal node placement is controlled by a maximum multiple of area change between adjacent elements in order to create good shaped elements with graded area transitions. The element formation is controlled by an advancing front algorithm. The error estimator absolute value, which should be nearly constant for the new discretization, is proportional to the number of elements of the prospective mesh. Here two meshes are derived: the first one uses the same number of nodes of T41, and will be called L41 (Figure 9); the second one doubles the target node number, and is called L82. L41 presents 40672 nodes and 78157 elements, while L82 has 81865 nodes for 160620 elements. For L41 no bad shaped elements are found (Figure 10), demonstrating the algorithm effectiveness in imposing the mentioned elements properties. The side lengths (Figure 11) are more evenly distributed than for T41, with a wider length range. The node spacing analysis demonstrates larger than initial element sizes in deeper waters and on the continental shelf. Enhanced refinement is visible along the shelf break, corresponding to an increased bathymetry gradient, while along the coastline the element size is between

180 and 215 m; in T41 it was of around 240 m. The quality characteristics observed for L41 are also present in L82, although for brevity reasons no images are shown in the paper.

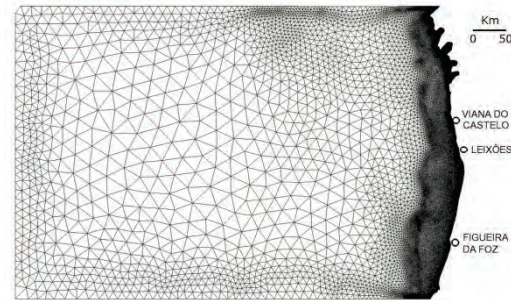


Figure 9. Mesh L41. Wider elements are located in deep waters in the middle of the domain, while element refinement is localized along the shelf break and continental slope

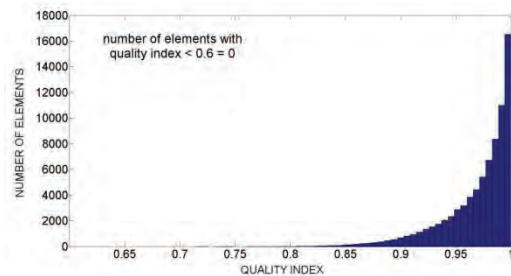


Figure 10. q_i distribution for L41

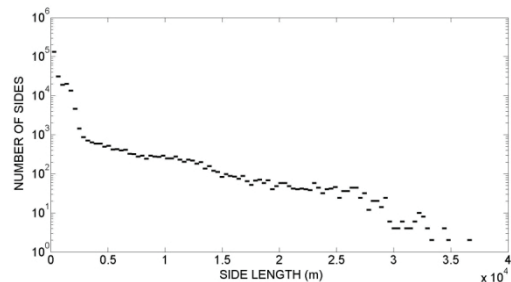


Figure 11. Distribution of the L41 triangle side lengths

3.2 Mesh convergence study

The meshes T41, L41 and L82 were tested in a ADCIRC-2DDI tide modeling study. For each run, the ocean boundary nodes were forced with the K1, K2, M2, N2, O1 and S2 elevations and phases extracted from a global tidal database (Le Provost et al., 1998), and the internal nodes with the respective tide potential functions, for a 95 day long simulation. Harmonic analysis was applied to the reference stations placed in the vicinity of the harbors of Viana do Castelo, Leixões and Figueira da Foz, for which measured tide constituents are available. Table I compares the harmonic analysis of modeled and measured tides at Viana do Castelo. Table I indicates the result convergence of L41 and L82 with T41. The reproduction of the gauge data harmonic analysis is good, with an absolute maximum difference of 2.5 cm for the M2 amplitude (over 104.3 cm), while the highest relative difference is 6.7% for O1. The maximum phase difference is 2.4° for K1. These reduced

discrepancies may be related to the sheltered position of the tide gauge inside the harbor, while the mesh land boundary does not include the harbor layout and therefore the station had to be placed out of it. Another reason may be attributed to the 95 day long computed time series, much shorter than the

whole year of measurements. Result convergence for the remaining stations confirm the same trend, with a 2.4 cm difference in the M2 amplitude at Leixões and 3.4 cm difference at Figueira da Foz. The maximum phase difference is 2.0° at Leixões and 4.9° at Figueira da Foz gauges, both for S2.

Table I. Harmonic analysis for the Viana do Castelo station

Constituents	T41		L41		L82		T_TIDE*	
	Amplitude (cm)	Phase (°)	Amplitude (cm)	Phase (°)	Amplitude (cm)	Phase (°)	Amplitude (cm)	Phase (°)
K1	6,6	62,89	6,6	63,10	6,7	62,98	7,1	61,61
K2	10,4	100,42	10,4	100,42	10,4	100,42	10,2	102,82
M2	106,8	76,02	106,8	76,02	106,8	76,02	104,3	75,56
N2	23,5	57,22	23,5	57,22	23,5	57,22	22,3	57,13
O1	6,1	316,47	6,1	316,38	6,1	316,42	6,5	316,33
S2	37,5	103,52	37,5	103,52	37,5	103,53	36,2	104,61

* (Pawlowicz, 2002). Harmonic analysis for the measurements of 1999.

CONCLUSIONS

In this work different discretization strategies, based on a-priori and a-posteriori meshing criteria, have been tested. With respect to the h/λ bathymetry based criterion, the LTEA shows that higher resolution is required along the continental shelf break and in general wherever steep bottom features are present, while lower resolution is needed in deep waters and in the continental shelf. Almost the same level of resolution is required at the coast. Although harmonic analysis indicates a good performance for all tested meshes, the LTEA method addresses the problem of node placement optimization, which is fundamental for more demanding simulations, as wider multi-scale domains or real time storm surge predictions. Moreover the LTEA can be used as a reference for the construction of a-priori meshes, where the high variability of the target NSF, i.e. along the coast or in presence of steep slopes, should be met by considering the multi-criteria approach, as shown for the idealized geometry.

Acknowledgments

The authors thank the Institute of Geophysics and Planetary Physics and the US National Center for Environmental Prediction (NCEP) for making their data available and the Portuguese Foundation for the Science and Technology for the Doctoral Grant of the first author.

REFERENCES

- Hagen, S., Westerink, J., Kolar, R. (2000). One-dimensional finite element grids based on a localized truncation error analysis. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 32, 241–261.
- Hagen, S. (2001). Estimation of the truncation error for the linearized, shallow water momentum equations. *Engineering With Computers*, 17, 354–362.

- Legrand, S., Deleersnijder, E., Hanert, E., Legat, V., Wolanski, E. (2006). High-resolution unstructured meshes for hydrodynamic models of the Great Barrier Reef, Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 68, 36–46.
- Le Provost, C., and Vincent, P. (1986). Some tests of precision for a finite element model of ocean tides. *Journal of Computational Physics*, 65, 273–291.
- Le Provost, C., Lyard, F., Molines, J., Genco, M., Rabilloud, F. (1998). A hydrodynamic ocean tide model improved by assimilating a satellite altimeter-derived data set. *Journal of Geophysical Research*, 103, 5513–5529.
- Luetlich, R.A., Westerink, J.J., and Scheffner, N.W. (1992). ADCIRC an advanced 3D circulation model of shelves, coasts and estuaries, Report 1: theory and methodology of ADCIRC-2DDI and ADCIRC-3DL. Technical Report DRP-92-6, Department of the Army.
- Pawlowicz, R., Beardsley, B., and Lentz, S. (2002). Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T-tide. *Computers and Geosciences*, 28, 929–937.
- Shewchuk, J. (1996). Triangle: engineering a 2D quality mesh generator and Delaunay triangulator. In: *Proceedings of the First Workshop on Applied Computational Geometry*. Association for Computing Machinery, Philadelphia, PA, 124–133.
- Smith, W., and Sandwell, D. (1997). Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings. *Science* 277, 1957–1962.
- Trigo-Teixeira, A. (1994). Hybrid mesh generation using algebraic interpolation and the advancing front concept. In: *Modelling of Coastal and Estuarine Processes*. Coimbra.

Nautilus – Prestações para o conhecimento do ambiente sedimentar da Plataforma Continental

A. Saramago Santos (1), A. Lopes (1), C. Luz (1), R. Baptista (1) e A. Rodrigues (1)

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

Resumo: O conhecimento da plataforma sedimentar de Portugal Continental ganhou importância a partir de 1974 com o início da colheita de amostras sedimentares para o Programa SEPLAT (Cartografia de **SE**dimentos Superficiais da **PLAT**aforma Continental Portuguesa). Após 36 anos de execução, a 1ª edição das cartas sedimentológicas é publicada, e os dados e informação associadas a mais de 12 000 amostras ficam disponíveis para outro tipo de atividades, de natureza militar, científica ou económica.

Estando a informação nos mais diversos formatos, e sempre em suporte analógico, tornou-se urgente a recuperação e validação de toda a meta-informação e resultados das análises realizadas, utilizando as ferramentas atualmente em uso no Instituto Hidrográfico (IH), nomeadamente o sistema LIMS Nautilus. De acordo com as necessidades sentidas pelo laboratório de Sedimentologia, nomeadamente para cumprimento dos requisitos da Acreditação de Ensaios, a estrutura do LIMS Nautilus foi reconfigurada e adaptada à realidade das amostras de sedimentos processadas por aquele laboratório, sendo, atualmente, o único sistema do IH que permite alimentar as Bases de Dados do Ambiente Marinho com informação sedimentológica. Neste trabalho serão descritas algumas das aplicações desenvolvidas, e a forma como este sistema está a ser utilizado para recuperar e integrar a informação antiga do Programa SEPLAT nas referidas Bases de Dados.

Key points: SEPLAT; LIMS Nautilus; Amostras de sedimentos; Base de dados; Sistemas de Informação Geográfica; Meta-informação; Ambiente Marinho.

1. INTRODUÇÃO

Para quem pretenda desenvolver qualquer atividade no de território que se encontra por baixo das águas atlânticas sabe que, abaixo da superfície do mar, mais importante do que as propriedades da coluna de água, é a natureza dos fundos marinhos.

A verdadeira natureza do fundo, seja determinada por métodos de amostragem direta, métodos indiretos ou deduzida simplesmente a partir de outras informações ambientais, como por exemplo a morfologia marinhas, pode, se não for devidamente referenciadas, tornar inviável qualquer atividade ligada ao Mar, seja ela económica ou de defesa do ambiente. Estes são os princípios que estão na base do programa de cartografia sedimentar, iniciado em 1974, no Instituto Hidrográfico e financiado pelo Ministério da Defesa Nacional. No âmbito deste programa, a Divisão de Geologia Marinha (GM) colheu e analisou mais de 12 000 amostras, cujo material excedentário se encontra ainda arquivado, juntamente com todas as informações inerentes ao trabalho de campo e laboratorial.

O *software* Nautilus, foi adquirido em 2006, para a gestão laboratorial de amostras da Divisão de Química e Poluição do Meio Marinho (QP). Com esta finalidade o sistema era ainda usado para o planeamento de amostragem e permitia associar à atividade laboratorial todos os parâmetros de campo que condicionam a qualidade da amostra (por exemplo, coordenadas, tipo de amostrador, datas de colheita e condições da mesma, ...). Em 2009, a

utilização deste sistema foi estendida às amostras de sedimentos marinhos analisadas no laboratório de Sedimentologia da GM, que o utilizava unicamente a nível laboratorial e para cumprimento de requisitos técnicos das normas da Acreditação de Ensaios.

A necessidade de recuperação da informação do Programa SEPLAT e a possibilidade de adaptar o *software* NAUTILUS para armazenar e arquivar, também, amostras cujo processamento laboratorial já fora concluído, estão na base de um trabalho inédito que permitirá colocar toda a informação do programa SEPLAT nas Bases de Dados do Ambiente Marinho e permitir a sua disponibilização externa.

O objetivo desta comunicação é apresentar e descrever as adaptações realizadas no sistema NAUTILUS e apresentar algumas das funcionalidades criadas e que permitem que a informação criada com o fim específico da cartografia sedimentar possa ser exportada e utilizada para outros fins.

2. PROGRAMA SEPLAT

Segundo Dias (1987), a primeira referência aos sedimentos do território imerso adjacente a Portugal, data de 1891, e resulta de amostragem realizada pelo HMS “Challenger”, que reportou a existência de areias e lodos verdes ao largo da costa portuguesa. De facto, desde o início do séc. XX, Portugal tornou-se num dos países pioneiros, a nível mundial, que dispunha de um reconhecimento sedimentológico da

sua plataforma continental, inicialmente dirigido para o apoio da atividade piscatória nacional. Apesar do grande avanço no conhecimento do território submerso e da beleza e inovação dos produtos cartográficos, os utilizadores rapidamente sentiram as lacunas existentes nestas cartas, facto que conduziu à realização de trabalhos complementares e nem sempre seguindo as mesmas metodologias ou os mesmos princípios orientadores.

Tendo em vista a uniformização cartográfica da plataforma continental, o Ministério da Defesa Nacional, através do Instituto Hidrográfico inicia, em 1974, o Programa “Sedimentos da Plataforma Continental (SEPLAT)” que tem como objetivo final a produção de 8 Cartas Sedimentológicas realizadas à escala 1: 150 000 e que cobrem todo o território nacional compreendido entre a linha de costa e os 500 m de profundidade. A grande inovação do programa é que assenta sobre a colheita e análise de amostras de sedimentos, colhidas numa rede regular de 1 milha quadrada. Em termos descritivos, o programa pressupõe: a) a aquisição de amostras superficiais de sedimento marinho; b) a identificação de zonas rochosas mediante a aplicação de métodos diretos ou indiretos; c) a análise sedimentológica das amostras tendo em vista a aplicação de um esquema classificativo próprio que entre em linha de conta com a classificação granulométrica (textural) e o teor em Carbonato de Cálcio (Fig. 1); d) a projecção cartográfica de toda a informação e o desenho dos depósitos de sedimentos; e) a edição da carta à escala 1: 150 000, a qual fica disponível ao público. Para além destes produtos, tem havido, ao longo dos anos, uma procura continuada das amostras de sedimentos que, uma vez analisadas, ficam disponíveis para outro tipo de atividades, nomeadamente de I&D.

LEGENDA	SEDIMENTOLOGIA											
	CASCALHOS			AREIAS				SEDIMENTOS LODOÇOS				
	L < 10 %	A + L ≤ 50 %	Md ≥ 2 mm	C > 50 %	L < 10 %	A + L ≤ 50 %	Md < 2 mm	L > 10 %				
SEDIMENTOS LITOCLÁSTICOS	ORGANOLITOCLÁSTICOS			INORGANOLITOCLÁSTICOS				SEDIMENTOS LODOÇOS-LITOCLÁSTICOS				
Cap > 30 %	CG1	CM1	CF1	CA1	AC1	AG1	AM1	AF1	AL1	LA1	L1	LL1
Cap > 30 %	CG2	CM2	CF2	CA2	AC2	AG2	AM2	AF2	AL2	LA2	L2	LL2
Cap > 30 %	CG3	CM3	CF3	CA3	AC3	AG3	AM3	AF3	AL3	LA3	L3	LL3
Cap > 30 %	CG4	CM4	CF4	CA4	AC4	AG4	AM4	AF4	AL4	LA4	L4	LL4

Figura 1. O esquema classificativo utilizado na definição dos depósitos sedimentares representados nas Folhas Sedimentológicas.

Pelas razões apontadas, o programa SEPLAT é um programa estratégico para a Marinha e para o País que está longe de poder ser dado como concluído.

3. O PROBLEMA: A PRESERVAÇÃO DOS DADOS SEPLAT

Ao longo de 36 anos de duração do programa, foram colhidas, analisadas e processadas todas as

informações referentes a mais de 12 000 amostras. Para além das amostras de sedimentos, há a considerar todos os dados e informação adquiridos durante as campanhas de campo, importantes para caracterizar temporal e espacialmente a amostra, bem como todos os registos laboratoriais criados durante as várias análises realizadas, e que se encontram, quer uns, quer outros, em suporte analógico e passível de deterioração ou destruição. São de referir, por exemplo, as folhas de registo de bordo, os registos laboratoriais, os boletins de ensaio e outros registos associados a cada amostra. Estes documentos estão arquivados em inúmeros dossiês que enchem diversos armários de arquivo nas instalações da GM. Sem estes registos, qualquer amostra colhida, deixa de ser característica e perde interesse cartográfico ou científico.

Relativamente ao procedimento laboratorial a que cada amostra de sedimentos foi sujeita há a referir a sua evolução ao longo das três décadas e meia, dando-se como exemplos: granulometria por crivagem; granulometria recorrendo à balança de sedimentação; granulometria de finos através da técnica da pipetagem; granulometria com recurso ao sedimentógrafo a laser. Na determinação do teor de carbono foram usados os equipamentos Leco e Ströhlein, só para referir os mais recentes.

Pelo volume, interesse patrimonial e preservação do trabalho realizado, tornou-se urgente, e vital, a recuperação e validação de toda a meta-informação e dos resultados das análises sedimentológicas realizadas no âmbito deste programa.

4. A FERRAMENTA: O LIMS NAUTILUS

No âmbito do projecto “Infraestrutura de dados geo-espaciais sobre o ambiente marinho” (IDAMAR), o IH adquiriu uma solução comercial para Gestão de Laboratório (LIMS) de última geração desenhado, desenvolvido e comercializado pela Thermo Fisher para uso, principalmente, nas áreas farmacêuticas e química. O Nautilus, apesar de ser um software de interface com uma Base de Dados (BD) Oracle (Fig.2), é um sistema aberto, configurável, para poder responder aos mais elaborados requisitos de gestão laboratorial de diversa temática.



Fig. 2 – Configuração Lims Nautilus.

O Nautilus é o software que proporciona a gestão laboratorial das amostras para análise desde a sua colheita até à saída do resultado final, quer sejam amostras colhidas pelo IH, quer sejam colhidas por

clientes externos e analisadas nos laboratórios do IH. Este sistema cumpre os requisitos normativos mais exigentes definidos internacionalmente pela Organização de Standards Internacionais (ISO) e que está na base da Acreditação de Ensaios e dos princípios de boas práticas laboratoriais, definidos pela OCDE - Organização de Cooperação e Desenvolvimento Económico, no que se refere a aplicações informáticas, relevantes para a acreditação dos laboratórios.

5. NAUTILUS NA GEOLOGIA

Desde que foi adquirido, o sistema NAUTILUS foi dimensionado de forma a refletir o modelo de funcionamento da realidade laboratorial do laboratório QP. Este modelo reflete todas as atividades desde a preparação das campanhas até à emissão dos boletins de ensaio e faturação ao cliente. A GM adaptou-se a este modelo, mas apenas no que diz respeito à atividade laboratorial, desde que a amostra de sedimentos dá entrada no laboratório até que são emitidos os boletins de ensaio (Fig. 3).



Fig. 3 – Modelo Nautilus implementado na GM.

Para que uma amostra esteja identificada corretamente, são-lhe associadas as informações que a permitem identificar, em termos de projeto, cliente, identificação externa, coordenadas geográficas do local da colheita, data de colheita, data de entrada em laboratório, data de início de análise, data de fim de análises, entre outros identificadores. No que diz respeito às coordenadas geográficas, foi produzida uma extensão ao *software* na qual são introduzidas a longitude, a latitude e identificado o sistema geodésico de referência.

Uma vez que as amostras SEPLAT não são mais do que amostras de sedimentos cujos identificadores NAUTILUS são integralmente conhecidos, bem como as análises realizadas e resultados obtidos, o desafio foi adaptar e programar o sistema, para que ele aceitasse as metodologias passadas e a especificidade do procedimento de análise. Nesse sentido, para cumprir estes requisitos, foi necessário associar atributos adicionais aos existentes, tais como: a lista dos colhedores, a lista da classificação textural das amostras usada para o Programa SEPLAT, navios e embarcações. O sistema Nautilus adquiriu, progressivamente, contornos muito mais amplos e abrangentes e, do sistema de gestão de

atividade laboratorial, passou a adquirir funcionalidades de arquivo e *backup* de amostras sedimentares.

A inserção das amostras SEPLAT já analisadas no Nautilus, segue o mesmo processo das amostras que se encontram atualmente em análise, sendo realizada através de um no. de acesso, o qual é identificativo para as amostras das diferentes folhas. Sendo este no. de acesso a ligação entre a BD, o arquivo analógico e as próprias folhas; bem como a designação dada aos cruzeiros: Seplat 1, Seplat 2, ..., Seplat N. Uma vez identificados os atributos a associar na estrutura existente é criado um fluxo, refletindo os parâmetros e resultados das análises realizadas, de acordo com o método utilizado, e respetivas unidades. Para este efeito, realizaram-se os cálculos necessários à produção dos resultados das respetivas análises de cada amostra (Classes Granulométricas (Areia, Silte, Argila e Cascalho) e Carbonato de Cálcio).

Havendo consciência do enorme volume de informação/dados do programa SEPLAT a ser inserida na BD, foi feita programação adicional de modo, a que a maioria da informação/dados seja introduzida de forma sistemática na BD, a partir de uma tabela pré-preenchida, minimizando assim a possibilidade da ocorrência de erro resultante da inserção manual e o tempo gasto por um operador. Para além desta informação/dados também podem ser associados a cada amostra, ficheiros com análises adicionais realizadas à amostra (ex. análises composicionais realizadas com a lupa e microscópio) ou os ficheiros originais do registo de bordo e os respetivos boletins de ensaio existentes em formato analógico (após digitalização).

6. A GEORREFERENCIAÇÃO DOS DADOS

A extensão das Coordenadas associada ao Nautilus possibilita a busca e visualização dos dados armazenados na BD, a partir de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), ou de outros programas como exemplo *Google Earth* ou *Google Maps*. Neste sentido foi desenvolvida a aplicação, ilustrada na fig. 4. Para interrogação da BD segundo diversas combinações de pesquisa.

Fig. 4 – Aplicação: Ecrã de Pesquisa.

O output resultante será dado segundo dois tipos de ficheiros: *.txt e *.kml.

A informação/dados contida nos ficheiros *.txt (Fig. 5) é sobretudo para que o utilizador possa converter a classificação da BD noutras classificações/métodos. Por exemplo, as amostras das folhas SED1 até SED 7/8, classificadas segundo a classificação do SEPLAT, poderão ser sujeitas a outro esquema classificativo, do interesse do operador, como o de Shepard (1954) ou de Folk (1974).

AMOSTRA	ALLOTOTA	COLEITA	LONG	LAT	PERIODO
2012/00178	2012/00178-GM-G-1	1986-10-01	009-51-19	009-07-57	0000 11.5 a 12.0 phs
2012/00179	2012/00179-GM-G-1	1986-10-01	009-51-19	009-07-57	0000 1.0 a 1.5 phs
2012/00180	2012/00180-GM-G-1	1986-10-01	009-51-19	009-07-57	0000 1.5 a 2.0 phs
2012/00181	2012/00181-GM-G-1	1986-10-01	009-51-19	009-07-57	0000 2.0 a 2.5 phs
2012/00182	2012/00182-GM-G-1	1986-10-01	009-51-19	009-07-57	0000 2.5 a 3.0 phs
2012/00183	2012/00183-GM-G-1	1986-10-01	009-51-19	009-07-57	0000 3.0 a 3.5 phs
2012/00184	2012/00184-GM-G-1	1986-10-01	009-51-19	009-07-57	0000 3.5 a 4.0 phs
2012/00185	2012/00185-GM-G-1	1986-10-01	009-51-19	009-07-57	0000 4.0 a 4.5 phs
2012/00186	2012/00186-GM-G-1	1986-10-01	009-51-19	009-07-57	0000 4.5 a 5.0 phs
2012/00187	2012/00187-GM-G-1	1986-10-01	009-51-19	009-07-57	0000 5.0 a 5.5 phs
2012/00188	2012/00188-GM-G-1	1986-10-01	009-51-19	009-07-57	0000 5.5 a 6.0 phs
2012/00189	2012/00189-GM-G-1	1986-10-01	009-51-19	009-07-57	0000 6.0 a 6.5 phs
2012/00190	2012/00190-GM-G-1	1986-10-01	009-51-19	009-07-57	0000 6.5 a 7.0 phs
2012/00191	2012/00191-GM-G-1	1986-10-01	009-51-19	009-07-57	0000 7.0 a 7.5 phs
2012/00192	2012/00192-GM-G-1	1986-10-01	009-51-19	009-07-57	0000 7.5 a 8.0 phs
2012/00193	2012/00193-GM-G-1	1986-10-01	009-51-19	009-07-57	0000 8.0 a 8.5 phs
2012/00194	2012/00194-GM-G-1	1986-10-01	009-51-19	009-07-57	0000 8.5 a 9.0 phs
2012/00195	2012/00195-GM-G-1	1986-10-01	009-51-19	009-07-57	0000 9.0 a 9.5 phs
2012/00196	2012/00196-GM-G-1	1986-10-01	009-51-19	009-07-57	0000 9.5 a 10.0 phs
2012/00197	2012/00197-GM-G-1	1986-10-01	009-51-19	009-07-57	0000 10.0 a 10.5 phs
2012/00198	2012/00198-GM-G-1	1986-10-01	009-51-19	009-07-57	0000 10.5 a 11.0 phs
2012/00199	2012/00199-GM-G-1	1986-10-01	009-51-19	009-07-57	0000 11.0 a 11.5 phs
2012/00200	2012/00200-GM-G-1	1986-10-01	009-51-19	009-07-57	0000 11.5 a 12.0 phs

Fig. 5 – Ficheiro *.txt.

Os ficheiros *.kml foram desenvolvidos para o uso com a *Google Earth*, tendo estes ficheiros uma grande disseminação. O *Keyhole Markup Language* (KML) é uma linguagem baseada em XML e serve para expressar anotações geográficas e visualização de conteúdos em mapas. Este formato de ficheiro é caracterizado como: aberto; editável; importáveis nas ferramentas da *Google* (p.e. *Google Maps*); associados a SIG, sendo possível a importação e exportação de dados. Neste tipo de ficheiro para além da informação geográfica pode também ser colocada informação/dados alfanuméricos. No âmbito, deste trabalho foram desenvolvidos ficheiros *.kml (Fig. 6), de fácil utilização. Com o *Google Earth* o utilizador visualiza a informação/dados contidos nesses ficheiros para além da posição espacial. A caracterização de cada dado é feita pelo posicionamento, número da amostra na BD, a classificação textural SEPLAT e a data de colheita da amostra, como ilustra a Fig. 7.

```
<Placemark><name>2012/00178</name><styleUrl>#m_y1w-pushpin
</styleUrl><description>Amostra: 2012/00178
Classifica<del>ção</del>: L1 - Lodo litocl<del>ástico</del>
Colheita: 1986-10-01</description>
<Point><coordinates>-8.9,41.86583083</coordinates></Point></Placemark>
<Placemark><name>2012/00179</name><styleUrl>#m_y1w-pushpin
</styleUrl><description>Amostra: 2012/00179
Classifica<del>ção</del>: AF1 - Areia fina litocl<del>ástica</del>
Colheita: 1986-10-01</description>
<Point><coordinates>-8.91537639,41.86510472</coordinates></Point></Placemark>
```

Fig. 6 – Ficheiro *.KML.

O sistema tem vindo a ser implementado e testado, sendo já possível validar a informação introduzida até ao presente. Após a inserção, e a validação de todas as amostras SEPLAT, esta ferramenta poderá ser utilizada no âmbito da cedência de dados, quer interna, quer externa, de acordo com as normas em vigor no IH.

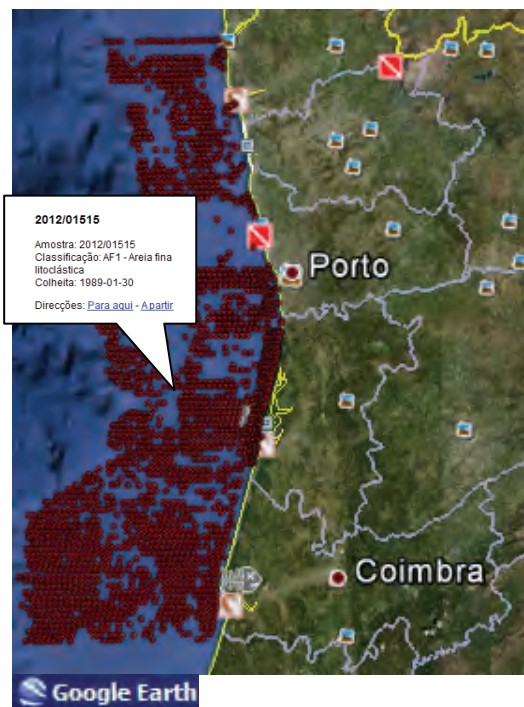


Fig. 7 – Amostras do SEPLAT.

7. CONCLUSÕES

Do trabalho realizado e apresentado, tiram-se as seguintes conclusões:

- O sistema NAUTILUS constitui um sistema de gestão laboratorial com funcionalidades que o permitem utilizar como sistema de *backup* dos dados SEPLAT, desde que os mesmos tenham atributos mínimos;
- Os dados a introduzir no Nautilus, deverão estar devidamente estruturados e validados, de forma a permitir a introdução automática e a reduzir a intervenção do operador;
- As ferramentas de georreferenciação são muito importantes, permitindo uma validação rápida dos dados introduzidos e a exportação dos mesmos em formato compatível com os *softwares* de busca mais comuns;
- Com este sistema o acesso para a cedência/partilha de dados e a re-utilização dos dados fica facilitado no âmbito de outros estudos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Shepard, F.P. (1954). Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Petrology*, 24:151-158.

Folk, R. L. (1974). *The petrology of sedimentary rocks*. Austin, Tx, Hemphill Publishing Co., 182 p.

Oracle.com

ThermoFisher.com

The Underwater Cultural Heritage National Database: regional contributions from the Madeira archipelago and the Sado/Grândola estuarine complex

A. Monteiro (1), S. Pinheiro (1) A. Martins (2), J. Figueiredo (3) e T. Casimiro (1)

- (1) Instituto de Arqueologia e Paleociências (UNL/UAlg), almonteiro@fcsh.unl.pt
- (2) Divisão de Arqueologia Náutica e Subaquática, IGESPAR, I.P.
- (3) Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, UNL

Abstract: Adopted by UNESCO in 2001, the Convention on the Protection of the Underwater Cultural Heritage is an agreement signed between States that care for the safeguarding of submerged archaeological remains against the increased looting and destruction actions being carried upon them by treasure hunting activities, deep water trawling, pipe laying and waterfront development.

By ratifying this Convention in 2006, Portugal is bound to harmonize its national legislation and its nautical and underwater archaeological practices in conformity with the Convention. Most notably, it has to provide for the establishment, maintenance and updating of an inventory of its archaeological submerged sites.

This inventory - a key element in the protection and management of underwater cultural heritage, run by Portugal's competent heritage authority (IGESPAR) and sourced on a database built in the 1980's at the National Archaeological Museum - is now being expanded by new historical and archaeological research and new GIS capabilities.

Keywords: underwater cultural heritage, archaeology, shipwrecks, archaeological underwater preserves, underwater archaeological GIS

1. INTRODUCTION

Portugal has thousands of potential archaeological submerged sites inscribed in its Underwater Archaeology Chart. The majority of these are related to shipwrecks, the remains of which are unique in their archaeological quality, constituting not only Portugal's heritage but also humankind's cultural heritage.

Unfortunately, this common heritage was ransacked by treasure hunters in 1972, at Terceira island, Azores (Wynall, 1971) and in 1974, at Porto Santo island (Sténuit, 1975). As a matter of fact, the allure of silver, gold and Chinese porcelain sunk in national waters as such that a so called "treasure hunting" legislation (Dec. Lei 289/93) was pushed through between 1993 and 1996 by a very active international treasure hunting lobby.

It was only under pressure from the international archaeological community and from public outcry, that this legislation was overturned and the tables were soon changed: in 2001, the world's most renowned maritime archaeologists, gathered at a Symposium in Lisbon, issued a Declaration where they stated that, impressed by the rapid and most rewarding developments in underwater archaeological protection and research ensuing from the adoption and implementation of the new Portuguese heritage legislation in 1997, States had to support and contribute to negotiations at UNESCO for an international Convention on the

protection of the world's underwater cultural heritage (Alves, 2001).

In 2004, a report by Portugal's National Ocean Strategic Committee not only identified the underwater cultural heritage lying in Portuguese waters as an asset that had to be protected against treasure hunting commercial ventures but also suggested that that heritage had to be studied by museums and universities. As a logical conclusion, the report recommended the ratification of the UNESCO Convention by Portugal (Comissão Estratégica dos Oceanos, 2004).

It was following this recommendation that, in 2006 Portugal ratified the UNESCO Convention for the Protection of Underwater Cultural Heritage (from now on, the CPUCH or the Convention), an international legal instrument that focuses on an often overlooked component of the world's cultural heritage: the ancient shipwrecks, sunken cities and other underwater remains that carry cultural or historical significance for humanity (Guérin, U. & Egger, B., 2011).

Now, six years later, Portugal - although theoretically in a position capable of promoting the creation of state-of-the-art practices in the field of Nautical and Underwater Archaeology (including the preservation and valorization of its underwater cultural heritage) - still lacks the human resources and the know-how necessary for such an endeavor to happen.

Since archaeological resources are limited and non-renewable, it is thus adamant that they should be

well managed and used within a sustainable development program that will contribute not only to acquisition of scientific knowledge but also to the economic, social, cultural and institutional development of the country in which they are located. As such, these remains can serve to improve scientific knowledge of local, European and global history, lead community outreach programs and create a two-way communication highway between academia and the general public.

One side of the equation is the dire need for Portugal to start building capacity in terms of nautical archaeology, by having trained conservators, geophysics and archaeologists, so that not only it can produce state of the art archaeological research but also that it can fulfill its legal obligations under the UNESCO Convention. And this last is of paramount importance because, due to the nature of some of the wrecks that lie beneath Portuguese waters, lack of human resources means that underwater cultural heritage will be looted and destroyed.

As an example, we have the *Black Swan* case, as the affair became known in the media: in May 2007, the largest and most valuable shipwreck treasure in history - a seventeen-ton haul of 500 thousand gold and silver coins, copper and tin ingots, and other commercially valuable objects - was raised by the US treasure hunting company Odyssey Marine Exploration from the bottom of the sea of the Portuguese Contiguous Zone. The looting of this shipwreck site - later found out to be the Spanish frigate *Nuestra Señora de las Mercedes*, sunk by the British in 1804 - is a good example of how a thin slice of humankind's maritime history, no larger than 300 years, is targeted by commercial companies, with Iberian ships (believed to house artifacts with market value) suffering the largest share of treasure hunters' destructions, a destruction only in part matched by that occurring with the Dutch Indiamen of the 17th and 18th centuries.

The other side of the equation is that, notwithstanding the rate of systematic destruction of Spanish and Portuguese shipwrecks for economic gain, it is almost incomprehensible how little we know about them (Domingues, 2004). Their study, as the necessary tools for a Modern Age seafaring culture, remains a small field of research in spite of the obvious importance that these vessels had in setting the age of the European expansion overseas (Castro, 2001).

But Portugal, in the scientific field of nautical archaeology, lags behind almost all other major European countries by some 20 (Croatia, Spain and Italy, for instance) to 40 years (United Kingdom, all Scandinavian countries, the Netherlands, France). For instance, all major submerged or wetted sites with archaeological significance, with one exception (Monteiro, 1999), have been discovered either in the context of development-led archaeology or by

amateur divers, fishermen and other layperson agents.

To rub salt into the wound, in Portugal mainland there is only one nautical archaeologist employed by the State and there is also only one technician trained specifically in the conservation of finds that have come from the sea. And, although some submerged heritage inventory projects are running in relevant coastal cities, they have produced mixed results: some reveal themselves to be very successful, as in Cascais (Freire & Fialho, 2009; Silva & Cardoso, 2005), some are lacking the basics to lift off, as in Lagos (Fraga et al. 2008) and some haven't even begun, as in Sesimbra (Conceição & Ventura, 2009).

As for the Portuguese Autonomous Regions, the situation is no better: in the Azores - although there is an inventory of shipwrecks in effect since 1998 (Monteiro, 2000a) and a strategy for the creation of underwater preserves (Monteiro 2000b; 2007) - there is no archaeologist at present within the Regional Government structure.

In Madeira, the situation is even worse: not even a shipwreck inventory exists - at least, until now.

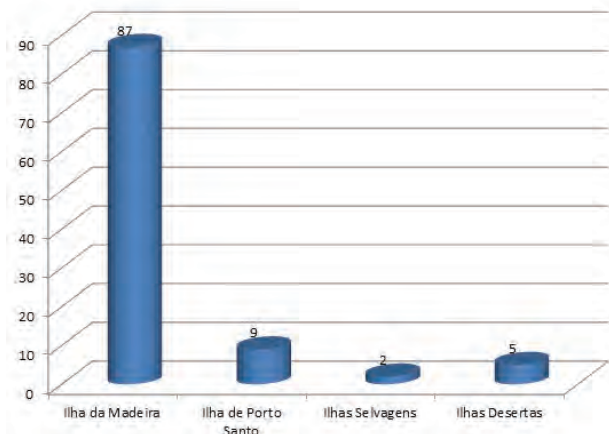


Fig. 1 Shipwreck record numbers per different islands of the Madeira Autonomous Region.

With this paper, such an inventory will be presented as will be sketched out the *Grândola Underwater* project, a blueprint for a vertical approach to the underwater cultural heritage research in Portugal.

REFERENCES

- Alves, F. ed. (2001). *Proceedings of the International Symposium on archaeology of medieval and modern ships of iberian-atlantic tradition: hull remains, manuscripts and ethnographic sources: a comparative approach*. Lisboa: Instituto Português de Arqueologia, 463 pp.

- Castro, F. (2001). *The Pepper Wreck: a Portuguese Indiaman at the Mouth of the Tagus River*. College Station: Texas A&M University, 287 pp.
- Chunming, W. (2011). Archaeological and Ethnological Research pertaining to Underwater Cultural Heritage in China's Surrounding Seas, in Yiran, F.; Xiaofan, D.; Jun, X.; Rui, Z.; Pan, D.; Jing, W.; Chunshui, Z.; Jianxiang, D.; Tao; Jiali, L.; Yan, G. eds. *Proceedings of the 2010 International Meeting on Protection, Presentation and Valorisation of Underwater Cultural Heritage, Chongqing, China*. Beijing: Cultural Relics Press. 245-263.
- Comissão Estratégica dos Oceanos (2004) *O Oceano: um desígnio nacional para o Século XXI. Relatório da Comissão Estratégica dos Oceanos. Parte I*. Lisboa: Governo de Portugal. 330 pp.
- Conceição, A. & Ventura, J. (2009). Arqueologia Náutica e Subaquática no conselho de Sesimbra, in *O tempo do Risco: Carta Arqueológica de Sesimbra*. Sesimbra: Câmara Municipal de Sesimbra, 166-167.
- D'Intino, R. (1998). *Nossa Senhora dos Mártires: the Last Voyage. Catalogue of the Pavilhão de Portugal Expo 98*. Lisboa: Verbo, 280 pp.
- Domingues, F. (2004). *Os Navios do Mar Oceano – Teoria e Empíria na Arquitectura Naval Portuguesa dos Séculos XVI e XVII*. Lisboa: Centro de História da Universidade de Lisboa, 531 pp.
- Dunkley, M. (2008). The value of historic shipwrecks, in Rossi, I.; Gaspari, A. & Pydyn, A. eds. *Proceedings of the 13th Annual Meeting of the European Association of Archaeologists, Zadar, Croatia. Session: Underwater Archaeology*. Zagreb: Croatian Archaeological Society, 17-28.
- Fraga, T.; Marreiros, J. & Jesus, L. (2008). *Contos Inacabados: A História Submersa de Lagos*. Lagos: Câmara Municipal de Lagos. 85 pp.
- Freire, J. & Fialho, A. (2009). *Relatório do Projecto: Carta Arqueológica Subaquática de Cascais do Ano 2009*. Cascais: Câmara Municipal de Cascais, Divisão do Património Histórico-Cultural, Departamento de Cultura, 89 pp.
- Gomes, B. (1984). *História Trágico-Marítima em que se escrevem cronologicamente os Naufragios que tiveram as Naos de Portugal, depois que se poz em exercicio a Navegação da Índia (1735)*. Lisboa: Publicações Europa-América. vol. I, 281 pp.; vol. II, 235 pp.
- Guérin, U. & Egger, B. editors (2011). *UNESCO Manual for activities directed at Underwater Cultural Heritage*. Paris: UNESCO, Secretariat of the 2001 Convention. 82 pp.
- Moniz, A. (2001). *A História Trágico-Marítima: Identidade e Condição*. Lisboa: Edições Colibri, 450 pp.
- Monteiro, A. (1999). *Relatório ao CNANS sobre o naufrágio da nau da Carreira da Índia “Nossa Senhora da Luz” (1615): caracterização histórico-arqueológica*. Horta: Delegação nos Açores do Centro Nacional de Arqueologia Náutica Subaquática. 60 pp.
- Monteiro, A. (2000a). Carta Arqueológica Subaquática dos Açores: metodologia, utilização e resultados na gestão do património cultural subaquático in *Actas do 3º Congresso de Arqueologia Peninsular*, vol. VIII. Porto: ADECAP/Universidade de Trás-os-Montes, 497-523.
- Monteiro, A. (2007). O naufrágio do vapor *Lidador* na ilha Terceira, Açores (1878): relatório preliminar, in *Al-madan*, II série, nº 15, 2007, Adenda electrónica. Centro de Arqueologia de Almada, 1-2.
- Monteiro, A. (2008). Da nota de rodapé ao monte de lastro: naufrágios ibéricos na área dos Açores (1526-1906), in *Symposium Os Naufrágios Portugueses e Espanhóis no Arquipélago dos Açores/Naufragios de Buques Españoles y Portugueses en el Archipiélago de las Azores*. Lisboa: Academia de Marinha e Fundación Iberoamericana para el Fomento de la Cultura y Ciencias del Mar, 43-97.
- Monteiro, A. (2010b). “PROFUNDIS: o Património Cultural Subaquático como vector de soberania nacional e de valorização cultural” in *Actas das Jornadas do Mar 2010 – A Nova Era dos Descobrimientos*. Lisboa: Escola Naval / Marinha Portuguesa, forthcoming.
- Monteiro, A. & Walker-Vadillo, V. (2011a). The impact and extent of looting and commercial interventions - the Portuguese experience and the planned Portuguese/Spanish collaboration on the “Nuestra Señora del Rosario”, in *Proceedings of the Scientific Colloquium on the Factors impacting Underwater Cultural Heritage*. Brussels: UNESCO/Catholic University of Leuven, forthcoming.
- Monteiro, A.; Martins, A. & Pinheiro, S. (2011c). Contribuição para a Carta Arqueológica Subaquática Nacional – concelho de Grândola, in *Actas do 4º Encontro de História do Alentejo Litoral: o Alentejo e o Mar em Perspectiva Histórica; Economia e Sociedade / Cultura e Património*. Sines, 26 e 27 de Novembro 2011, Centro Cultural Emmerico Nunes, forthcoming.
- Monteiro, A. & Génio, M. (2011f). “The “Black Swan” Treasure: A lesson for future management of underwater cultural heritage”, in *Proceedings of the IKUWA4: Managing the Cultural Underwater Heritage*, Zadar University, Croatia, forthcoming.
- Notario Zubicoa, C. & Tudela Sánchez, M (2010). *Libro Verde. Plan Nacional de Protección Património Cultural Subacuático Español*. Madrid: Secretaria General Técnica/Ministerio de Cultura, 117 pp.

- Silva, M. & Cardoso, G. (2005). *Naufrações e Acidentes Marítimos no Litoral Cascalense*, 2^a edição. Cascais: Junta de Freguesia de Cascais, 297 pp.
- Simandiraki, A. (2006). International education and cultural heritage: alliance or antagonism? in *Journal of Research In International Education*, vol. 5(1): 35–56.
- Sténuit, R. (1975). The Treasure of Porto Santo. *National Geographic Magazine* 148 (2). Washington, D.C.: National Geographic Society, 260–275.
- Wallace, G. & Russell, A. (2004). Eco-cultural tourism as a means for the sustainable development of culturally marginal and environmentally sensitive regions, in *Tourist Studies* 4:3, 235-254.

Detecção Remota e Cartografia do Intertidal. O contributo do Projeto *MorFeed*

R. Nogueira Mendes (1), R. Ceia (1), T. Silva (2), A. Rilo (3), M. Guerreiro (3), J. Catalão (4), R. Taborda (4), M. C. Freitas (2), C. Andrade (2), R. Melo (1), A. Fortunato (3) e P. Freire (3)

- (1) Centro do Oceanografia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, rmendes@fc.ul.pt
 (2) Centro de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisboa
 (3) Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Avenida do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa.
 (4) Instituto Dom Luiz, Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisboa

Resumo: A produção de cartografia da área intertidal de zonas costeiras ou estuarinas é geralmente pouco pormenorizada nas cartas náuticas e militares. Este facto é compreensível face aos objectivos destes instrumentos e aos elevados custos de produção de cartografia detalhada. No entanto, a importância ecológica e económica do intertidal, sobretudo em zonas estuarinas, exige cada vez mais atenção e detalhe. No sentido de ultrapassar estas limitações o projeto *MorFeed*, com recurso a técnicas de detecção remota, várias fontes de imagens e sensores e tecnologias SIG, tem desenvolvido diversos produtos cartográficos que no seu conjunto fornecem novos dados e usam metodologias capazes de melhorar significativamente o detalhe e rigor da cartografia destas áreas. As utilizações destes produtos são múltiplas, na gestão, fiscalização e monitorização ambiental de atividades que vão da pesca, à aplicação da DQA, ou modelação de efeitos de alterações climáticas o que demonstra a importância do tema.

Palavras chave: cartografia, sistemas de informação geográfica, leito, modelação, gestão e planeamento ambiental

1. INTRODUÇÃO

A produção de cartografia da área intertidal de zonas costeiras ou estuarinas é geralmente objecto de pouca atenção por parte das entidades responsáveis pela produção de cartografia oficial. Este facto é no entanto compreensível, uma vez que a tanto para a cartografia militar como para a cartografia náutica, a zona entre marés fica exatamente à margem dos principais objectivos que estes instrumentos pretendem atingir. A cartografia militar (do IGeoE) pretende representar a parte emersa e a cartografia náutica pretende ordenar e garantir a segurança da navegação, deixando a zona entre-marés numa situação deslocada desses propósitos. Para além do mais, a produção de cartografia detalhada, envolve sempre meios técnicos e humanos extremamente dispendiosos, o que nas plataformas intertidais é ainda exponenciado pelas dificuldades de progressão e pelas normais limitações de acessibilidade temporal e espacial.

No entanto, a importância ecológica e económica do intertidal, sobretudo em zonas estuarinas e na proximidade de grandes áreas urbanas, como é o caso do estuário do Tejo, exige cada vez mais atenção e detalhe. A título de exemplo, refira-se que sem conhecimento detalhado destes habitats não se podem implementar as medidas mínimas de gestão que a Directiva Quadro da Água (DQA), ou o Plano de Ordenamento da Reserva Natural do Estuário do Tejo (RNET) impõem.

No âmbito dos vários objectivos do projecto *MorFeed*: *Resposta morfológica das margens estuarinas aos efeitos das alterações climáticas*

(http://www.lnec.pt/organization/dha/nec/estudos_id/morfeed), foi necessário proceder à tipificação do leito do estuário do Tejo no sentido de caracterizar e reconhecer os processos responsáveis pela evolução do estuário no passado recente e de potenciar a modelação do que poderá acontecer num futuro próximo face a uma previsível subida do nível médio das águas.

2. ZONA DE ESTUDO

O estuário do Tejo ocupa uma área total de 33.986 ha, estendendo-se desde a zona de Vila Franca de Xira até a embocadura (linha Cova do Vapor – Bugio – São Julião) (Figura 1). A ocupação da margem norte é sobretudo urbana e industrial, enquanto a margem sul possui ainda um forte carácter rural, o que é comprovado pelas extensas áreas de ocupação agrícola (Freire *et al.*, 2012).

As atividades económicas de maior relevo em torno do leito do estuário do Tejo são a agricultura, em especial nos mouchões e na margem sul, e as atividades marítimo-portuárias, havendo ainda alguma expressão ligada à pesca tradicional e à mariscagem, bem como uma forte atividade industrial. Em termos de condicionantes de utilização, e face à forte ocorrência de habitats e espécies prioritárias, ganha especial destaque a conservação da natureza e da biodiversidade, razão pela qual estão classificadas a RNET (Dec.-Lei n.º 565/76, de 19 de Julho), a Zona de Proteção Especial para Aves Selvagens Estuário do Tejo - PTZPE0010 (Dec.-Lei n.º 280/94, de 5 de Novembro) e o Sítio Estuário do Tejo - PTCON0009 (RCM n.º 142/97, de 28 de Agosto).

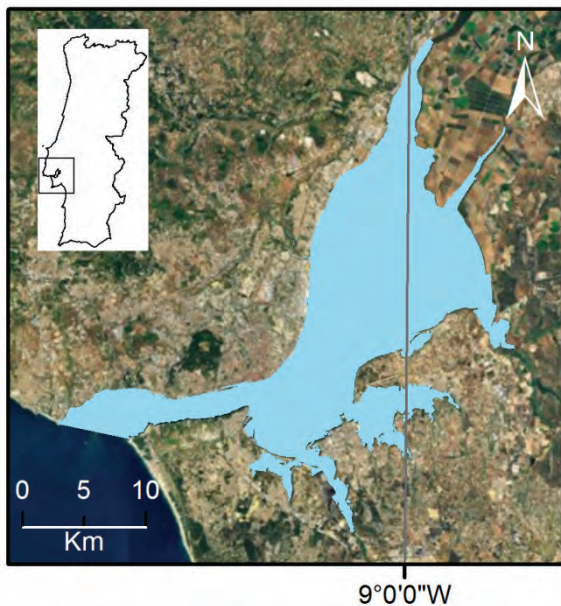


Fig. 1 Localização do estuário do Tejo.

3. METODOLOGIA

No seguimento da proposta de delimitação da Linha Máxima de Preia-mar de Águas Vivas Equinociais (LMPMAVE, Lei n.º 58/2005 de 29 de dezembro), segundo os critérios descritos em Rilo *et al.* (2012), a cartografia do intertidal foi realizada com recurso a técnicas de detecção remota em ambiente SIG utilizando o *software* ArcGis Desktop® 10. Os ortofotomapas de 2007 do IGP constituíram a principal base cartográfica utilizada, tendo-se ainda recorrido a uma imagem de satélite Landsat7 ETM de 13 de março de 2009 (LE7204033 ETM + L1T 20090313 2009:072:11:04) correspondente a uma altura de maré de 0,66 m referida ao Porto de Lisboa, no sentido de colmatar algumas deficiências dos ortofotomapas.

A LMPMAVE proposta foi utilizada como máscara para o corte de ambas as fontes de imagem, tendo as técnicas de detecção remota sido usadas apenas para as áreas correspondentes ao leito (excluindo os mouchões), no sentido de minimizar o ruído e maximizar os resultados da análise.

De acordo com os objetivos do projeto, pretendeu-se proceder à tipificação da cartografia de habitats do estuário do Tejo com especial destaque para as zonas com coberto vegetal, ou onde o crescimento de povoamentos de macroalgas oportunistas podem ocorrer, uma vez que estes povoamentos naturais promovem a retenção de sedimentos, contribuindo assim diretamente para o crescimento/manutenção das margens (Davis & Fitzgerald, 2004).

A imagem *Landsat* foi utilizada para fazer a delimitação interna das plataformas de intertidal, e serviu para delimitar as classes “Tejo”, “Raso de Maré”, “Ostreiras” e “Ocupações Antrópicas” a menor escala. Os ortofotomapas do IGP foram utilizados para a delimitação das classes “Sapal”, “Ervas Marinhas”, “Praias” e “Ocupações

Antrópicas” (nomeadamente estruturas como cais ou pontões considerados ocupações do leito e que foram vectorizados individualmente) com maior pormenor.

Para ambas as fontes de imagem utilizou-se o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) (Rouse *et al.*, 1973), com vista a focar a análise nos elementos do coberto vegetal. Numa segunda fase as imagens foram classificadas usando-se para o efeito um algoritmo de classificação automática não supervisionada (Iso Cluster) limitado superiormente a 30 classes seguida de uma classificação de máxima verosimilhança. A imagem *Landsat* foi processada de uma única vez, enquanto os ortofotomapas foram processados individualmente, uma vez que resultam de mosaicos de várias imagens, nalguns casos correspondentes a dois períodos distintos.

Os resultados foram confrontados com a análise de especialistas do projeto, suportados pela foto-interpretção da imagem *Landsat* (recorrendo à combinação das bandas 5, 4 e 3 para os canais “r”, “g” e “b” respectivamente o que facilita o reconhecimento das comunidades vegetais e a separação terra/água). Foram ainda consultadas as bases geográficas *GoogleEarth*® (recorrendo à ferramenta “*time slider*”) e *BingMaps*® (vistas em voo de pássaro). Este processo contou ainda com o apoio de várias campanhas de validação de campo que decorreram entre Fevereiro de 2011 e Março de 2012, tendo os resultados finais sido posteriormente vectorizados e agrupados em shape-files individuais por classe de ocupação do leito.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados (Tabela I) revelaram que o intertidal ocupa 42,97% do leito do estuário, correspondendo a uma área total de 14602 ha. De entre as 6 classes de intertidal cartografadas neste trabalho os Rasos de Maré ocupam a maior área, seguidos das Ocupações Antropogénicas (áreas de utilização agrícola, salinas, e moinhos de maré) e dos Sapais, com 27,50%, 6,59% e 5,53% da área do leito respectivamente.

Com menos expressão, seguem-se as Ostreiras (áreas de grande importância para o florescimentos das comunidades de macroalgas estuarinas, (Sousa Dias e Melo, 2008)), ocupando 2,96%, seguidas pelas Praias que representam 0,34% de toda a área do estuário.

Por último as Ervas Marinhas são a classe com menor representação (apenas 0,04%), mas que apresentam indícios de estar em fase de expansão a julgar pela consulta das bases geográficas *GoogleEarth*®. Este habitat existe apenas na praia do Samouco, e havia já sido citado por Cunha *et al* (2011). Com exceção de um relatório técnico produzido a pedido da RNET e entregue à DGPA, não existiam quaisquer registos públicos da ocorrência deste habitat até à data.

Tabela I. Áreas por classe de ocupação do leito

Classe	Área (ha)	%
Leito	33986	100
Tejo	19383	57,03
Intertidal	14602	42,97
Raso de Maré	9347	27,50
Ocup. Antropogénicas	2240	6,59
Sapal	1880	5,53
Ostreiras	1007	2,96
Praias	117	0,34
Ervas Marinhas	12	0,04

Os resultados deste trabalho trazem à luz pela primeira vez uma base cartográfica inteiramente dedicada à zona intertidal de todo o estuário do Tejo, tendo criado uma metodologia que pode ser replicada em todos os outros estuários nacionais. Trabalhos anteriores de carácter técnico como os Planos de Ordenamento, ou os próprios Planos Directores Municipais dos concelhos limítrofes do estuário, têm sido limitados a áreas mais pequenas não utilizando sequer uma escala comum que permita a construção de uma base cartográfica conjunta. A primeira quantificação encontrada na bibliografia científica é a de Catarino *et al.* (1985) que estimava a área total do estuário em 32.000 ha, dos quais 11.380 ha de intertidal, o que reforça a importância deste trabalho.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

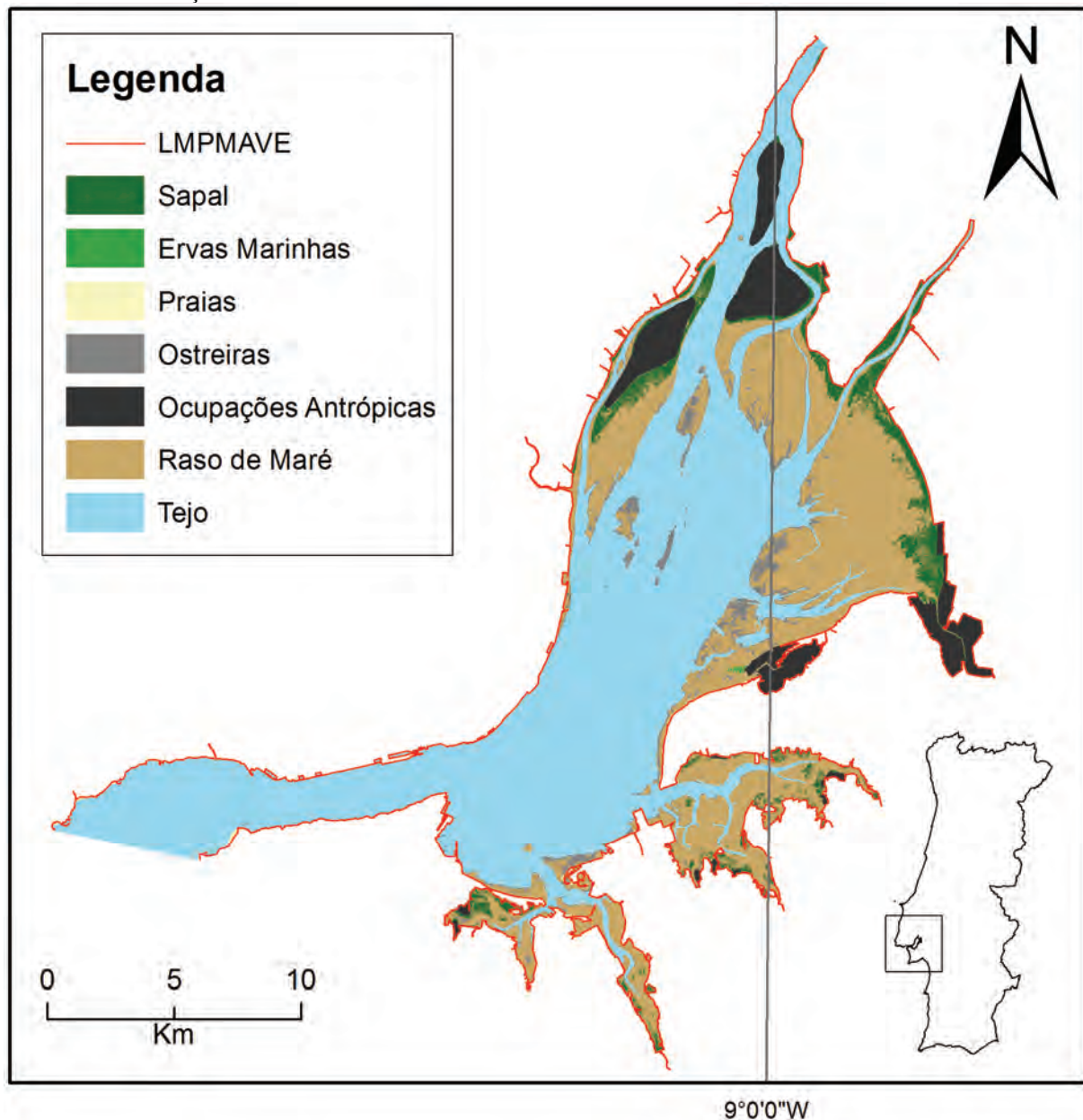


Fig. 2 Cartografia de intertidal do estuário do Tejo

Embora as escalas e resolução das imagens de base utilizadas neste trabalho sejam distintas, os resultados finais constituem um contributo significativo na caracterização da área de estudo. Não representando de todo o melhor que a tecnologia atual pode oferecer, representam uma estratégia eficaz e de utilização simples que pode ser verificada, rebatida e validada pela comunidade técnica e científica.

Vários são os atuais instrumentos de gestão que podem tirar partido destes resultados, desde a aplicação da DQA, à construção de regulamentos sectoriais para a pesca, a conservação da natureza e da biodiversidade, ou a gestão e ordenamento dos vários tipos de uso típicos de um estuário com forte ocupação humana. Estes resultados podem ainda ser usados para definir coeficientes de atrito em modelos hidrodinâmicos, melhorando assim a capacidade de reprodução de níveis e correntes.

Em locais onde a produção de cartografia pormenorizada seja difícil, como é o caso das áreas intertidais, a utilização de técnicas de detecção remota a partir de ortofotomapas ou imagens de satélite, mesmo que de baixa resolução como é o caso das imagens de Landsat, é uma solução possível e capaz de satisfazer a maioria das exigências. O grau de detalhe atingido é mais do que suficiente para a construção de cartografia de habitats (capaz de integrar instrumentos de gestão e de monitorização ambiental), para a definição de situações de referência e mesmo para a monitorização, face à grande quantidade de informação disponível e facilmente acessível. Para escalas maiores, bastaria que o mínimo de boas práticas fosse assegurado nas campanhas de produção de ortofotomapas – nomeadamente que as zonas de intertidal fossem sobrevoadas em situações de baixa-mar em marés vivas equinociais, ao contrário do que tem acontecido.

Agradecimentos

Este trabalho é um contributo do projeto *MorFeed*: resposta morfológica das margens estuarinas aos efeitos das alterações climáticas, financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (PTDC/AAC-AMB/100092/2008) e do projeto *EEMA*: Avaliação do estado ecológico das massas de águas costeiras e de transição e do potencial

ecológico das massas de água fortemente modificadas, co-financiado pelos fundos de coesão da União Europeia, através do POVT, no âmbito do QREN.

REFERÊNCIAS

- Catarino, F., Tenhunen, J. D., Brotas, V., e Lange, O. L. (1985). Application of CO₂-porometer methods to assessment of components of photosynthetic production in estuarine ecosystems. *Marine Biology*, 89, 37–43. doi:[10.1007/BF00392875](https://doi.org/10.1007/BF00392875)
- Cunha, A. H., Assis, J. F., e Serrão, E. A. (2011). Seagrasses in Portugal: a most endangered marine habitat. *Aquatic Botany*. doi:[10.1016/j.aquabot.2011.08.007](https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2011.08.007)
- Davis Jr, R. A., Fitzgerald, D. M. (2004) Beaches and Coasts. Blackwell Science Ltd, United Kingdom, pp. 419.
- Freire, P., Rilo, A., Ceia, R., Nogueira Mendes, R., Catalão, J., Taborda, R. e Melo, R. (2012) Tipificação das zonas marginais estuarinas. O caso do estuário do Tejo. Em: *Actas das 2^{as} Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, III, Lisboa (submetido).
- Rilo, A. R., Freire, P., Mendes, R. N., Ceia, R., Catalão, J., Taborda, R., Melo, R., Caçador, M. I., Andrade, C. e Freitas, M. C. (2012). Um contributo para o traçado da Linha da máxima preia-mar de águas vivas equinociais em ambientes de transição. O caso do estuário do Tejo. *11^o Congresso da Água, 6-8 de Fevereiro 2012*. APRH, Porto, Portugal, CD-ROM, 11 pp. http://www.lnec.pt/organizacao/dha/nec/estudos_id/morfeed/pdfs/CAgua_paper_Rilo_et_al.pdf.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A. e Deering, D. W. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I, 309-317
- Sousa-Dias, A., e Melo, R. A. (2008). Long-term abundance patterns of macroalgae in relation to environmental variables in the Tagus Estuary (Portugal). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 76, 21–28. doi:[10.1016/j.ecss.2007.05.039](https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.05.039)

Operações de dragagem no porto de Esposende: necessidades portuárias e ambientais

E. Dias (1), R. Garção (1), A. Estevão (2) e A. Santos-Ferreira (1)

- (1) Instituto Portuário e dos Transportes Marítimos, I.P., elisabete.dias@imarpor.pt
 (2) Polis Litoral Norte, S.A.

Resumo: O progressivo assoreamento da maioria dos portos nacionais exigem que se recorra à realização de operações de dragagem, fundamentais para garantir as condições de navegabilidade marítimo-portuária. Numa óptica de sustentabilidade de valorização da zona costeira, estas operações podem ainda ser realizadas num contexto mais abrangente, nomeadamente pelo aproveitamento dos sedimentos dragados na implementação de medidas corretivas de erosão e defesa costeira.

Apresenta-se um estudo conjunto realizado pelo IPTM, I.P. e a POLIS Litoral Norte, S.A. para o Porto de Esposende, resultado da cooperação institucional havida, que inclui a avaliação rigorosa dos sedimentos a dragar, com vista a dar resposta às necessidades portuárias e ambientais. A gestão a dar aos sedimentos a dragar é determinada pelas suas características, e pelas potencialidades e limitações que lhe estão associadas, o que é igualmente considerado no estudo conjunto.

Palavras chave: Dragagens, Gestão de sedimentos, Combate à erosão.

1. INTRODUÇÃO

O porto de Esposende situa-se no estuário do rio Cávado e dispõe de uma doca de recreio e uma doca de pesca, ambas destinadas a pequenas embarcações, e que se localizam na margem direita, a cerca de 1300m e a 2200m da entrada da barra respectivamente (LNEC, 2010), Figura 1. O estuário e a zona costeira adjacente fazem parte do Parque Natural do Litoral Norte.

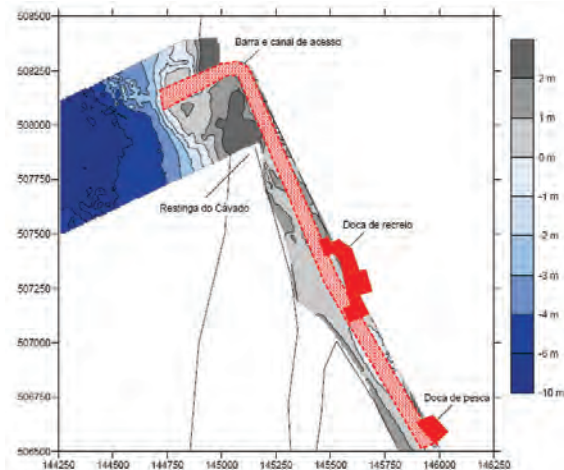


Fig. 1. Porto de Esposende, adaptado de LNEC, 2010.

O presente estudo incide, geograficamente, sobre a barra e canal de navegação do Porto de Esposende e sobre a restinga adjacente da foz do rio Cávado, e resulta da cooperação institucional existente entre o Instituto Portuário e dos Transportes Marítimos, I.P. e a Polis Litoral Norte, S.A., ocorrida a partir de 2011, e iniciada na sequência da colaboração pluridisciplinar e multi-institucional do Grupo de Trabalho sobre a Restinga de Ofir/Esposende, que teve por missão a “preparação de uma primeira abordagem a uma solução integrada que permita acautelar a sustentabilidade da restinga do Cávado,

potenciando as condições de acesso às instalações portuárias existentes” (Gomes, F.V., 2011).

Este estudo conjunto inclui a avaliação dos sedimentos a dragar, com vista a dar resposta às necessidades portuárias e ambientais sentidas. O destino a dar aos sedimentos a dragar é determinado pelas suas características e pelas potencialidades e limitações que lhe estão associadas, o que é igualmente considerado.

Procede-se de seguida a uma breve caracterização da atual problemática referente às questões portuárias, de navegação e estabilidade da restinga. Salienta-se que se tem verificado um progressivo assoreamento da doca de recreio e da doca de pesca, que por isso requerem a realização de dragagens de manutenção para reposição de cotas de segurança. O canal de navegação, e em particular a barra, apresentam também condições de segurança à navegação limitadas.

O Porto de Esposende é indissociável da embocadura do rio Cávado, que está fixada a Norte por um quebramar e a Sul está delimitada por uma restinga arenosa, formação geológica que separa o rio do mar e constitui um elemento fundamental de proteção da frente urbana de Esposende (Gomes, F.V., 2011). Esta restinga, designada de restinga de Ofir, responde com alterações da sua morfologia à dinâmica marinha e fluvial, chegando inclusivamente a ocorrer a sua ruptura nas suas áreas mais frágeis obrigando à alimentação artificial da sua extremidade (Gomes, F.V., 2011), para o que é necessário garantir material de empréstimo com as características adequadas. Acresce o valor ecológico da restinga e do litoral contíguo, reconhecido pela sua inserção no Parque Natural do Litoral Norte.

O presente trabalho é uma continuação natural da cooperação institucional que procurou tirar partido de sinergias, partilha de informação e de conhecimento técnico, de agilidade processual e de

disponibilidade financeira que, isoladamente, não se teria conseguido com a mesma celeridade e rigor.

2. OBJECTIVOS

O presente estudo visou determinar a gestão dos sedimentos a dragar no Porto de Esposende, que inclui as etapas da Figura 2, para dar resposta às seguintes necessidades principais de:

- Remoção de sedimentos portuários para garantir condições de navegabilidade marítimo-portuária associada ao Porto de Esposende;
- Privilegiar o uso benéfico de areias limpas para alimentação artificial da restinga de Ofir, com vista ao seu robustecimento e requalificação ambiental, face à sua instabilidade.

3. MÉTODOS

Para uma gestão ambiental integrada de dragagens em áreas portuárias (Paixão, 2000; Paixão, 2001; Dias, 2002; Dias, 2005) foi desenvolvido um modelo conceptual de análise e classificação da qualidade dos sedimentos a dragar em áreas portuárias de acordo com a legislação em vigor (Portaria 1450/2007, de 12 de Novembro). Este modelo designado por *MAZD Tools* – Modelo Ambiental para Zonas de Dragagem (Carneiro *et al.* 2010, Dias *et al.* 2011), permite automatizar a produção de mapas 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); pelo que constitui uma solução que procura 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 a gestão ambiental dos materiais dragados (Figura 2).

Para a caracterização dos sedimentos a dragar foi realizada uma campanha de amostragem, considerando o volume estimado de dragados, bem como a extensão da área de dragagem. Assim, foram definidas 26 estações de amostragem com recolha de amostras de forma representativa da coluna a dragar. Posteriormente foram realizados ensaios de laboratório para a caracterização físico-química dos sedimentos, tendo sido determinados os valores dos seguintes parâmetros: densidade, % de sólidos, granulometrias (% de areia, silte, argila), % TOC, Arsénio, Cádmio, Crómio, Cobre, Mercúrio, Chumbo, Níquel, Zinco, Bifenilos Policlorados (Σ PCB), Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (Σ PAH) e Hexaclorobenzenos (HCB).

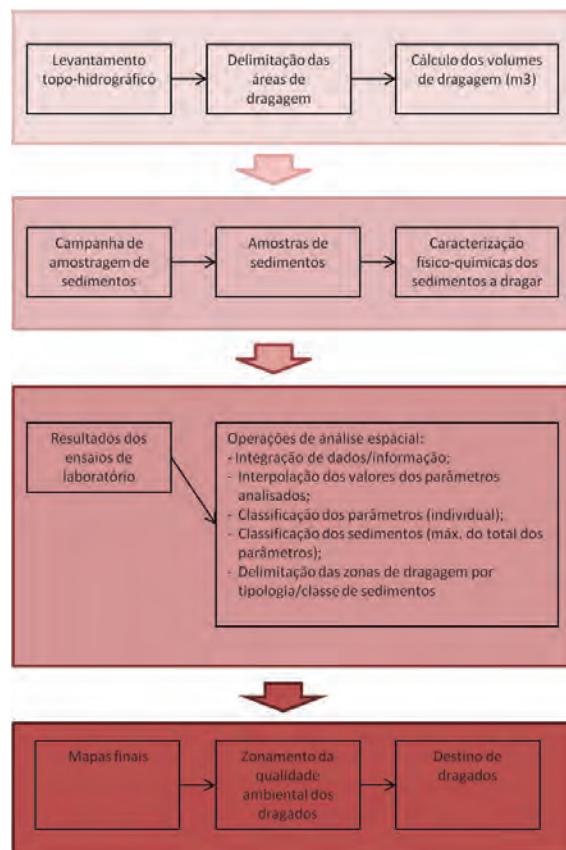


Fig. 2. Fases de implementação do MAZD Tools relativas à gestão de dragagens e materiais dragados.

4. RESULTADOS

Os sedimentos amostrados correspondem essencialmente a areias grosseiras e finas, respectivamente na barra e canal, e lodos arenosos nas docas de recreio e pesca.

Da implementação do sistema desenvolvido *MAZD Tools* obtiveram-se um conjunto de cartas digitais (Dias, 2011) que se apresentam exemplos nas Figuras 4, 5 e 6, relativas aos sedimentos de profundidade por se tratar da situação mais desfavorável. A maioria das substâncias químicas analisadas classificam-se na Classe 1 (material dragado limpo, que pode ser depositado no meio aquático ou reposto em locais sujeitos a erosão ou utilizado para alimentação de praias sem normas restritivas), à excepção do Mercúrio (Hg), Arsénio (As) e PAH, parâmetros que apresentaram valores superiores à Classe 1 em algumas das estações de recolha. Da conjugação das superfícies apresentadas na Figura 3, obtém-se a carta digital final, Figura 4, com o resultado da classificação dos sedimentos de profundidade, observando-se que as classes de contaminação apresentam uma distribuição espacial heterogénea desde a Classe 1 à Classe 4 (material dragado contaminado, que exige a deposição em terra, em local impermeabilizado, com recomendação de posterior cobertura de solos impermeáveis).

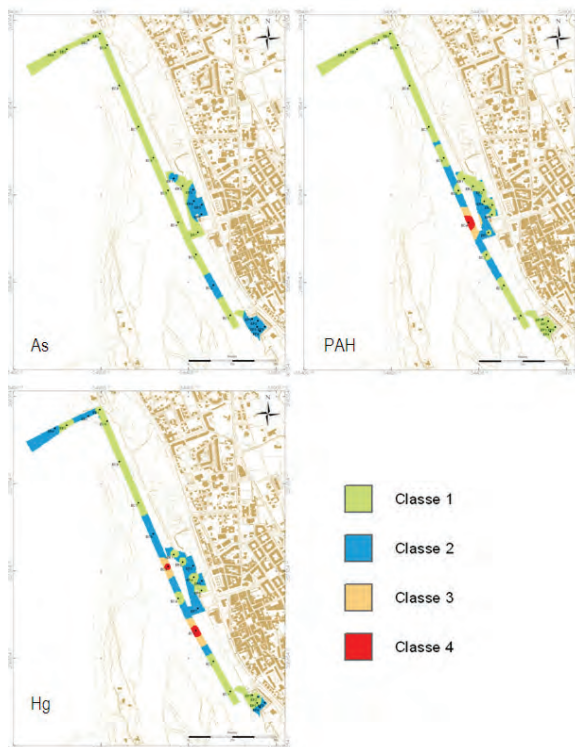


Fig.3. Distribuição espacial da classificação ambiental das substâncias químicas analisadas nos sedimentos de profundidade: As, PAH e Hg (recolha Agosto 2011).



Fig.4. Distribuição espacial da classificação ambiental dos sedimentos de profundidade, considerando a totalidade das substâncias químicas analisadas.

Salienta-se a ocorrência de sedimentos da Classe 4 para os parâmetros Hg e PAH na zona mais a montante do canal.

Na Figura 6 apresenta-se o zonamento da aptidão ambiental daqueles sedimentos de acordo com a Portaria 1450/2007. Conjugando a Figura 4 com as características granulométricas, resulta que os materiais no troço jusante do canal e parte da barra apresentam aptidão para a alimentação artificial de praias (Figura 5).

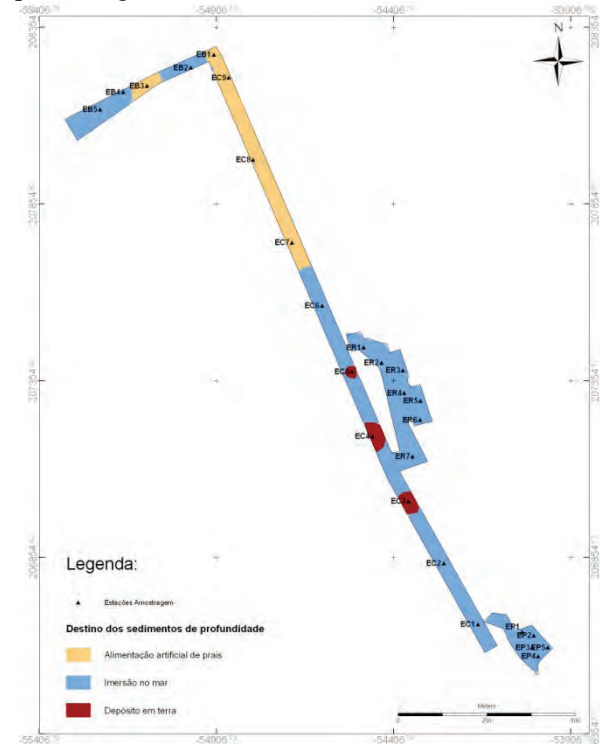


Fig.5. Delimitação (1ª campanha) das áreas de dragagem em função do destino a dar aos sedimentos de profundidade.

Da análise do mapa apresentado na Figura 5, relativo aos sedimentos de profundidade, observa-se que a maioria dos sedimentos a dragar não apresentam aptidão ambiental para alimentação artificial de praias, mas também não requerem uma deposição controlada em terra, admitindo por isso a imersão no mar. Assim, os materiais que podem ser usados no reforço da restinga, por apresentarem granulometrias adequadas e ausência de contaminação, restringem-se ao troço jusante do canal e à zona central da barra. Observa-se que os sedimentos contaminados que exigem a deposição em terra, se localizam no troço do canal adjacente à doca de recreio.

Observa-se ainda que parte dos sedimentos ocorrentes na barra não apresentam aptidão ambiental para alimentação artificial de praias. Face aos resultados obtidos, identificou-se como necessária a realização de uma campanha de amostragem complementar na zona da barra (parâmetros físicos e Hg) e no troço montante do canal (parâmetros físicos, Hg e PAH). Pretende-se com esta campanha a recolha de sedimentos nas estações de amostragem anteriormente adotadas, acrescidas de estações intermédias. Desta forma pretende-se aferir alguns dos resultados anteriormente obtidos e assim delimitar com maior

exatidão a distribuição espacial da aptidão ambiental dos sedimentos a dragar. Nestes pressupostos, a Polis Litoral Norte promoveu uma nova campanha de amostragem na barra e zona poente do canal de navegação, tendo-se obtido resultados da classe 1 na globalidade dos pontos analisados, concluindo-se que a contaminação anteriormente detetada naquelas áreas não persistiu. Assim, os sedimentos ocorrentes na barra e no troço jusante do canal de navegação podem ser utilizados na sua totalidade para o reforço da restinga, Figura 6.

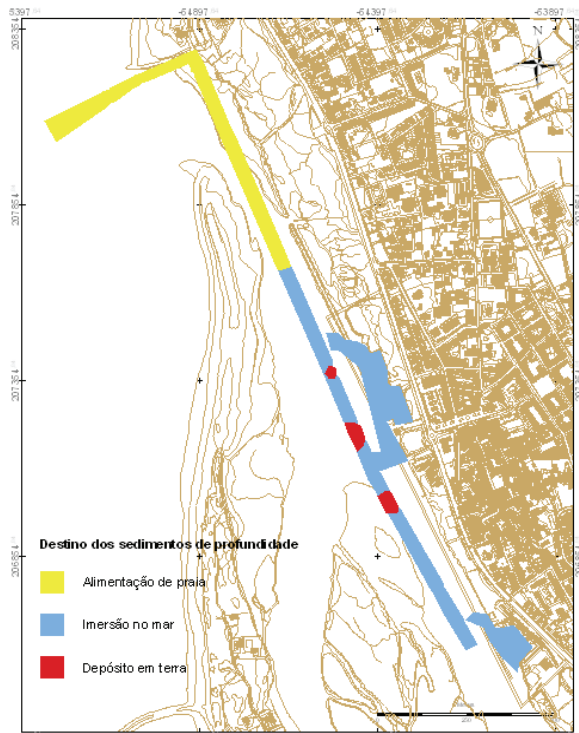


Fig.6. Delimitação final das áreas de dragagem em função do destino a dar aos sedimentos de profundidade.

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.

Considera-se que o presente trabalho é expressivo das mais valias da cooperação institucional, potenciando, neste caso, a resolução simultânea de necessidade portuárias e ambientais, com a respectiva partilha de conhecimentos técnico-científicos e encargos financeiros.

Constata-se que em situações de grande heterogeneidade espacial nas características físicas e químicas dos sedimentos é expectável que sejam previstos estudos adicionais que desta forma permitam, no presente caso, maximizar o uso benéfico dos sedimentos a dragar, em termos de alimentação de praias ou reforço da deriva litoral; e minimizar os custos inerentes a uma deposição em terra.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao IPTM, IP e à Polis Litoral Norte, SA, a autorização dada para a utilização de dados usados para a elaboração do presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- Alcobia, S., Bettencourt, P. (2008). Dragagens e avaliação de contaminação de sedimentos. 3.^a Conferência Nacional de Avaliação de Impactes (Beja).
- Carneiro, E., Dias, E., Santos Ferreira, A. (2010). Erosões e Sedimentações no Estuário do Sado. Geoprocessamento automático considerando a distribuição de contaminantes. In *Proceedings of las Jornadas de Engenharia Hidrográfica (Lisboa: Instituto Hidrográfico)*.
- 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. Lisboa (Portugal), ISEGI, UNL, 150pp.
- Dias, E., Santos Ferreira, A.M.G., Carneiro, E., Silva, A.P.F. (2011). Planeamento e gestão de dragagens no estuário do Ave: geoprocessamento automático considerando a distribuição de contaminantes. *VI Congresso Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa*.
- Dias, E. (2011). Estudo de caracterização dos sedimentos a dragar em Esposende, 26pp.
- Gomes, F.V. (2011). Relatório. Grupo de Trabalho sobre a Restinga de Esposende, 44pp.
- LNEC (2010). *Planos Plurianuais de Dragagens Portuárias, Volume 1: Zona Norte*. Lisboa (Portugal), 66 pp.
- Paixão, G. L. (2000). Gestão Ambiental Integrada de Dragagens nas Zonas Costeiras e em Áreas Portuárias, Seminário EUROCOAST sobre Perspectiva de Gestão Integrada de Ambientes Costeiros, 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, DR-1.^a Série - N.º 217, de 12 de Novembro.
- Soares, A. (2000). *Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente*. IST Press, 206 pp.

Validação automática dos dados da estação Alfredo Ramalho

S. Almeida (1), A. Jorge da Silva (1), R. Esteves (1) e R. Baptista (2)

- (1) Instituto Hidrográfico, Divisão de Oceanografia sara.almeida@hidrografico.pt
 (2) Instituto Hidrográfico, Centro de Dados Técnico-Científicos

Resumo: Os sistemas integrados na Oceanografia Operacional implicam a disponibilização dos dados em tempo quase real. Esta disseminação tem de ser acompanhada de informação adicional no que respeita à qualidade dos dados, para possibilitar a qualquer utilizador esclarecimentos sobre a funcionalidade dos sensores.

No seguimento dos desenvolvimentos internacionais sobre este assunto, em 2010, aquando do fundeamento da boia multiparamétrica Alfredo Ramalho, ao largo do Porto na vertente continental, desenvolvemos um conjunto de procedimentos de execução automática, que permitem controlar os dados e complementá-los com esta informação sobre a sua qualidade.

Neste trabalho descreve-se a metodologia adotada no que respeita aos parâmetros de meteorologia, agitação marítima, correntes, ambiente e de posicionamento.

Palavras chave: gestão de dados, controle de qualidade, boia multiparamétrica

1. INTRODUÇÃO

A implantação de núcleos observacionais oceânicos no contexto do ROOS (*Regional Operational Observing System*) pressupõe a existência de uma bem estruturada componente de gestão de dados, pois estes sistemas têm como princípio orientador a disponibilização, em tempo quase real, de dados validados.

A cooperação com parceiros internacionais, possibilita a utilização de linhas de orientação comuns, com harmonização de metodologias, de forma a proporcionar aos utilizadores finais dados e/ou informações fiáveis, sujeitos a critérios de validação semelhantes independentemente da fonte.

2. A ESTAÇÃO ALFREDO RAMALHO

Referida pelo nome do pioneiro da oceanografia física em Portugal, Alfredo Magalhães Ramalho (1894-1959), a terceira estação multiparamétrica nacional, começou a monitorizar as águas ao largo da costa ocidental do Continente em 23 de maio de 2010. Localizada sobre a vertente continental, cerca de 90 km ao largo da foz do Douro, sobre um fundo de 2000 m, esta estação oceânica faz parte da infraestrutura observacional do projeto RAIA, no programa de Cooperação Transfronteiriça Espanha – Portugal e integra o IBIROOS (*Iberia-Biscay-Ireland* ROOS).

Esta estação é constituída por uma plataforma flutuante, fixada ao fundo através de uma amarração que contém um perfilador de correntes. A multiplicidade de sensores instalados produz um conjunto de dados que, por transmissão via *Inmarsat*, vão alimentar as bases de dados possibilitando a caracterização das condições meteo-oceanográficas da área.

3. A VALIDAÇÃO AUTOMÁTICA

Os sistemas observacionais integrados nas redes de oceanografia operacional são caracterizados por seguirem procedimentos padronizados no que respeita ao controle de qualidade dos dados. Assim, para a estação oceânica Alfredo Ramalho a metodologia não podia ser diferente e, a validação dos dados é feita em tempo real, o que significa que é executada automaticamente.

3.1. Os indicadores de qualidade

Fundamentalmente, o controle de qualidade é executado em etapas sucessivas, sendo que, em cada passo, aos dados são associados indicadores que permitem espelhar a validação efetuada. Estes indicadores correspondem a caracteres numéricos a que é atribuído um significado conforme Tabela I (as linhas sombreadas são as de aplicação obrigatória em modo operacional, segundo as recomendações internacionais).

Tabela I. Escala dos indicadores de qualidade (QC)

Indicador	Definição
0	Sem controlo de qualidade
1	Valor bom
2	Provavelmente valor bom
3	Provavelmente valor mau
4	Valor mau
5	Valor alterado
8	Valor interpolado
9	Valor em falta

A informação contida nestes indicadores dá aos utilizadores finais uma breve nota, permitindo-lhes decidir sobre a realização ou não de uma triagem a

aplicar aos dados, ou eventualmente, a necessidade de aprofundar o conhecimento sobre qual, ou quais, as etapas em que foram ultrapassados os limites de validação.

3.2. O fluxo de dados

Após a receção da mensagem proveniente da estação, esta é convertida para unidades físicas (Fig.1). Cada registo horário tem a mesma estrutura e contém os seguintes dados:

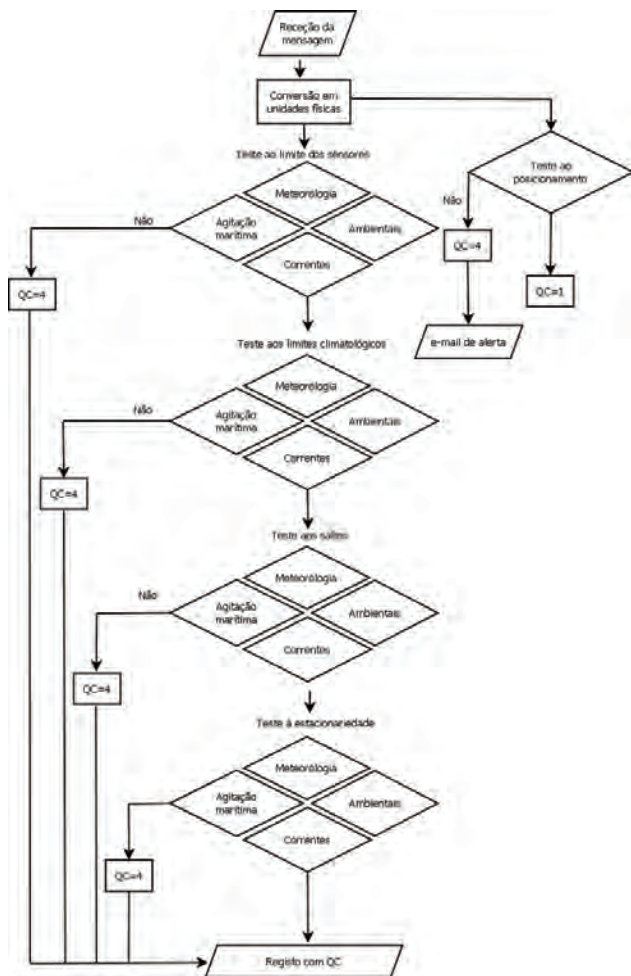


Fig. 1 Esquema do fluxo dos dados no que respeita à validação

- meteorológicos: temperatura do ar, pressão atmosférica, humidade relativa, velocidade e direção do vento;
- posicionamento: latitude e longitude;
- agitação marítima: altura significativa e máxima, direção média global e no período de pico, dispersão no período de pico, período médio, de pico, de energia e de onda máxima;
- correntes (sempre que está instalado um perfilador na amarração): direção e velocidade da corrente e erro associado à medição;
- ambientais: temperatura superficial da água, clorofila-a e oxigénio.

A validação automática é efetuada por etapas antes do carregamento na base de dados. A primeira etapa corresponde às variações associadas aos próprios sensores, sendo que cada parâmetro é validado como bom, se estiver dentro desses limites. Caso contrário é rejeitado.

Tabela II - Janelas de validação adotadas

Descrição (unidades)	Limites do sensor	Janela climatológica	Saltos
Humidade relativa (%)	0 a 110	40 a 100	-
Temperatura do ar (° C)	0 a 50	0 a 34	4.0
Pressão atmosférica (hPa)	900 a 1100	950 a 1050	16.0
Velocidade do vento (m/s)	0 a 60	0 a 30	10.0
Direção do vento (°)	0 a 360	-	-
Rajada (m/s)	0 a 70	0 a 40	-
Altura Significativa (m) (zero ascendente)	0 a 15	0.1 a 14.5	3.0
Altura Significativa (m)	0 a 15	0.1 a 14.5	3.0
Altura máxima (m)	0 a 30	0.1 a 20.0	-
Direção média global (°)	0 a 360	-	-
Dispersão no período de pico (°)	0 a 90	-	-
Direção média no período de pico (°)	0 a 360	-	-
Período de onda máxima (s)	0 a 30	1.6 a 30.0	-
Período médio (s)	0 a 30	1.6 a 20.0	3.0
Período de energia (s)	0 a 30	1.6 a 30.0	-
Período de pico (s)	0 a 30	1.6 a 24.0	-
Temperatura da água (° C)	10 a 30	8 a 28	2.5
Oxigénio (mg/l)	0 a 15	0 a 12	1.0
Clorofila-a (V)	0 a 5	-	1.0
Direção da corrente (°)	0 a 360	-	-
Velocidade da corrente (cm/s)	0 a 300	0 a 100.0	25.0

Na segunda etapa testam-se os valores face à janela climatológica relativa à área geográfica. Na terceira etapa são verificados os picos ou saltos registados entre mensagens consecutivas. Estando pré-definidas as variações horárias admissíveis, são apenas aceites os valores que são inferiores a esse limite. A última etapa, realizada em tempo real, analisa a estacionariedade dos registos, ou seja, são confrontados os valores das últimas 6 horas e é verificada a sua persistência. Se se verifica uma constância do mesmo valor nas 6 horas, esses valores são rejeitados.

Quando um valor é considerado como rejeitado numa determinada etapa, ou seja é mau, não volta a ser validado (A Tabela II resume as janelas de aceitação adotadas para os diversos parâmetros).

O posicionamento da estação tem uma validação individualizada, ou seja, uma vez definido o raio de espalho aceitável de 2 km, após o fundeamento da estação e face aos limites determinados, é testado o posicionamento (Fig. 2). Caso sejam excedidos os limites pré-definidos, é lançado um e-mail de alerta de fora de posição e o posicionamento é associado a um indicador de valor mau.

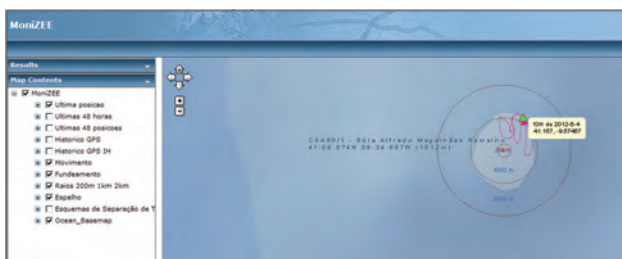


Fig.2. Aplicação GIS de controlo de posicionamento

Uma vez executado o procedimento de validação, os registos estão associados aos indicadores de qualidade e são carregues na base de dados. A partir daí, podem ser consultados ou visualizados em modo gráfico em vários portais.

4. CASOS PRÁTICOS

Muitos exemplos se poderiam mostrar sobre aplicações destes critérios de validação. Escolheram-se dois casos por serem mais expressivos.

Provenientes dos sensores ambientais, como o fluorímetro ou o oxímetro, é habitual aparecerem registos validados como maus, pois são correspondentes a elevados índices de saturação do próprio equipamento, depois de permanecerem algum tempo submersos. Mas o caso que é apresentado na Fig. 3, referente a valores de clorofila-a em março de 2012, permite visualizar uma situação em que se verificou um salto entre dois registos consecutivos. Este segundo valor foi qualificado como duvidoso (QC=2).

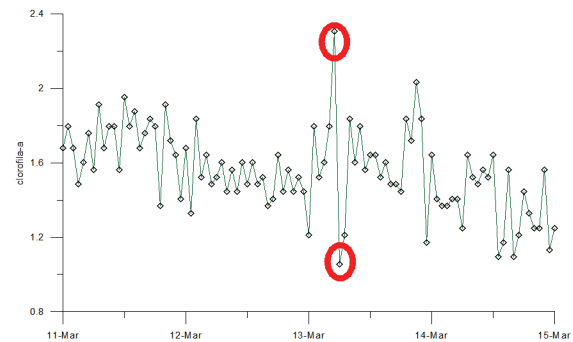


Fig.3. Exemplo de valor duvidoso no registo da clorofila-a

No período de fundeamento que se iniciou em novembro de 2011, na estação Alfredo Ramalho o termómetro que regista a temperatura do ar, apresentou valores consecutivos constantes para além das 6 horas (Fig. 4). Esta situação, conforme referido anteriormente, é considerada como um caso de persistência não admissível. Assim, esses registos são associados a indicadores de qualidade de valor mau (QC=4, presente na Tabela III, que é um extrato, para o período do gráfico, da base de dados na temática meteorologia).

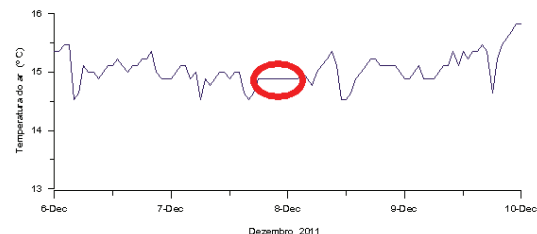


Fig.4. Exemplo de valores constantes registados pelo termómetro situado a 3 m de altura da água

Tabela III. Extrato da tabela de dados de meteorologia

Time	AirTemp	QC	EST
07.12.2011 17:00:00	14,64844	1	3
07.12.2011 18:00:00	14,88281	4	3
07.12.2011 19:00:00	14,88281	4	3
07.12.2011 20:00:00	14,88281	4	3
07.12.2011 21:00:00	14,88281	4	3
07.12.2011 22:00:00	14,88281	4	3
07.12.2011 23:00:00	14,88281	4	3
08.12.2011 00:00:00	14,88281	4	3
08.12.2011 01:00:00	14,88281	4	3
08.12.2011 02:00:00	14,88281	4	3
08.12.2011 03:00:00	15,00000	1	3
08.12.2011 04:00:00	14,88281	1	3
08.12.2011 05:00:00	14,76563	1	3

5. CONCLUSÕES

A validação automática implementada nos dados da estação Alfredo Ramalho, mostrou ser uma mais valia em termos da análise da operacionalidade dos sensores instalados, tendo sido alargada às restantes estações da rede de observação.

A harmonização de metodologias proporciona ao utilizador final dados e informação fiáveis.

REFERÊNCIAS

[//socgeografia-lisboa.planetaclix.pt/alf_ramalho.htm](http://socgeografia-lisboa.planetaclix.pt/alf_ramalho.htm), em 26abril2012.

[//www.observatorioraia.org/](http://www.observatorioraia.org/), em 27abril2012.

[//www.eurogoos.org/documents/eurogoos/downloads/Recommendations_for_rtqc_procedures_v1_2.pdf](http://www.eurogoos.org/documents/eurogoos/downloads/Recommendations_for_rtqc_procedures_v1_2.pdf)

Alfonso, Marta et al. (2002). La red exterior de Puertos del Estado: Información oceanográfica en tiempo real. Actas de la III Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica.

IOC/IODE (1993). Manual of quality control procedures for validation of oceanographic data.

IOC Manuals and Guides nº26.

EMODNET – O contributo do Instituto Hidrográfico

L. Veiga (1), S. Almeida (2), A. Saramago (3) e R. Baptista (3)

- (1) Divisão de Hidrografia, Instituto Hidrográfico (IH); leonor.veiga@hidrografico.pt
 (2) Divisão de Oceanografia, IH;
 (3) Centro de Dados Técnico-Científicos, IH

Resumo: A Política Marítima Integrada da União Europeia esteve na origem da criação de uma Rede Europeia de Observação e de Dados Marinhos (EMODNET) cujo desafio é o de desenvolver um sistema que permita identificar os dados existentes, facilitar o seu acesso e criar uma infraestrutura para distribuição desses dados.

O conceito está a ser testado através de ações preparatórias, como sejam a criação de portais de visualização da cobertura batimétrica com a agregação de dados geológicos, biológicos e químicos, tendo sido alargado à área da oceanografia física.

O SEADATANET (Pan-European Infrastructure for Ocean and Marine Data Management) tem liderado a implementação da estrutura de gestão dos dados da EMODNET.

Pretende-se apresentar o contributo do Instituto Hidrográfico com a elaboração de modelos digitais de terreno do fundo marinho de Portugal e preparação de catálogos de metadados de agitação marítima, correntometria, direção e velocidade do vento, temperatura e nível médio do mar.

Palavras chave: EMODNET, Gestão de dados, Hidrografia, Oceanografia física.

“Que impróprio chamar Terra a este planeta de Oceanos!” Arthur C. Clarke

1. ENQUADRAMENTO

A Europa está rodeada por numerosas ilhas, por quatro mares – Mediterrâneo, Báltico, Mar do Norte e Mar Negro – e por dois oceanos – Atlântico e Ártico. O continente europeu tem uma orla costeira de milhares de quilómetros, maior do que a de outros grandes continentes. Mais de dois terços das fronteiras da União Europeia (EU) são orla marítima e os espaços marítimos sob jurisdição dos seus estados-membros são mais vastos que os seus espaços terrestres (COM, 2006).

Devido à sua geografia, a Europa sempre teve uma relação privilegiada com os oceanos, cujo papel no desenvolvimento da sua cultura, identidade e história foi, desde tempos imemoriais, fundamental (COM, 2006).

2. CONHECIMENTO DO MEIO MARINHO

“Fonte de romance, mas também de separações, perigos desconhecidos e sofrimento, o mar é um desafio permanente e suscita em nós uma vontade profunda de melhor o conhecer.” (COM, 2006).

Melhorar o conhecimento dos mares e oceanos, que representam 71% da superfície do nosso planeta, é um dos instrumentos da Política Marítima Integrada da UE.

A produção do conhecimento do meio marinho começa com a observação dos mares e oceanos. Os dados resultantes dessas observações são organizados e em seguida analisados para produzir informação e conhecimento.

A EU pode fornecer valor acrescentado na fase de organização dos dados, dada a necessidade de assegurar a coerência a nível supranacional e entre as diferentes comunidades de utilizadores (COM, 2010).

3. OBSTÁCULOS ATUAIS

A maior parte dos dados sobre o meio marinho são recolhidos a título individual ou coletivo, por instituições públicas ou privadas, em geral para um fim específico, por exemplo explorar os recursos marinhos, garantir a segurança da navegação, verificar o respeito da regulamentação ou verificar uma hipótese científica.

O tratamento e a aplicação destes dados são dificultados pelo desconhecimento dos utilizadores sobre quais os dados disponíveis, restrições de acesso, utilização e reutilização desses dados.

Entre outros obstáculos contam-se ainda a fragmentação das normas, formatos e nomenclatura, falta de informação sobre a precisão e fiabilidade, falta de uniformização das diferentes variáveis, como por exemplo a designação dos parâmetros ao nível do código dos equipamentos, desconhecimento da política de preços dos fornecedores e uma resolução temporal e espacial por vezes insuficiente. Assim se perde a oportunidade para desenvolver novos produtos e serviços com base em dados sobre o meio marinho (COM, 2010).

4. INSTRUMENTOS E AÇÕES

A Diretiva-Quadro Estratégia Marinha¹ refere que os estados-membros “estabelecem e executam

¹ Diretiva 2008/56/CE.

programas de monitorização coordenados para a avaliação contínua do estado ambiental das suas águas marinhas”. A organização dos dados exige uma colaboração além-fronteiras e interdisciplinar. A Diretiva Inspire² estabelece uma infraestrutura de informação geográfica na Comunidade Europeia, instituindo normas comuns.

A iniciativa de Monitorização Global do Ambiente e da Segurança (GMES) é um programa que abrange terra, atmosfera e mar. Tem por objetivo prestar serviços no domínio do ambiente e da segurança e está orientada para medições por satélite e *in situ* e distribuição de produtos baseados nessas medições.

5. EMODNET

A partilha de dados entre os diferentes setores e entre os estados-membros não é uniforme, nem adequada, nem eficiente nem tão pouco rápida (COM, 2010).

A rede EMODNET financiada através de ações preparatórias³ destina-se a profissionais do setor marinho e marítimo e visa proporcionar uma infraestrutura que possa ser utilizada para uma grande variedade de aplicações. 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 (Soares, 2010).

Foram criados grupos temáticos⁴ que organizam os dados disponíveis de diversas fontes, avaliam a sua qualidade, garantem que sejam acompanhados por metadados e disponibilizam esses dados através de portais temáticos.

Os grupos temáticos já criados abrangem as áreas da hidrografia/batimetria, geologia, biologia e química, tendo sido alargado à oceanografia física. Foram já criados portais protótipo que visam essencialmente testar o conceito do projeto e promover o retorno de informação.

5.1 EMODNET-Hidrografia

A informação hidrográfica coligida está acessível no portal de hidrografia. Este pretende ser uma ‘montra’ dos conjuntos de dados disponíveis, cujo objetivo primordial é promover o acesso a esses dados e avaliar a sua cobertura e qualidade.

O portal de dados de hidrografia conheceu a sua 1ª versão em 2009 com informação do Mar do Norte, Canal da Mancha, Mar Celta, Mediterrâneo Central e Ocidental e Mar Jónico. Em 2010 estendeu a cobertura de dados para a Costa Ibérica e Golfo da Biscaia, Mar Adriático e Mar Egeu.



Fig.1 - <http://www.emodnet-hydrography.eu>

O portal tem sido desenvolvido adotando as normas e serviços SEADATANET. É a infraestrutura que lidera a gestão, indexação e acesso aos dados e produtos de dados, adquiridos em cruzeiros de investigação, remotamente ou *in situ*. Desenvolve igualmente normas para formatos de dados e metadados, padroniza vocabulários e parâmetros de qualidade.

Para o portal de hidrografia tem sido adotada a seguinte abordagem (Schaap, 2011):

- Envolver os institutos de investigação e serviços hidrográficos a fornecer informação hidrográfica a partir da qual são construídos Modelos Digitais de Terreno (MDT) com resolução de 0.25', para cada região geográfica e que são depois carregados e integrados numa base de dados espacial do portal;
- Equipar a base de dados espacial com um serviço poderoso de visualização e *download*;
- Incluir no portal um serviço de pesquisa e acesso aos metadados, adotando o índice comum de dados (CDI) do SEADANET que pretende mostrar a informação hidrográfica que serviu de base à construção dos DTM, as restrições de acesso e políticas de cedência de informação. Garante ainda a ligação ao portal SEADANET que inclui um mecanismo de aquisição dos dados fonte.

5.2 Acesso aos dados

A filosofia subjacente é baseada no pressuposto que os dados estão sempre associados à sua fonte, encarregue de assegurar a sua proteção. A informação disponibilizada ao utilizador e o acesso deste aos dados fonte é feito segundo o esquema que se apresenta na Fig.2.

² Diretiva 2007/2/CE.

³ Mecanismo financeiro destinado a preparar propostas com vista à adoção de ações futuras.

⁴ Consórcios de laboratórios que assumiram a responsabilidade de recolher e disponibilizar os dados.

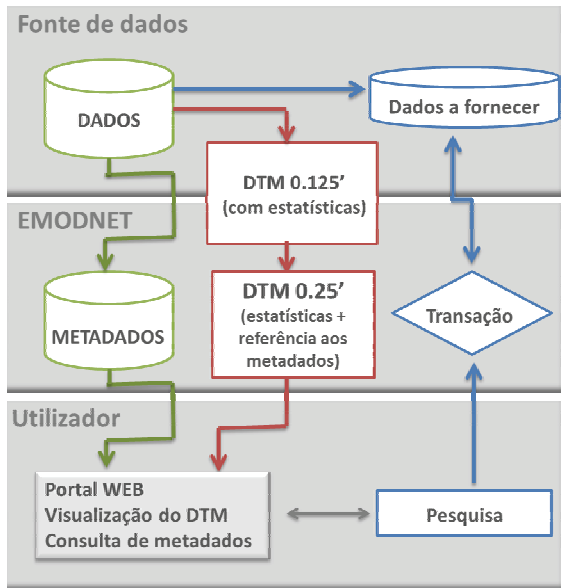


Fig. 2 – Da fonte de dados ao utilizador final.

[Fonte: adaptado de Schmitt (2011)]

Os metadados são de domínio público e disponíveis gratuitamente para todos os utilizadores.

Os produtos resultantes dos MDT e que compõem as camadas do sistema de informação geográfica (profundidades, isolinhas, perfis de fundo, obstruções e navios afundados) estão disponíveis gratuitamente a qualquer utilizador e podem ser exportados em diversos formatos.

O acesso aos dados fonte respeita os direitos de propriedade do distribuidor. O SEADANET está apto a lidar com restrições de acesso diferentes.

6. CONTRIBUTO DO IH

6.1 Batimetria digital

As principais fontes de dados para produzir batimetria digital das regiões marítimas europeias, sob a forma de DTM, são os dados provenientes dos levantamentos hidrográficos (realizados a multifeixe ou a feixe simples), modelos digitais de terreno já disponíveis e construídos pelas instituições que não pretendam fornecer dados de origem e informação GEBCO⁵ sob a forma de grade de profundidades com espaçamento de 30". A informação GEBCO é utilizada neste projeto para complementar zonas onde não existe cobertura batimétrica, de melhor qualidade, disponível.

Portugal, através do IH, assegurou numa primeira fase o fornecimento de batimetria da área de jurisdição nacional, sob a forma de um modelo digital de terreno com resolução de 0.125', que resultou da combinação de modelos gerados para todos os levantamentos hidrográficos que compõe o mosaico de informação mais recente de Portugal Continental (Fig. 3).

Os modelos seguiram as especificações de construção e parâmetros de qualidade impostas pelo projeto, possíveis de obter com a utilização de *software* específico, requerendo aprendizagem e treino do mesmo. Estes modelos serviram para o coordenador regional da Costa Ibérica e Golfo da Biscaia construir o DTM com resolução de 0.25', por agregação com outras fontes de dados (Fig. 4).

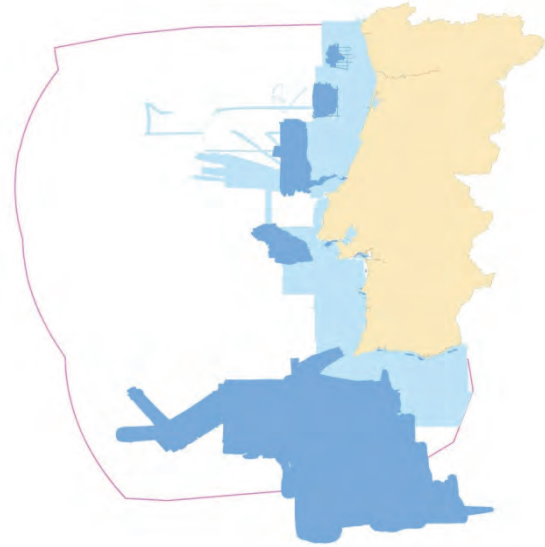


Fig.3 – Cobertura batimétrica dos dados do IH (com distinção entre levantamentos a multifeixe e a feixe simples)

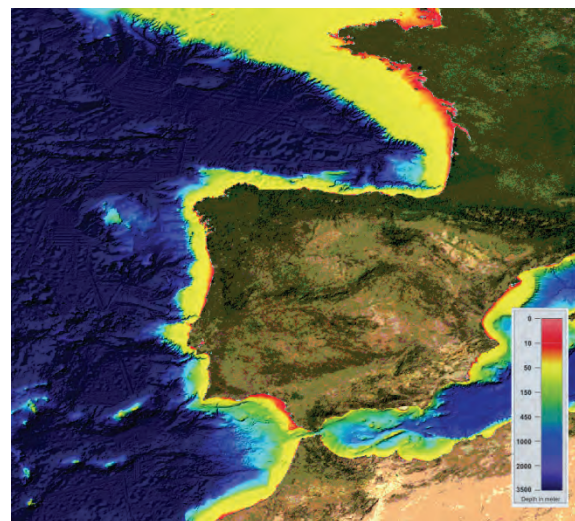


Fig.4 – Batimetria digital da Península Ibérica (DTM com resolução de 0.25')

[Fonte: <http://www.emodnet-hydrography.eu>]

Numa segunda fase, o IH como coordenador regional dos Arquipélagos da Madeira e dos Açores, preparou a batimetria digital final, com base na informação de sondagem disponível no IH, do IFREMER (Institut Français de Recherche pour l'exploitation de la Mer) e do SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine) e

⁵ GEBCO – General Bathymetric Chart of the Oceans.

que estará disponível no portal de hidrografia, <http://www.emodnet-hydrography.eu>, ainda no ano de 2012.

6.2 Componente – Oceanografia Física

Com a criação do portal EMODNET para os parâmetros físicos (Fig. 5), a componente da oceanografia física passou a ter outra visibilidade. No contexto do projeto foi definido que, das observações realizadas a partir de plataformas fixas, contribuiriam para o portal os seguintes parâmetros: altura significativa e período; temperatura, salinidade e velocidade horizontal da coluna de água; direção e velocidade do vento e nível do mar.



Fig. 5 - <http://www.emodnet-physics.eu/>

Sendo o IH um polo observacional na parceria de uma das regiões do EUROGOOS (European Global Ocean Observing System), a área de cobertura geográfica corresponde à que está associada ao projeto IBI-ROOS (Iberia-Biscay-Ireland Regional Operational Oceanographic System).

Assim, para alimentar o portal cujo protótipo foi lançado o ano passado, com utilização das ferramentas disponibilizadas no SEADATANET, serão criadas fichas de metadados, no decurso de 2012, que caracterizam as estações que permitem a obtenção daqueles tipos de parâmetros, ou seja, estações ondógrafo, multiparamétricas e maregráficas.

As plataformas selecionadas para este efeito são as que integram o programa MONIZEE, permitindo uma disponibilização de dados em tempo quase real.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A melhoria do conhecimento do meio marinho sempre foi um dos principais objetivos da Política Marítima Integrada da EU.

Os dados sobre o meio marinho são necessários para as autoridades nacionais e locais, com o intuito de proteger as costas e avaliar a conformidade com as normas ambientais aplicáveis, para as empresas

privadas, a fim de explorar os recursos de forma mais eficiente e para a comunidade científica, para melhorar o conhecimento dos ecossistemas marinhos.

Um sistema de observação fragmentado comporta, para os fornecedores de produtos e serviços, um custo muito mais elevado do que um sistema integrado (SEC, 2010).

A EMODNET constitui-se como uma peça fundamental para garantir que a Diretiva-Quadro Estratégia Marinha atinja o objetivo de um bom estado ambiental em 2020 (Soares, 2010).

O portal de hidrografia é um dos portais desenvolvidos como parte das ações preparatórias e tem como principal objetivo permitir o acesso aos dados das regiões marítimas europeias, para posterior análise. Permite ainda a combinação de dados com produtos de outros portais.

O IH tem acompanhado os desenvolvimentos da EMODNET e participado ativamente com o fornecimento de batimetria digital da Costa Atlântica, assim como disponibilizando dados no âmbito dos sistemas ROOS e alimentando os catálogos do SEADANET.

REFERÊNCIAS

- COM (2006). *Livro Verde - Para uma futura política marítima da União: Uma visão europeia para os oceanos e os mares*. Nº 275 final. Bruxelas, 7.6.2006. Volume II – ANEXO.
- COM (2010). *Conhecimento do meio marinho 2020. Dados e observações sobre o meio marinho com vista a um crescimento sustentável e inteligente*. Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu e ao Conselho. Nº461 final. Bruxelas, 8.9.2010.
- EMODNET Physics - Workshop with representatives of NOOS, BOOS and IBI-ROOS (2011).
- Schaap, Dick M. A. (2011). *Preparatory Actions for European Marine Observation and Data Network. 1st Interim Report for the period June 2010 – May 2011*. Version 1.0.
- SEC (2010). *Rede Europeia de Observação e de Dados Marinhos. Avaliação de impacto*. Documento de trabalho dos serviços da comissão Nº 999.
- Soares, C. Ventura (2010). *MONIZEE: uma resposta Portuguesa à EMODNET, 1^{as} Jornadas de Engenharia Hidrográfica, 2010, Lisboa*.

O Mapeamento de Habitats Marinhos do Parque Natural da Arrábida

V. Henriques (1), M. Tuaty Guerra (1), M. J. Gaudêncio (1), B. Mendes (1), P. Fonseca (1) e A. Campos (1)

(1) L-IPIMAR, Avenida de Brasília, 1449-006, Lisboa. victorh@ipimar.pt

Resumo: O conhecimento da distribuição espacial dos recursos dos fundos marinhos revela-se fundamental para a conservação e gestão dos ecossistemas, bem como para a sustentabilidade das actividades humanas no meio marinho.

No sentido de aprofundar o conhecimento sobre os habitats bentónicos do Parque Marinho Prof. Luiz Saldanha, foi efectuado o levantamento de atributos físicos e biológicos dos seus fundos. As actividades de recolha de dados compreenderam o rastreio acústico ao longo de vários transectos, para identificação do substrato; recolha de amostras de sedimentos para caracterização granulométrica e identificação da macrofauna bentónica; recolha de imagens vídeo para identificação da epifauna e morfologia dos fundos, e amostragem com redes de pesca para levantamento da componente ictiológica.

Como resultado, foi construído um mapa da distribuição de habitats bentónicos da zona sublitoral do parque marinho, integrando a informação das características sedimentares dos fundos com a da epifauna e dos povoamentos de macrofauna bentónica associados

Palavras chave: Habitats marinhos, mapas, bentos, acústica, vídeo.

1. INTRODUÇÃO

A caracterização física e biológica dos fundos marinhos é fundamental para o conhecimento dos ecossistemas e para a gestão das actividades humanas, de modo a conciliar um efectivo desenvolvimento sustentável com a preservação ambiental. Neste âmbito, o mapeamento de habitats marinhos, como resultado da análise da distribuição espacial qualitativa e quantitativa dos recursos, tem um largo campo de aplicação oferecendo ferramentas de base para a gestão, o planeamento e a investigação do meio marinho (Mesh, 2008).

Presentemente, é dado grande ênfase à obtenção de mapas exactos e explicativos dos habitats marinhos bentónicos, tanto à escala regional e local como à escala nacional e internacional, que ofereçam informação de base necessária à implementação de medidas de planeamento e gestão dos recursos naturais e biológicos e conservação da biodiversidade a diferentes níveis de intervenção (DQEM, 2008).

Tendo como objectivo a produção de informação fiável ao menor custo, a detecção remota baseada em meios acústicos e a identificação visual por vídeo têm vindo a ser utilizadas extensivamente na obtenção de dados sobre extensas áreas de fundo marinho, em conjugação com os meios tradicionais de recolha de dados.

As actividades e os resultados aqui apresentados foram desenvolvidos no âmbito do projecto BIOMARES - Recuperação e Gestão da Biodiversidade do Parque Marinho do Sítio da Rede Natura 2000 “Arrábida – Espichel” do programa

LIFE/Nature. Este projecto teve como objectivo principal contribuir com informação para a recuperação geral do Parque Marinho “Luiz Saldanha”, criado em 1998. Este processo deverá passar pela conciliação entre a protecção dos recursos naturais e biodiversidade e as actividades económicas locais, tendo em consideração a existência, desde 2005 de um Plano de Ordenamento para o Parque Natural da Arrábida.

Neste projecto, uma das linhas de actividade consistiu na caracterização e mapeamento dos habitats marinhos bentónicos cobrindo toda a área do parque e zona complementar (Fig. 1), que se estende entre a Praia da Foz, a norte do Cabo Espichel, e a Praia da Figueirinha, junto ao Outão.

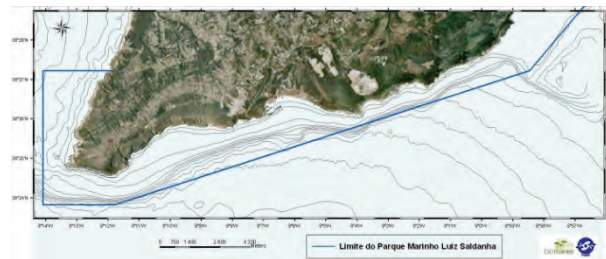


Fig. 1. Limites do Parque Marinho "Luiz Saldanha".

2. METODOLOGIA

O Parque Marinho “Luiz Saldanha” constitui uma área marinha protegida pertencente à Rede Natura 2000, reconhecida por possuir uma elevada biodiversidade. Este parque marinho, criado em

1998, é parte do Parque Natural da Arrábida (PNA) e estende-se por uma zona com cerca de 38 km ao longo de uma linha de costa maioritariamente rochosa e escarpada. A área do parque totaliza cerca de 52 km² distribuídos ao longo de uma faixa orientada segundo a linha de costa até uma profundidade máxima de 100 m.

Os dados obtidos sobre os fundos resultaram da aplicação de diferentes métodos de recolha ao longo de quatro campanhas a bordo do NI “Tellina” (Cff=17 m) do IPIMAR.

Na fase de recolha de dados efectuaram-se conjuntos de transectos paralelos entre si, utilizando equipamento acústico de discriminação de fundos baseado num sondador de feixe simples de 50 kHz, ao longo de todo o parque, e um sonar de varrimento lateral de 450 kHz nas zonas de baixa profundidade, junto à linha de costa. Para a caracterização da macrofauna bentónica e análise de sedimentos foram amostradas cerca de 100 estações com uma draga Smith-McIntyre (0,10 m³). Foram igualmente recolhidas imagens para a caracterização da morfologia dos fundos e epifauna em 96 estações fixas usando uma câmara de vídeo subaquática montada numa estrutura de suporte. Por fim, a ictiofauna foi amostrada em 36 estações na zona entre Alpertuche e o Espichel usando rede de tresmalho com malhagem 55 mm.

A discriminação da composição física dos fundos por acústica foi efectuada com recurso à partição de dados por classes usando análise visual e análise de clusters, com base na validação através da identificação de imagens vídeo e granulometria de sedimentos. A modelização da batimetria foi obtida por interpolação espacial (Goovaerts, 1997).

As comunidades da macrofauna bentónica foram definidas com recurso a análise multivariada dos dados de abundância, que envolveu a análise de classificação pelo método das ligações médias e índice de similaridade de Bray-Curtis, de ordenação por escalonamento multidimensional e de percentagem de similaridade entre grupos de espécies (SIMPER). As análises foram efectuadas com a aplicação PRIMER v6 (Clarke e Gorley, 2006).

A análise da ictiofauna foi efectuada por Análise de Componentes Principais sobre uma matriz de correlação de abundâncias sobre os 12 *taxa* mais abundantes.

Todos os grupos de dados e resultados obtidos foram introduzidos em ArcGIS formando diferentes camadas de informação para análise e visualização, assim como para a produção de mapas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados mais importantes deste trabalho consistiram na obtenção de um mapa com distribuição espacial de diferentes atributos dos fundos do Parque Marinho “Luiz Saldanha”. Deste modo foi produzida uma camada de informação com a distribuição da batimetria ao longo do parque onde se tornam evidentes as principais características da morfologia dos fundos.

Em complemento à batimetria foi produzida uma outra camada de informação com a distribuição dos diferentes tipos de fundo, verificando-se a existência de zonas rochosas, por vezes cobertas de algas, muito perto da linha de costa até sensivelmente à Ponta da Pombeira, junto ao Cabo Espichel. Para Oeste deste ponto os fundos rochosos expandem-se até distâncias mais afastadas da costa. Nas zonas de maior profundidade, a partir dos cerca de 50 m, os sedimentos ao longo do parque apresentam elevadas fracções de lodo.

Da análise da ictiofauna, conclui-se que a zona amostrada possui uma elevada diversidade, tendo-se observado uma separação entre grupos de espécies em relação a duas zonas do parque: uma zona mais abrigada situada a este e uma zona a oeste, mais exposta às condições oceânicas características.

No que respeita à distribuição das comunidades de macrofauna bentónica, o aspecto mais saliente é o contraste entre a zona a leste de Sesimbra, com uma menor biodiversidade, e a zona a oeste, mais rica. Estas duas zonas coincidem com duas zonas distintas em termos quer da granulometria dos sedimentos (menos grosseira e mais homogénea a leste de Sesimbra, mais grosseira e diversa a oeste) quer da batimetria (Fig.2).

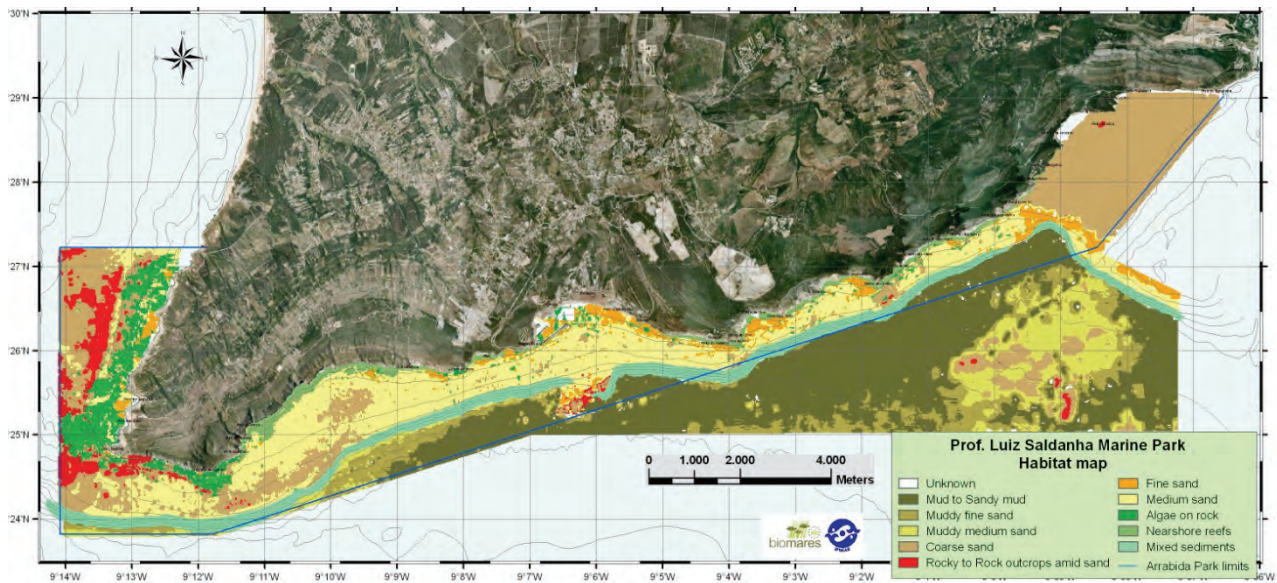


Fig. 2. Distribuição dos tipos de fundo na área de estudo.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa LIFE/Nature e à empresa SECIL o financiamento prestado no âmbito do Projecto BIOMARES. Agradecimentos são igualmente devidos à tripulação do NI “Tellina” e à Secção de Navios do IPIMAR pelo apoio prestado durante as campanhas.

REFERÊNCIAS

- Clarke, K.R. e Gorley, R.N. (2006). *Plymouth Routines In Multivariate Ecological Research*. PRIMER v6: User Manual/Tutorial. Ed.: Primer-E Ltd, 190 pp.
- Mesh Project (2008). *Mesh Guide to Habitat Mapping*. Joint Nature Conservation Committee, Peterborough, UK, 90 pp.
- DQEM (2008). *Directiva-Quadro «Estratégia Marinha»*. Directiva 2008/56/Ce de 17-06-08 do Parlamento Europeu e do Conselho. 22pp.
- Goovaerts P. (1997). *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford University Press. 483pp.

Contributo para a Carta Arqueológica Subaquática Nacional – Peniche - Berlenga

J. Russo (1), P. Costa (1) e S. Pinheiro (2)

- (1) Universidade Aberta. russochief@gmail.com
(2) Instituto de Arqueologia e Paleociências (UNL/UAlg)

Resumo: Peniche e o arquipélago da Berlenga, onde se incluem os Farilhões e as Estelas, constituem um caso singular no que respeita quer à quantidade de naufrágios ocorridos nas suas águas, quer à sua diversidade e diacronia. Para este facto, contribuem dois importantes fatores - as excecionais condições que a ilha da Berlenga oferece como fundeadouro de abrigo e o notável obstáculo à navegação constituído pelo istmo de Peniche e o conjunto daquelas ilhas.

Face à existência deste importante património cultural subaquático, preconiza a legislação nacional e internacional em vigor a necessidade de o inventariar, estudar, preservar e divulgar. Neste contexto, pretende-se valorizar alguns destes naufrágios através da sua constituição em Reservas Arqueológicas Subaquáticas (RAS).

Abstract: Peniche and the Berlenga archipelago, including Farilhões and Estelas islets, are a case study concerning the amount of ships lost there and their diversity and chronology. This wealth of underwater cultural heritage – natural in an area that, in spite of being a splendid anchorage, is also a formidable obstacle to navigation, with its currents and common fog conditions – needs to be inventoried, researched, studied and made accessible to the general public, in accordance with the UNESCO Convention for the Protection of Underwater Cultural Heritage, ratified by Portugal in September 2006. As such, and as a cultural management tool, we intend to turn some of this area wrecks into of Underwater Archaeological Preserves.

Palavras chave: Peniche, Berlenga, Carta Arqueológica subaquática, UNESCO, Reservas Arqueológicas Subaquáticas

1. INTRODUÇÃO

O presente projeto de investigação decorre no âmbito da valorização da Carta Arqueológica Subaquática Nacional, um instrumento de gestão do património arqueológico submerso sob tutela da Divisão de Arqueologia Náutica e Subaquática da Direcção Geral do Património Cultural (DANS/DGPC) e no quadro da linha de investigação em arqueologia náutica e subaquática do Instituto de Arqueologia e Paleociências, das Universidades Nova de Lisboa e do Algarve (IAP) - uma unidade de investigação oficialmente criada em 2011 com o objetivo da promoção e desenvolvimento da investigação integrada nas áreas da Arqueologia e das Paleociências.

Prevendo a recolha oral de testemunhos de pescadores, de mariscadores e de mergulhadores amadores locais, bem como a realização de mergulhos prospetivos em zonas previamente assinaladas como capazes de conter vestígios arqueológicos submersos de interesse, pretende-se localizar, posicionar, avaliar e caracterizar o património cultural subaquático da zona Peniche-Berlengas (área de jurisdição da Capitania de Peniche e Reserva Natural da Berlenga), promovendo o seu estudo e musealizando alguns daqueles locais submersos de interesse arqueológico, através da implantação de um Sistema de Reservas Arqueológicas Subaquáticas (RAS), de acordo com

os mais recentes parâmetros ético-científicos preconizados pela Convenção da UNESCO sobre a Proteção do Património Cultural Subaquático.

2. ÁREA DE INTERVENÇÃO

A área do presente projeto (*Figura 1*) corresponde à faixa de costa coincidente com a área de jurisdição da Capitania de Peniche (limitada a Norte pela *Pirâmide do Bouro*, e, a Sul, pela Ponta da Foz do rio Sizandro), nela se incluindo as águas interiores não marítimas da Lagoa de Óbidos, bem como o polígono que define a área de proteção complementar da Reserva Natural da Berlenga, (compreendida entre os paralelos 39°30'N e 39°24'N; e os meridianos 9°28'W; e 9°34'W). A área assim definida abrange a totalidade dos concelhos da Lourinhã, Peniche e Óbidos e, parcialmente, os concelhos de Torres Vedras a Sul e Caldas da Rainha a Norte, nos Distritos de Lisboa e Leiria.



Figura 1 – O retângulo verde, corresponde à área da Reserva Natural da Berlenga, e, a linha verde, à faixa de costa compreendida entre os pontos suprarreferidos

3. METODOLOGIA

Para a realização do presente projeto, pretende-se desenvolver as seguintes vertentes:

1. Pesquisa bibliográfica e recolha oral

Coligir e inventariar o conjunto de trabalhos de investigação realizados em torno do património arqueológico submerso da área em apreço; Investigar exaustivamente, recorrendo às fontes escritas e aos testemunhos orais locais, o potencial património arqueológico submerso na área em apreço, inventariando os resultados.

2. Inventariação e investigação do património arqueológico submerso

Em alvos selecionados, proceder a trabalhos arqueológicos, no sentido de os identificar e estudar.

3. Realização e implementação de uma base de dados SIG

Realizar e implementar uma base de dados georreferenciada através de ferramenta SIG, com todos os alvos identificados.

4. Criação de Reservas Arqueológicas Subaquáticas (RAS)

Criar uma componente museológica e histórica que envolva as entidades culturais da área em apreço e que defina culturalmente o local designado para integrar o sistema de RAS.

5. Divulgação

Divulgar ao grande público quer o processo de criação e implantação do sistema das RAS, quer as características de cada Reserva, de modo a chamar a atenção da comunidade local para a importância que assume o património cultural subaquático jazente na área em apreço quer na definição da própria identidade histórica da população, quer como motor de desenvolvimento turístico que este pode (e deve) constituir, no que às RAS diz respeito. Em cada RAS, deverão ser apostas placas de bronze no destroço, onde constarão os dados relativos ao navio,

assim como a identificação do local do destroço e sua correspondência com o navio, para que, quando da sua visita e fruição, o mergulhador possa correlacionar o navio original com os seus destroços. Para cada RAS criada deverá ser elaborada documentação sobre a mesma. Essa documentação terá de incluir, obrigatoriamente, um panfleto desdobrável trilingue (inglês, francês, português) que contenha as informações básicas necessárias. Das informações básicas a incluir, destacamos:

- Informação histórica específica sobre cada naufrágio (documentação gráfica, descrição do processo de naufrágio, etc.);
- As características mais relevantes de cada reserva (localização, o que de mais importante há a ver, o que visitar, como apreender, etc.);
- As condições de mergulho mais prováveis de serem encontradas (correntes, visibilidade, etc.);
- Sistema de amarração em vigor;
- Informações de emergência (bombeiros, hospital, câmara hiperbárica mais próxima, Polícia Marítima, etc.);
- Outras informações relevantes.

6. Criação de Produto Turístico

Criar condições para que as Reservas possam oferecer um novo produto turístico-cultural, produto esse que servirá não só para benefício das entidades privadas que comercialmente exploram o turismo subaquático na região, como também para a própria divulgação do potencial marítimo-turístico da zona Oeste.

4. OS BENEFÍCIOS DAS RAS

- Partilham com as populações residentes e os visitantes a história local e os artefactos submersos que caracterizam cada uma das Reservas, contribuindo esta partilha para uma melhor consciencialização e salvaguarda do património cultural subaquático, no espírito da Convenção da UNESCO para a Protecção do Património Cultural Subaquático, da qual Portugal é Estado parte;
- Tornar mais fácil a localização dos naufrágios que as constituem, para melhor acesso dos visitantes;
- Uma maior segurança no mergulho;
- Proteger os naufrágios de estragos provocados por más práticas de ancoragem, criando condições e regras para a sua adequada utilização, nomeadamente pelo estabelecimento de poitas de ancoragem;
- Divulgar o potencial turístico subaquático da zona Oeste, potenciando as restantes atividades económicas associadas, como a restauração e a hotelaria, combatendo assim a sazonalidade destes setores.

5. CONDIÇÕES PARA A SELEÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE UMA RAS

Para ser elegível para sua conversão em RAS um sítio arqueológico submerso necessita reunir as seguintes condições, cumulativamente:

1. Apresentar fraco valor e sensibilidade arqueológicas;
2. Ser pouco sensível ao impacto negativo que o acréscimo de visitas não deixará de acarretar;
3. Apresentar boas condições geofísicas que permitam efetuar mergulhos em segurança - isto é, estar localizado a baixa profundidade, em local de fraco movimento marítimo, etc.;

Acessoriamente, os locais escolhidos serão preferencialmente integrados em RAS quando:

1. Estejam localizados em zona de fácil acesso aos mergulhadores;
2. Existam boas condições para a monitorização do impacto provocado pelos utentes da Reserva;
3. Exista - ou possa vir a existir, no âmbito deste projeto - um bom registo histórico e arqueológico do local considerado.

6. ENTIDADES PARTICIPANTES

O presente projeto deverá envolver ativamente um conjunto alargado de entidades, das quais destacamos:

1. A Divisão de Arqueologia Náutica e Subaquática da DGPC;
2. A Capitania de Peniche;
3. A Reserva Natural da Berlenga;
4. O Turismo do Oeste;
5. As Câmaras Municipais com frente de costa na área em causa;
6. Entidades privadas interessadas, nomeadamente os operadores da atividade marítimo-turística local.

7. LOGÍSTICA

No âmbito deste projeto, para além dos materiais de divulgação, planeia-se ainda estabelecer um sistema permanente de amarração que:

1. Permita a todas as embarcações que transportem mergulhadores para a RAS permanecerem atracadas à boia de amarração durante toda a duração do mergulho;
2. Impeça que exista ancoragem num raio de 200 metros à volta da amarração especificamente criada para a RAS.

8. PARCERIAS E PROJETOS INTERNACIONAIS

O IAP concorre neste momento a um programa internacional (HERITUR-SUBARCH - Innovative technologies for heritage interpretation, public management and sustainable tourism development in underwater and coastal archaeological sites, liderado

pela Universidade de Barcelona e já pré-selecionado pela União Europeia de um lote de 6 finalistas) onde se inserirá o presente projeto, cuja expressão pública está projetada para o final do corrente ano pela disponibilização de uma base de dados georeferenciada.

Nesta base de dados, o público poderá consultar os mais diversos dados relativos a estes naufrágios tais como o nome do navio, a data da sua perda, a área em que se encontra, a sua nacionalidade e, nalguns casos, um resumo dos factos mais significativos associados ao naufrágio.

9. EXEMPLOS PARADIGMÁTICOS, ELEGÍVEIS PARA RAS

1. SS Primavera:

Um dos destroços mais visitados pela comunidade de mergulhadores que visita a Berlenga, encontra-se a cerca de -22 metros de profundidade (*figura2*), correspondendo a um navio a vapor, em ferro, construído em Glasgow pela empresa *Alexander Stephen & Sons*, no ano de 1878. Lançado como *SS Clan Fraser* (Middlemiss, 1988) foi mandado construir pela companhia de navegação *Cayzer, Irvine & Co.* de Liverpool.



Figura 2 – Mergulhador no SS Primavera – Autor Paulo Costa

Quando a 17 de Outubro de 1902 partiu de Palermo com destino a Antuérpia e Roterdão, transportava carga diversa, entra a qual cânhamo, almagre, asfalto, cortiça, chá e cerca de 2.000 m³ de mármore. No dia 28 do mesmo mês, quando se encontrava a cerca de 14 milhas a Norte da Berlenga, foi detetado fogo na carga, sinistro que levou o comandante a regressar àquela ilha para tentar controlar o incêndio. Não tendo sido possível apagar o fogo, o navio afundou-se. Hoje, decorridos 110 anos da sua perda, ainda se podem observar grandes blocos de mármore de Carrara por entre estes destroços que, se foram salvados no passado (Reiner *et al.*, 2002) agora se encontram protegidos pela Convenção da UNESCO.

1.2 SS Andrios

Outro dos destroços mais visitados pelos

mergulhadores de visita à Berlenga é o do vapor grego *SS Andrios* (figura3), também denominado “vapor do Trigo” – carga que transportava quando se afundou, a 20 de Novembro de 1926

Lançado como *SS Liddesdale* em 1901 (Lloyds Register of Shipping), o *Andrios* encontra-se a cerca de -25/-27 metros de profundidade, apresentando um imponente conjunto de três caldeiras bem conservadas, bem como parte da estrutura e do casco.



Figura 3 – *SS Andrios*, ex- *Liddesdale*

10. CONCLUSÕES

A quantidade e diversidade cronológica do património submerso da área em apreço fazem desta um local muito rico, mas complexo, no que respeita à sua gestão.

Este património é visitado - ou fruído, como preferimos chamar à experiência - de forma ainda que sazonal, muito intensa, facto que exerce incontornavelmente uma considerável pressão sobre aquele.

Apesar de por várias vezes terem ocorrido trabalhos arqueológicos na área em causa (Blot *et al.*, 2005) (Blot e Blot, 1990) (Blot, 2000) muitos deles até com a recuperação de artefactos arqueológicos (Alves *et al.*, 2001) (Bandeira, 1984) a verdade é que, hodiernamente, o conjunto deste património está superficialmente estudado, não existindo um estudo de síntese actual, que complemente os já efetuados (Blot, 2005) (Blot, 2003) ou uma proposta de valorização para o mesmo. Pretende-se assim colmatar esta lacuna ao implementar um projeto que, de forma alargada, integre a inventariação, o estudo, a salvaguarda e a fruição racional e sustentável daquele património até porque um projeto desta natureza, permite com facilidade e segurança concretizar pequenas intervenções de arqueologia subaquática destinadas a jovens investigadores, recém-licenciados e até a alunos, o que o projeta num futuro de médio e longo prazo (adicionalmente, a existência de uma unidade de ensino universitário e politécnico em Peniche abre o horizonte à multidisciplinaridade relativa, nomeadamente, às ciências do mar e ao turismo).

Por tudo isto consideramos que é chegada a hora para a concretização do presente projeto.

11. BIBLIOGRAFIA

- Alves *et al.* (2001). Considerações sobre os dois grandes cepos de âncora em chumbo com alma de madeira, do século V-IV a. C., provenientes do ancoradouro natural da ilha Berlenga (Peniche) e sobre os achados de ânforas de “tipo púnico” em águas Portuguesas. *Atas do colóquio internacional Os Púnicos no Extremo Ocidente*. Lisboa. 27 e 28 de Outubro de 2000. Universidade Aberta. 239-260 pp.
- Bandeira, L. (1984). “Berço Manuelino” recuperado ao largo das Berlengas. *Série Arqueológica*. Vol. 1. Separata n.º 1. Museu do Mar. Câmara Municipal de Cascais. 12 pp.
- Blot, J. Y. (2005). A diacronia do fundeadouro da Berlenga. *Atas das 1^{as} Jornadas de Arqueologia e Património da Região de Peniche*. 86-137 pp.
- Blot, J. Y. et al. (2005). O sítio submarino dos Cortiçais (costa meridional da antiga ilha de Peniche). *Atas das 1^{as} Jornadas de Arqueologia e Património da Região de Peniche*. 157-227 pp.
- Blot, J. Y., et al. (2005). O Sítio dos Cortiçais: naufrágio de período romano na costa Sul de Peniche. *Al-Madan*. II Série. N.º 13. 5 pp.
- Blot, J.Y. (2000). The CNANS/ROBO mission, Portugal 2000, Instrumental and visual survey of several archaeology sites of the Portuguese coast – August – September 2000. CNANS. Relatório
- Blot, J.Y., Blot, M. L. (1990). Arqueologia de um navio: O San Pedro de Alcântara. *Oceanos*. Lisboa. n.º 5. 99-105 pp.
- Blot, M. L. (2003). Os Portos na Origem dos Centros Urbanos - Contributos para a Arqueologia das Cidades Marítimas e Flúvio-Marítimas em Portugal. *Trabalhos de Arqueologia*. N.º 28. Instituto Português de Arqueologia. 332 pp.
- Middlemiss, N. L. (1988). *Gathering of The Clans – History of The Clan Line Steamers, Ltd*. Shield Publications, Ltd. Newcastle Upon Tyne. 52 pp.
- Reiner, Francisco, *et al.* (2002). *Berlengas: A História e as estórias*. Intremezzo – Audiovisuais. Lisboa. 192-195 pp.
- Convenção da UNESCO para a Protecção do Património Cultural Subaquático - Resolução da Assembleia da República n.º 51/2006, e ratificada pelo Decreto do Presidente da República n.º 65/2006, ambos publicados no Diário da República 1.^a série, n.º 137, de 18 de julho de 2006
- Lloyds Register of Shipping, 1901-1902, LIB-LIG, Lloyds.

Sistemas de Informação Geográfica na gestão do Património Cultural Subaquático: a experiência da Carta Arqueológica Subaquática de Cascais.

J. Freire (1), J. Bettencourt (1) e A. Fialho (2)

- (1) Centro de História Além-Mar/Faculdade Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa e Universidade dos Açores - jorge.vfreire@gmail.com.
(2) Departamento de Cultura /Câmara Municipal de Cascais.

Resumo: Os programas de Carta Arqueológica subaquática aparecem como uma forma de gestão da costa e do litoral a partir das evidências da cultura marítima. Como fonte informativa e como ferramenta de pesquisa do conhecimento, estes programas têm nos sistemas de informação geográfica a interactividade necessária para realizar uma aproximação quantitativa no âmbito da investigação, na conservação, na valorização dos sítios e no ordenamento dos interfaces aquáticos. Neste resumo, damos conta da utilização de SIG no projecto de carta arqueológica Subaquática do Litoral de Cascais.

Palavras chave: arqueologia, Cascais, Sistemas de Informação Geográfica, património cultural subaquático, gestão do território.

1. INTRODUÇÃO

Praticamente todas as actividades humanas resultam em vestígios materiais com expressão geográfica e espacial. Nas últimas décadas, à escala internacional, assistimos por isso à utilização generalizada de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na gestão do património cultural subaquático (PCS) (Bradford et al., 2003; Alonso Villalobos et al., 2007; Hootsen e Dijkman, 2009).

Sem se debruçar especificamente sobre o PCS, em Portugal esta abordagem ao património teve repercussões ao nível do estado central na concepção do *Endovéllico*, desenvolvido pelo ex: Instituto Português de Arqueologia e actualmente administrado pelo IGESPAR IP., um sistema de informação e gestão que inclui dados relacionados com o património arqueológico nacional (Divisão de Inventário do Instituto Português de Arqueologia, 2002).

A nível local, a utilização de sistemas de informação com atenção ao PCS encontrou as primeiras experiências no litoral de Cascais, onde se têm vindo a introduzir desde 2006 os dados relativos a naufrágios e a outros achados subaquáticos no *In Patrimonium*, sistema de informação dos Bens Culturais utilizado pela Câmara Municipal de Cascais. No último ano este projecto SIG alargou-se, visando não só a gestão do litoral mas também a análise da *paisagem cultural marítima e arqueologia costeira*. Quando aplicado, estes conceitos obrigam a redefinição do todo o sistema, passando a abarcar dados relacionados com o ambiente natural, com os aspectos sociais e cognitivos, e com a antropização do território. Este resumo dá conta do quadro teórico e do SIG actualmente em desenvolvimento no CHAM para aplicação nos seus trabalhos de gestão e investigação do litoral.

2. UMA APROXIMAÇÃO GEOGRÁFICA AO PCS DE CASCAIS

2.1 Enquadramento teórico

Iniciado em 2005, o projecto de Carta Arqueológica Subaquática de Cascais (ProCASC) assenta em dois pilares de análise cujas influências derivam das abordagens realizadas no Norte da Europa, Estados Unidos e Austrália. O primeiro, visa estabelecer e identificar os elementos culturais que caracterizam a dinâmica marítima da costa, terrestres e subaquáticos, cujo conceito de *Maritime Cultural Landscapes* dá corpo (Westerdahl, 1992; 2011). O segundo, procura interpretar a *arqueologia costeira*, questionando sobretudo o impacto e a influência que o ambiente e os processos marítimos tiveram na ocupação humana, principalmente nas continuidades e dinâmicas, nos aspectos sociais e nas percepções mentais e naturais da costa (Ford, 2011).

A nossa área de estudo encontra-se geograficamente demarcada por dois pontos fortemente destacados no litoral, o Cabo da Roca e a Fortaleza de São Julião da Barra. Localiza-se num dos extremos de área marítima designada como *Enseada Entre-os-Cabos*, porque é limitada pelo Cabo da Roca, a Norte, e o Cabo Espichel, a Sul, e cortada pelo Tejo, um dos principais rios da Península Ibérica.

Como elementos de análise da costa de Cascais temos considerado os vestígios humanos que se relacionam directamente ou indirectamente com a actividade marítima, nomeadamente os sítios arqueológicos subaquáticos, as zonas históricas de naufrágios, os sítios terrestres (fortes, fortalezas, faróis e cruzeiros), os dados de terreno directamente ligados aos aspectos náuticos (toponímia, cartografia, geomorfologia e hidrodinâmica) e o património cultural imaterial (etnografia marítima e tradições religiosas).

O resultado inicial desta análise permite-nos enquadrar estes elementos em várias categorias (cultural, político, económico, defensivo, ambiental, tecnológico). O seu estudo permite correlacionar e compreender a distribuição espacial dos elementos, demonstrando as relações, as dinâmicas e os comportamentos históricos do litoral de Cascais.

De facto, o trabalho já desenvolvido (Freire e Fialho, no prelo), sugere que a combinação dos elementos e das categorias formam uma unidade, que nos permite compreender a organização do espaço marítimo de Cascais como uma *zona de transporte e comunicação (transport zone)*, definida por obstáculos naturais e por outras marcas (defensivas ou religiosas, por exemplo) que auxiliaram a navegação (*transit points*). A diacronia histórica deste espaço marítimo é nos fornecidos pela continuidade de determinadas estruturas, pelos número e local dos naufrágios históricos, pela diversidade de vestígios arqueológicos e pelas tradições locais, nomeadamente ao nível dos costumes e das percepções mentais do mar e da costa.

2.2 A construção do SIG

Tendo como quadro teórico de análise a *paisagem cultural marítima e Arqueologia Costeira* entre o litoral de Cascais e Lisboa, o SIG em desenvolvimento actualmente no CHAM visa integrar dados sobre a utilização humana do espaço no seu quadro natural e geográfico, desde a Idade do Ferro.

As camadas relacionadas com a antropização da costa sistematizam dados arqueológicos e históricos. Entre os primeiros, encontram-se os trabalhos arqueológicos desenvolvidos até à data na área de estudo, os sítios e vestígios existentes. Esta fase inclui por isso trabalho de campo, visando a

georreferenciação de todas as ocorrências patrimoniais existentes, incluindo-se entre estas naufrágios, ancoradouros e outros objectos isolados, sem significado histórico e cultural definido por agora. Na fase de terreno, o SIG assume-se também como um instrumento essencial de planeamento e controle dos trabalhos de mergulho, registando-se, por exemplo, os transectos efectuados (Fig. 1) ou a posição das fotos produzidas.

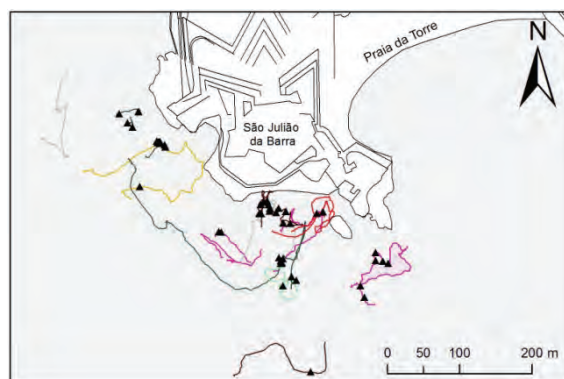


Fig. 1 - A gestão da informação inclui o registo de todos os transectos de prospeção efectuados durante os mergulhos.

Para já, o ProCASC incidiu sobre todos os achados fortuitos registados em processos oficiais e incluiu a prospeção visual em duas áreas específicas – a Guia e o entorno à Fortaleza de São Julião da Barra (Fig. 2). Estes trabalhos são uma fase essencial de construção do SIG, incluindo a realocização e mapeamento, com GPS, e a análise de parâmetros relacionados com estado de conservação, a cronologia e a exposição dos contextos e materiais. Até à data foram georreferenciados 10 naufrágios e 61 ocorrências de carácter patrimonial, com uma cronologia que varia entre os séculos XVII e XX.

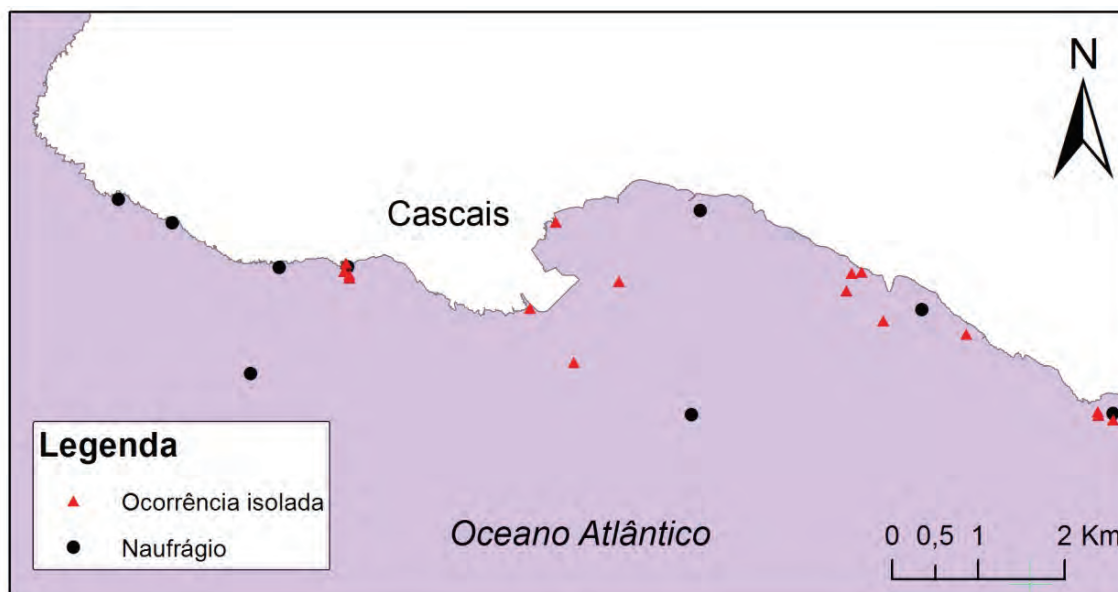


Fig. 2 - Distribuição geral dos naufrágios e outras ocorrências patrimoniais identificadas até 2011.

Outra intervenção arqueológica que merece realce é o trabalho de monitorização realizado, em 2009, nos destroços do navio-escola Pedro Nunes, *ex clipper Thermopylae*, torpedeado ao largo da Baía de Cascais em Outubro de 1907. A natureza multidisciplinar desta intervenção potenciou uma análise comparativa com os trabalhos oceanográficos do Rei D. Carlos, efectuados em 1896 no litoral de Cascais. O mais relevante para este resumo, é o facto de ter sido possível georeferenciar 5 das várias estações de recolha efectuados pelo monarca. Mais concretamente, as estações 2,3,10, 11 e 18A permitiram, cruzando com factos da época e com dados produzidos durante 100 anos, chegar a uma nova interpretação do afundamento do *ex-clipper*. A nova hipótese de trabalho leva-nos a suspeitar que navio tenha sido afundado com objectivo de criar uma barreira contra a prática intensiva da pesca de arrasto e/ou para o estabelecimento de um recife artificial capaz de fixar o biótopo local (Freire *et al*, 2009).

Os dados históricos abrangem e sistematizam as informações escritas e orais sobre diversos eventos (naufrágios, por exemplo), com potencial de registo material no território. Sem dados geográficos precisos, a análise espacial destas fontes baseou-se na distribuição dos eventos por zonas. O litoral de Cascais foi assim dividido em 9 zonas (Guincho, Cabo Raso, Oitavos, Guia, Santa Marta, Baía de Cascais, Estoril, Parede e Carcavelos), seguindo os critérios da divisão concelhia e dos locais destacados da costa. No mar, estas zonas foram limitadas pela batimétrica dos 50 m. Até agora, foram registados nas fontes escritas perto de 200 naufrágios em épocas históricas, concentrados sobretudo em Carcavelos, no Cabo Raso e na Baía de Cascais (Fig. 3).

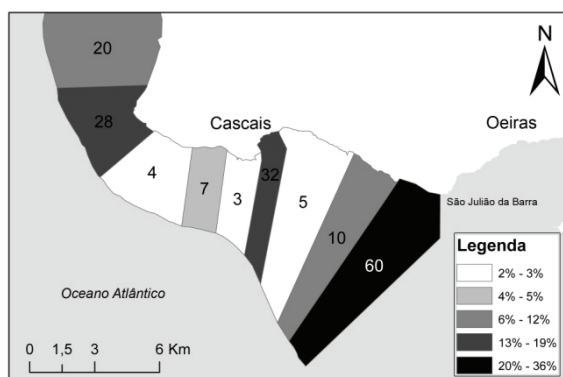


Fig. 3. Distribuição, por zona, do número e percentagem do total dos naufrágios históricos registados no litoral de Cascais.

O SIG inclui também a cartografia histórica e a fotografia antiga. A cartografia mais recente é sempre que possível georreferenciada e vectorizada para extrair a informação mais relevante – rotas, linha de costa, toponímia ou *conhecenças*. Ambas as fontes permitem estudar a evolução e o significado da toponímia actual do litoral, incluindo a

relacionada com os pescadores, que guardam a visão tradicional dos lugares pelos utilizadores do espaço marítimo.

A análise da utilização humana do espaço faz-se sobre o seu quadro natural e geográfico, incluindo-se por isso no SIG informação geral sobre a geologia, batimetria, tipo de fundo, correntes ou ondulação, e dados específicos relacionados com trabalhos arqueológicos de prospecção com meios geofísicos, que na área de estudo incluem vários levantamentos com sonar de varrimento lateral e por magnetometria.

Um dos requisitos para a construção e gestão deste SIG tem a ver com a sua operacionalidade, num quadro científico debruçado essencialmente sobre problemáticas históricas e de gestão patrimonial. Este quadro obriga à simplificação do sistema, evitando dependências técnicas em relação a fornecedores externos e/ou a formação especializada da equipa do CHAM. Optou-se, por isso, por utilizar *softwares* existentes no mercado, em vez de desenvolver novos produtos. Nesta fase, a compilação dos dados é efectuada com o *Site Recorder 4*, um sistema de informação desenvolvido especificamente para arqueologia marítima (Holt, 2007). Este permite a migração dos dados em vários formatos e a sua posterior integração e análise em SIG mais poderosos, utilizados por exemplo em análises espaciais. Esta migração permite também a sua introdução em sistemas de informação das entidades de tutela, como o *Endovélico* ou o *In Patrimonium*.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A informação recolhida no quadro do projecto de Carta Arqueológica Subaquática de Cascais visa contribuir para a gestão do território e para a análise da ocupação humana da costa.

A sua organização em formato SIG permite integrar o PCS nos instrumentos de ordenamento e de gestão actual do território (como o Plano Director Municipal) e na avaliação do seu potencial científico e patrimonial.

Com a continuidade deste projecto, prevê-se também poder avaliar o impacto de actividades marítimas e portuárias, de obras e do meio-físico sobre o PCS.

Agradecimentos

O ProCASC tem sido desenvolvido desde 2006, a partir de 2011 ao abrigo de um protocolo entre a Câmara Municipal e o CHAM. Os autores agradecem ao Dr. António Carvalho e à Dra. Jacinta Bugalhão pelo apoio e esforço no incremento do projecto.

REFERÊNCIAS

Alonso Villalobos, C, Benítez López, D., Márquez Carmona, L., Valiente Romero, A., Ramos Miguélez, S. e Martínez del Pozo, J. (2007).

- SIGNauta: un sistema para la información y gestión del patrimonio arqueológico subacuático de Andalucía. *PH: Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, n.º 63, 26-41.
- Bradford, J., Russell, M., Murphy, L. e Smith, T. (2003). *Yellowstone National Park Submerged Resources Survey*. National Park Service, Santa Fe.
- Divisão de Inventário do Instituto Português de Arqueologia (2002). Endovélico Sistema de Gestão e Informação Arqueológica. *Revista Portuguesa de Arqueologia*, volume 5, número 1. 277-283.
- Freire, J., Blot, J-Y.; Vieites, A., Fialho, A. Reicherdt, F. (2009) Missão de avaliação e levantamento do sítio submarino do *clipper Thermopylae*. In *Revista Portuguesa de Arqueologia*, vol. 12, nº1, 221-244.
- Freire, J., Fialho, A. (no prelo) Paisagem Cultural Marítima. Uma primeira aproximação ao litoral de Cascais. In *Velhos e Novos Mundos. Congresso Internacional de Arqueologia Moderna*. Centro de História de Além-Mar, da Universidade Nova de Lisboa e a Universidade dos Açores.
- Ford, B. (2011). Coastal Archaeology. In Catsambis, A., Ford, B. Hamilton, D.L. (Eds), *The Oxford Handbook of Maritime Archaeology*. Oxford University Press, 763-785.
- Holt P. (2007). *Development Of An Object Oriented GIS For Maritime Archaeology*. Disponível em: <http://www.3hconsulting.com/publications.html>. Acedido a 2 de Maio de 2012.
- Hootsen, H. Dijkman, W. (2009). Building a Geographical Information System in Machu. In M. Manders, R. Oosting e W. Brouwers (eds). *MACHU Final Report*. Educom Publishers BV, Roterdão, 16-30.
- Westerdahl, C. (1992). The Maritime Cultural Landscape. *The International Journal of nautical Archaeology* 21(1), 5-14.

RAIA Observatory: Visualization of Oceanographic Data under INSPIRE Directive

B. Vila (1), A. Gómez (1), C. Cortizas (2), P. Díaz (2), M. Hermida (2), M. A. Oliveira (3), A. Rocha (3) e X. Méndez (4)

- (1) INTECMAR - Instituto Tecnolóxico para o Control do Medio Mariño de Galicia. proyectoraia@intecmar.org.
- (2) MeteoGalicia. Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Infraestruturas. Xunta de Galicia.
- (3) INESC Porto - Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores do Porto.
- (4) Computer Architecture Group, University of A Coruña.

Abstract: One of the main goals of RAIA Project is to incorporate the requirements defined by the European Directive INSPIRE, which establishes an infrastructure for spatial information in Europe to support Community environmental policies and activities, in order to ensure that the spatial data infrastructures collected by the oceanographic observatory for the northwest Iberian Peninsula are compatible and usable. Through a single interoperable platform, RAIA Observatory will allow the public access to the information gathered by the oceanographic network. This platform is based on the use of solutions that implement standards defined by the Open Geospatial Consortium (OGC), such as WMS (Web Map Service), WFS (Web Feature Service) and WCS (Web Coverage Service). RAIA Project also includes other types of products that use specific protocols, such as OPeNDAP or Thredds, which are widely known and used by the oceanographic community.

Keywords: RAIA Observatory, INSPIRE, OGC, THREDDS, OPeNDAP, WMS, WFS, SOS, SDI.

1. INTRODUCTION

Oceans are dynamic and changing systems, source of resources and place for increasing human activities. Such activities can gain momentum if provided with accurate and timely information. Several agencies and public organizations operate systems for oceanographic observation and forecasting. Data outputs resulting from these systems are often not easily accessible due to the fact that they are neither shared in standard data formats, nor easily accessible in the scope of the environments where they currently exist. INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in the European Community) is a directive for strengthening the EU ability to share environment spatial information among public sector organizations and facilitate public access to spatial information across Europe. This directive (under its annex III) specifically addresses oceanographic and meteorological geographic features among its themes. Public organizations and governments must tackle this challenge and make it possible to discover, view and share in compatible and usable ways meteorological and oceanographic data. This situation requires the definition of common strategies in the scope of multi-organizational initiatives to implement Spatial Data Infrastructures (SDIs) enabling interoperable access to the spatial data themes under these categories. The Open Geospatial Consortium (OGC) plays an important role in the definition and adoption of a set of service implementation specifications and data encodings that constitute the building blocks of INSPIRE's proposed SDIs. Public commitment with OGC outputs made them *de facto* standards when dealing

with geographic information. Actually a subset of OGC standards were incorporated in the ISO 19100 series. Table 1 presents some of the aforementioned standards, highlighting some of their advantages and weaknesses.

RAIA is an EU co-funded project joining 12 partners from Galicia (north-west Spain) and north Portugal to develop and maintain an ocean observatory for northwest Iberian oceanic region, an area where marine resources have a huge relevance to the socio-economic scope. The project involves partners with operational, technological and scientific background allowing them to consolidate previous works on ocean modelling and observation networks. Moreover, this heterogeneous collaboration allows the project to address scientific goals towards a better understanding of the ocean and to tackle technological and (data) governance barriers with the aim of producing results potentially applicable to a broad range of marine activities. The main technological goal is to develop an interoperability platform, supported on a SDI, according to the INSPIRE directive guidelines, ensuring that all data produced is publicly available in compatible and usable ways.

2. JOINING TWO WORLDS

One particular feature of this SDI is that it aims at bridging the gap between two communities: GIS community where OGC standards are widely accepted but mainly designed for static geographic information and Earth and Ocean Science (EOS) community that uses a diverse collection of data formats and sources and its own set of tools to display and analyse information.

Standard	Advantages / Uses	Weaknesses
OGC WMS Web Mapping Service	<ul style="list-style-type: none"> Many technologies support WMS Wide client side support Good for server-side rendering of large datasets ncWMS allows WMS implementation for gridded data managed with THREDDS 	<ul style="list-style-type: none"> Returns a "picture", no actual data GetFeatureInfo spec does allow access to data but not widely implemented Symbolology and legends are complicated Inconsistent projection implementation Time specification is included in WMS but is still not widely supported by servers and clients
OGC WCS Web Coverage Service	<ul style="list-style-type: none"> Useful for uniform rectangular grids 	<ul style="list-style-type: none"> Not widely supported on servers and/or clients No support for unstructured and non-uniform grids
OGC WFS Web Feature Service	<ul style="list-style-type: none"> Very flexible Provides all relevant information for data Allows for custom client-side rendering and analysis Extensible 	<ul style="list-style-type: none"> Not practical for large amounts of data Poor client support, not widely supported Requires a sophisticated client application
KML Keyhole Markup Language	<ul style="list-style-type: none"> Very flexible and practical Provides all relevant information for data Widely used, supported by Google Earth and Google Maps so easy to deploy 	<ul style="list-style-type: none"> Not practical for very large amounts of data Creating KML for complex symbols (e.g. rotating vectors) not simple Google Maps (thin client) support for KML is very weak so need to use Google Earth for full KML support Not well supported by other GIS clients
OGC SOS Sensor Observation Service	<ul style="list-style-type: none"> Growing adoption as part of Sensor Web Enablement (SWE) Provides consistent methodology to share sensor data Ideally suited for sharing data between sensor and data assembly center 	<ul style="list-style-type: none"> No widespread client support Verbose so not practical for large amounts of data
OGC GML Geography Markup Language	<ul style="list-style-type: none"> Consistent method to encode geographic information in an XML schema Good client support, especially in open source mapping community 	<ul style="list-style-type: none"> Verbose so not practical for large amounts of data
Gridded data NetCDF, GRIB, HDF	<ul style="list-style-type: none"> Served by OPeNDAP/Thredds so allows for subsetting and distribution Very efficient for large data volumes Expanding use for non-gridded data such as drifters Wide client support in science community Growing support in GIS community ncWMS allows WMS support for the data 	<ul style="list-style-type: none"> Java library is very mature – C library is lagging behind No support from mass market viewers (Google Earth etc.) Support in ESRI tools is limited No support for unstructured grids yet

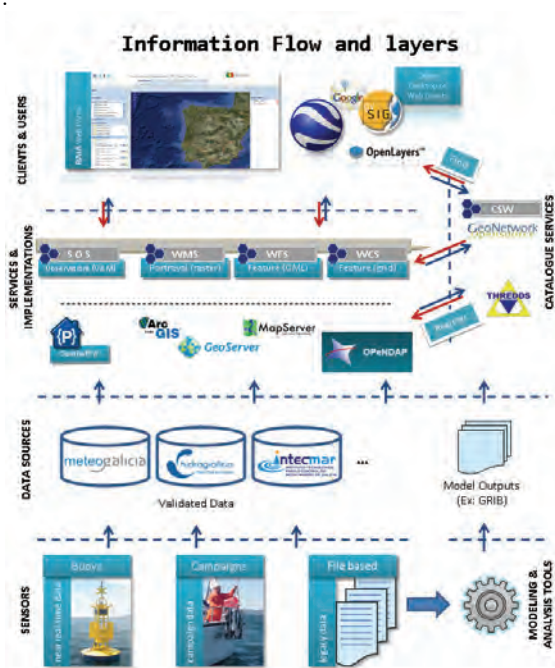


Figure 1. Information flow and layers in RALA project.

Most common protocols to share scientific data are OPeNDAP Data Access Protocol (DAP) and THREDDS Data Server (TDS) which is the catalogue service of choice for the EOS community. The TDS can catalogue and harvest the OPeNDAP, and provides access to datasets in any of the Unidata's Common Data Model (CDM) supported formats: GRIB, NetCDF, and HDF,

among others (through the OPeNDAP protocol). Also, given the efforts of convergence between both communities, most recent implementations of TDS provide a subset of OGC standard implementations for data access, namely WMS and WCS, which could then be catalogued by means of an OGC Catalogue Service (CSW).

Besides these efforts, experience demonstrated that the task of cataloguing and automatic harvesting TDS datasets is not trivial due to the form how these are provided (as Web Accessible Folders) and respective metadata contents in the TDS.

3. ORGANIZATION

RAIA project also has among its objectives to develop an interoperability platform which disseminates the data collected by several real-time sources, such as mooring buoys, HF Radar maps, and satellite maps.

From the system architecture perspective this platform, as can be depicted in Figure 1, can be divided in several layers:

1. Layer of "sensors", comprising near-real time data, campaign data and other kinds of file based data.
2. Layer of data sources, where each provider stores and maintains its own data.
3. Layer of services. This layer depicts the standard interfaces used to find and serve data (mainly georeferenced information) and some of the implementations of the standards actually used in the project.

- Layer of clients. Client software is used to find, query and portray data. RAIA portal (www.observatorioraia.org) is currently the main client user interface tool used to reach and assemble georeferenced oceanographic information from the Web that is available in the context of the Observatory. However, since the services layer provides data through standard interfaces, other clients can likewise access, integrate and query the provided data.

Layer separation allows a clear assignment of responsibilities among system components. Furthermore, heterogeneous data sources can be merged together in the same geographic view, simplifying analysis by contributing to an enhanced perception of ocean dynamics.

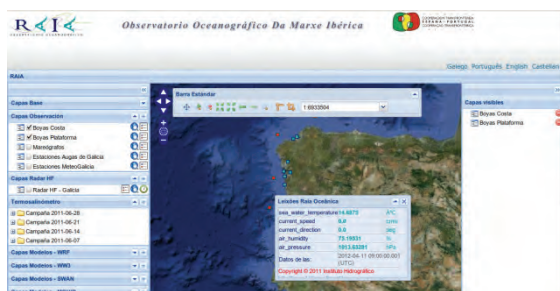


Figure 2. Request to SOS data.

4. RAIA PROJECT ACHIEVEMENTS

In the early stages of the project general guidelines to implement data integration technologies were supplied to all project members enabling them to provide data access through OGC and TDS protocols. Besides, the implementation of the interoperability platform required the design of a robust and flexible multi-tier architecture where all members' data services had to fit. After two years of development outstanding data integration implementations have already been developed and deployed:

- Several project partners provide numerical forecast data, both oceanographic and atmospheric, through THREDDS and OPeNDAP servers.
- Radar HF data and imagery are available through OPeNDAP and WMS protocols.
- Collected data from research vessels alongside the Galician coast can be requested through WMS and WFS.
- Data from moored buoys is available through OGC Sensor Observation Service (SOS) and different XML web services (see Figure 2).
- An OGC Catalogue Service (CSW) is also available to provide a common interface to discover, browse and request metadata about the platform services and datasets.

Several of these services are released under an open source license and all are accessible through the RAIA Observatory website.

Specific requirements for data storage and sharing were studied, such as observations made with sensors attached to mooring buoys. Some of these requirements were the capability of simultaneously observing the same phenomenon with different equipment and, eventually, at the same height (or depth); the existence of observations of the same phenomenon, with the same equipment, made simultaneously at different depths (or heights), as an example the multi-sampling of observation along a column of water; the existence of composite phenomena, i.e. the conceptual aggregation of several variables to one single phenomenon; the ability to dynamically reflect changes introduced during campaigns to equipment attached to buoys, maintaining the coherence of new observations with previously stored data collections; and the ability to optionally integrate a validation value, resulting from the observation procedure, to each observation stored.

A Sensor Observation Service (SOS) was implemented to respond to such requirements. This SOS was built upon the work from an open source initiative and, among others, most important implementations were made at the physical model of the relational database and to the conceptual scheme of the SOS offerings and observations.

Although the OGC Observations and Measurements (O&M) standard encoding contains the generic structure to accommodate the structure of observations in any domain, it lacks community-specific semantics. Specific profiles such as the WaterML for the hydrological community may help increasing the adoption of this standard

Other initiatives such as the BODC Parameter Ontology Project are also contributing to bridge this gap by linking the BODC Parameter Discovery Vocabulary, the CF Standard Names and the GCMD Science Keywords

The development of a general web application (depicted in Figure 3) is also an achievement of this project that lets the end user discover, visualize and download data directly from distributed and heterogeneous data sources provided and maintained by project partners. This web application provided a basic tool for the development of sectorial web applications that enable the creation of added-value information directed to the specific communities.

The availability of all those services facilitates the development of tailored products for specific activities and end users.

A tool for ports and fishers' organisations (<http://www.meteogalicia.es/web/tablasMaritimas/index.action>) produces daily sea-forecast reports for their main activity spots. The goose barnacle fishers' application (ww3.intecmar.org/percebeiros)

is a support decision tool which allows catchers to monitor current sea conditions and forecast for the next hours and days.

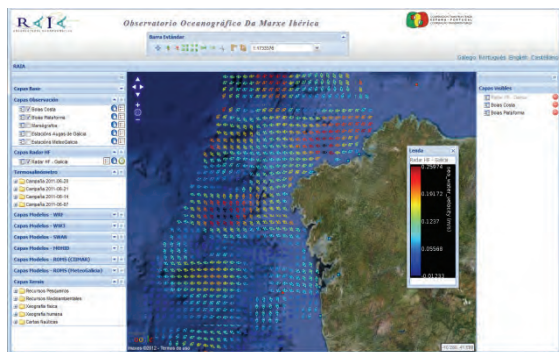


Figure 3. Screenshot of www.observatorioraia.org.

These tools proof the direct impact of RAI A Observatory in human activities on the sea, and show that the platform interoperability is an invaluable asset in local economies.

5. FUTURE WORKS

Despite the amount of services and tools developed, RAI A still faces many challenges. Some of them come from identified inefficiencies of the OGC protocols when dealing with scientific data and the dynamism of those protocols in order to adapt to the EOS community needs. But the primary challenge is to deliver an actual base of services, tools and knowledge allowing general public to use and understand the large quantities of data produced and collected within the project. To sum up, provide society a better approach of how our ocean works.

In fact, the project RAI A.co is launched as a follow-up of RAI A project in 2011. It will last until the end of 2013 and its main aim is to consolidate operational oceanography on the Iberian margin and the coast of the Euroregion North of Portugal – Galicia. For this, it will increase and enhance the services offered up to now by the RAI A observatory.

Specifically, the new version of the project's website (<http://www.marnaraia.org>) will provide a friendlier and more intuitive environment. It will allow the users to register and to customize the search queries according to group profiles of final users potentially concerned who belong to different social and economic sectors (e. g. scientific, sports, fishing profiles). Every profile will load predefined modules and layers in the views which may be considered more useful for the sector it belongs to.

REFERENCES

- BODC Parameter Ontology Project [online]
Available at
<https://marinemetadata.org/references/bodcparamont>
[Accessed 27 March 2012]
- European Parliament, Council. (14, Mar., 2007). Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE). *OJ L 108, 25.4.2007, p. 1–14*.
- Open Geospatial Consortium | OGC®. (1994). OGC® Standards and Supporting Documents [online]
Available at
<http://www.opengeospatial.org/standards>
[Accessed 28 March 2009]
- OPeNDAP. (2008). Hyrax Data Server [online].
Available at
<http://www.opendap.org/download/hyrax>
[Accessed 15 July 2010]
- PySOS: Generic SOS Server for RDBMS [online]
Available at
<http://www.oostethys.org/downloads/sos-cookbook-python>
[Accessed 24 May 2010]
- Rocha, A., Cestnik, B., & Oliveira, M. (2005). Interoperable geographic information services to support crisis management. *Web and Wireless Geographical Information Systems*, 246–255. Springer.
- THREDDS Project [online]
Available at
<http://www.unidata.ucar.edu/projects/THREDDIS/>
[Accessed 15 July 2010]
- WaterML 2.0 Standards Working Group [online]
Available at
<http://www.opengeospatial.org/projects/groups/waterml2.0swg>
[Accessed 27 March 2012]

Specific forecast for barnacle fishing using OGC protocols

B.Vila (1), A. Gómez (1), P. Montero (1), G. Ayensa (1) e S. Allen-Perkins (1)

(1) INTECMAR - Instituto Tecnológico para o Control do Medio Mariño de Galicia. royectoraia@intecmar.org.

Abstract: The goose barnacle, *Pollicipes pollicipes*, is an intertidal cirripede that lives attached to rocks on very exposed shores. Its harvesting is one of the most dangerous activities, since fishermen have to collect barnacles dodging incoming waves. To help this sector, a specific tool was developed during EU POCTEP RAIA project. First, forecast is focused on the temporal range when fishermen are permitted to harvest barnacles. Second, forecast is specific for collecting areas. Finally, the most important magnitudes for the security of fishermen are generated: wave height, direction, wind and so on. In order to generate this forecast, several model outputs from MeteoGalicia are used. This information is gathered and represented in a geospatial web application: <http://ww3.intecmar.org/percebeiros>

Keywords: RAIA Observatory, Goose barnacle, OGC, WMS, GIS, Forecast, WRF, WaveWatchIII, SWAN.

1. INTRODUCTION

The goose barnacle, *Pollicipes pollicipes*, is an intertidal cirripede that lives attached to rocks on very exposed shores, forming dense aggregations. It occurs in the Northeast Atlantic from around 48°N at Britain (France) to 14°N at Senegal (Molares and Freire, 2003).

Although the harvesting technique for goose barnacles is simple, it is also one of the most dangerous economic activities, since they grow in locations where it is both difficult and unsafe to harvest by boat. This forces the fishers swimming to them, timing his approach to their rocky location to sit in with the swell and ebb of the waves. The other alternative is to abseil down cliffs which can also be extremely risky. Barnacle fishermen deaths were up to 8 percent of fishermen mortal accidents in Galicia between 1991 and 2009 (ARTAI, 2010). The specific forecast of the most important parameters for this sector as height waves, could be a very useful tool in order to reduce this number.

Project RAIA and RAIA.co (funded by the EU through the “Programa Cooperación Transfronteriza España-Portugal”) aims to develop a solid and cross-frontier ocean observatory network along the Iberian Margin, based on monitoring by oceanographic-meteorological platforms and on the prediction of the ocean environment through the use of numerical models. One of the challenges of RAIA is the dissemination of these measurements and forecast using international standards (mainly provided by Open Geospatial Consortium, Inc, OGC). Another important result of this project is to demonstrate the usability of these data by creating tools for specific end-users. Regarding this, a web tool for providing specific weather and marine forecast to barnacles’ fishermen was developed.

In order to obtain the forecast, several meteorological and wave models outputs were used.

These models are running everyday and their outputs are served by web.

Goose Barnacle Forecast Tool gathers the needed information and shows the forecast for specific barnacle’s fishing areas. This tool was designed following OGC standards, which provides web services to make maps and data available in an open, internationally recognized format over the web to anyone with a supported client application. Since these protocols are widely used, the curve of development of new tools or/and the use of other sources of data are very rapid and robust.

2. BACKGROUND

2.1. Tool Design

Barnacle fish activity is regulated by Galician law “Decreto 15/2011 de 28 de enero de la Comunidad Autónoma de Galicia”, which establishes barnacle goose fishers’ working hours from two hours before high tide until two hours and a half later. Besides, the areas of activity are defined by fishermen’s associations, since permission is needed to collect barnacles.

The design of this tool takes into account the following points:

- Forecast is focused on the temporal range when fishermen are permitted to collect barnacles.
- Forecast is specific for collecting areas.
- Forecasted variables are the most important magnitudes for the security of fishermen: wave height, direction, frequency, tide, wind and so on.

2.2. Model Forecast

MeteoGalicia, Meteorological Agency from the Government of Galicia, provide several model outputs every day. These models are meteorological models, oceanographic models and wave models. Regarding to meteorological models, ARW-WRF

model (Skamarock and Klemp, 2008) is running for Galician area with a grid of 4 km space step. Some reviews of the model (parameters, operative run) were carried out in order to adapt it to Galician area. Some variables provided by WRF are surface wind and air temperature.

In relation to wave models, two spectral models are run by MeteoGalicia:

- WaveWatchIII is used on offshore area. WaveWatchIII (Tolman 1997, 2009) is a third generation model developed by NCEP/NOAA (National Centers for Environmental Prediction). It is applied all over the Galician region with a 2.5' (~4km) space step for the finest grid.
- SWAN model runs on two coastal areas: Rías Baixas (500 m space step) and Artabro Gulf (250 space step). SWAN is a third-generation wave model developed at Delft Technical University (Booij et al. 1999, Ris et al. 1999). It incorporates the physical processes of refraction, shoaling, wave breaking, bottom friction, nonlinear wave-wave and wind set-up.

Thus, SWAN fits better to coastal and inshore areas than WaveWatchIII does. WaveWatchIII and Swan grids on Artabro Gulf and Rías Baixas areas are shown in figures 1 and 2.

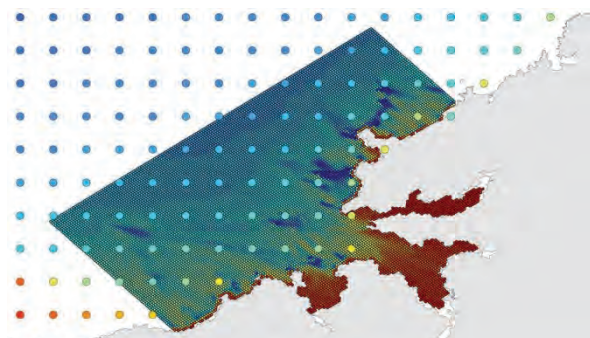


Fig. 1. WaveWatchIII and SWAN grids on Artabro Gulf. Colours mean significant height.

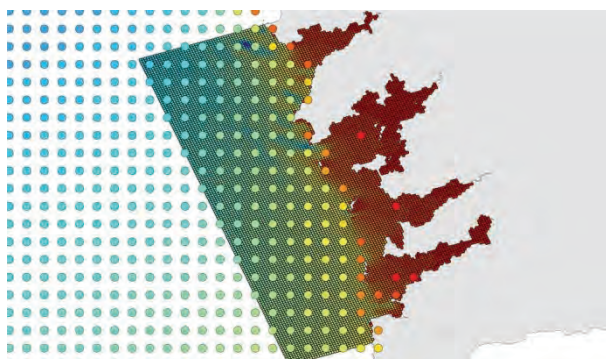


Fig. 2. WaveWatchIII and SWAN grids on Rías Baixas. Colours mean significant height.

Both WaveWatchIII and SWAN model provide outputs of significant height, period and direction of forecasted waves.

Another needed forecasted variable is the time of low tide, since it will be the variable to fix the period of working hours for barnacles' fishermen. MeteoGalicia, by means of data from the tidal gauges of Puertos del Estado, provides a tide table with the heights and time of the astronomical tide for every year.

3. METHODOLOGY AND RESULTS

3.1. Procedure to obtain Warnings.

For the reasons stated below, let's detail the geoprocess creation of the wave warnings' layer that will define more and less dangerous fishers' working areas.

Everyday in the early morning, a working period for each area is calculated from low tide forecast. Afterwards a data subset from each model is downloaded and converted to shapefile format according to temporal range when fishers are allowed to work that day.

A geographical buffer off barnacles harvesting areas is generated according to the model's grid cell size: the higher ratio buffer, the lower model's resolution. It is important to notice that finest grid model will be used in those goose barnacle areas covered by several model.

Several significant variables are calculated for each area and day. They are: maximum height wave, maximum wind intensity, minimum air temperature and minimum water temperature. In order to determine them, only nodes included in the buffer areas as well as the period of working hours are considered. Secondary variables as wave direction, wave peak period or wind direction are set at the same node where significant variables were fixed. This geo-procedure runs for next three days. Figure 3 shows a schema of this procedure for waves using WaveWatchIII model.

3.2. Serving the data

Once the three wave warnings' layers are ready, the map server is updated offering these layers through an OGC-WMS service. According to the significant wave height, a ramp colour is defined WMS is a standard protocol for serving georeferenced map images over the Internet that are generated by a map server using data from a GIS database.

Within the framework of this web application, the server chosen was Mapserver. The main reasons for this choice were its velocity response and efficient scripting when updating OGC-WMS service.

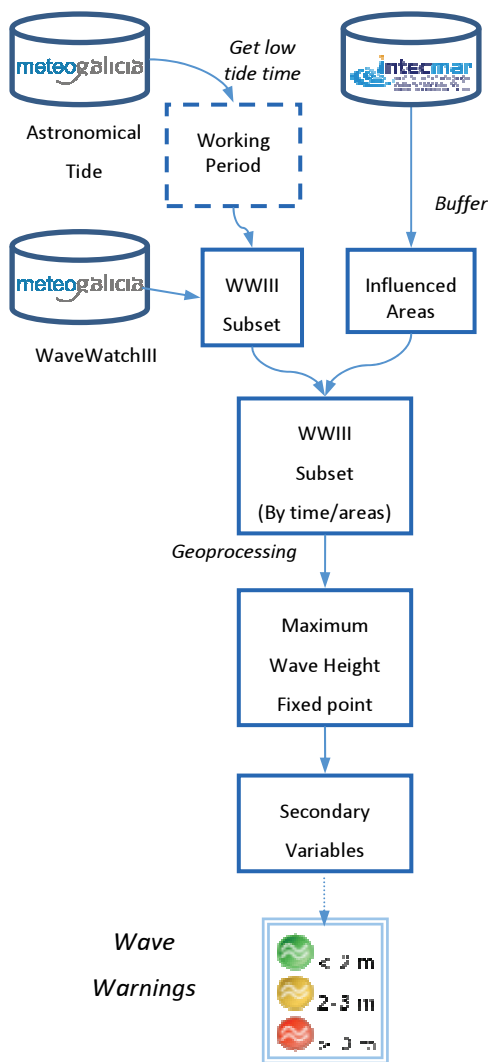


Fig. 3. Procedure schema for calculating wave warnings using WaveWatchIII model.

3.3. Web tool

A geospatial web application was developed to display these results:

<http://ww3.intecmar.org/percebeiros>



Fig. 4. Screenshot [www3.intecmar.org/percebeiros](http://ww3.intecmar.org/percebeiros).

This Web tool was programmed in *JavaScript*. One of the advantages of this language is that it is characterized by its portability, which facilitates the joint programming with other teams. The Web application framework chosen for the development of this website was *ASP.NET*.

Besides, *JavaScript* libraries such as *Sencha* (former *Ext.js*), *OpenLayers* and *GeoExt* were used, since they provide special functionalities for this sort of Web browsers where map data is displayed.

As said previously, the forecast prediction is represented by an OGC-WMS layer. The information about a specific warning is fetched via a "GetFeatureInfo request", which provides feature information by identifying a point on a map based on its pixel location. This information is shown in the right panel.

This panel also shows the tide table corresponding to each selected fishermen's associations and prediction day.



Fig. 5. Information from a selected warning.

4. CONCLUSIONS

Real-time data distribution is increasing in many fields, particularly in weather forecast. An important effort is carried out by many institutions in order to gather data and model forecasts in coherent systems. At the same time, the availability of GISs via the Web is becoming a reality in many fields. In order to achieve this objective, many major institutions are moving OGC products and data to the Web. Concerning oceanographic data at Galicia area and North of Portugal, this is one of the most important tasks of RAI A project.

Since many times, raw data has a limited value, other important challenge is to use disparate information from several partners and gather them together to build add-value tools for specific end-users. As a demonstration, a specific forecast web tool for barnacle fishermen was built. To fulfil this goal, this tool exploits recent networking technology to permit specific users, in this case, barnacles

fishermen, obtain delivery of the desired met-ocean prediction needed for their activities in near real-time.

This tool proves web interoperability is an efficient way to provide new add-value products from several sources of data, as long as providers upload information to the Cloud using OGC standards.

Acknowledgments

The authors gratefully acknowledge funding through project RAIA (0313_RAIA_1_E) and RAIA.co (0520_RAIA_CO_1_E). Special thanks go to Fernando Domonte and José Molares for their collaboration.

REFERENCES

ARTAI (2010). Informe sobre a evolución da siniestralidade de accidentes no mar 1991-2009. *Internal report*.

Booij, N., Ris, R.C. and Holthuijsen, L.H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions, Part I: Model description and validation, *J. Geophys. Res.* Vol. 104, C4, 7649-7666.

Consellería do Mar. Xunta de Galicia. (28, Jan., 2011). Decreto 15/2011, de 28 de enero, por el que se regulan las artes, aparejos, útiles, equipos y técnicas permitidos para la extracción profesional de los recursos marinos vivos en aguas de competencia de la Comunidad Autónoma de Galicia. *Diario Oficial de Galicia*. 31, 2542.

European Parliament, Council. (14, Mar., 2007). Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE). OJ L 108, 25.4.2007, 1–14 (BG, ES, CS, DA, DE, ET, EL, EN, FR, IT, LV, LT, HU, MT, NL, PL, PT, RO, SK, SL, FI, SV).

Molares, J., and Freire, J. (2003). Development and perspectives for community-based management of the goose barnacle (*Pollicipes pollicipes*) fisheries of Galicia (NW Spain). *Fisheries Research* 65, 485–492.

Open Geospatial Consortium | OGC®. (1994). OGC® Standards and Supporting Documents [online]. Available at <http://www.opengeospatial.org/standards> [Accessed 28 March 2009].

OPeNDAP. (2008). Hyrax Data Server [online]. Available at <http://www.opendap.org/download/hyrax> [Accessed 15 July 2010].

Ris, R.C., Holthuijsen, L.H. and Booij, N. (1999). A third-generation wave model for coastal regions,

Part II: Verification, *J. Geophys. Res.* Vol. 104, C4, 7667-7681.

Skamarock W.C., Klemp J.B. (2008). A time-split nonhydrostatic atmospheric model for weather research and forecasting applications. *Journal of Computational Physics*, 227 (7), 3465-3485.

Tolman, H.L. (1997). User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.15. *NOAA / NWS / NCEP / OMB Technical Note* 151, 97.

Tolman, H.L. (2009). User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 3.14. *NOAA / NWS / NCEP / MMAB Technical Note* 276, 194 plus Appendices.

Tecnologias do Mar e Engenharia Oceanográfica

Consequências técnico-científicas da extensão da plataforma continental – O potencial ganho

T. Fernandes(1) e A. Campos(2)

(1) CINA V (chagas.fernandes@marinha.pt)

(2) EMEPC

Resumo: O projeto de extensão da plataforma continental, devido ao seu interesse nacional, contribui para o incremento de diversas vertentes associadas ao potencial deste novo espaço marítimo. Desde a importância sócio-económica e geopolítica deste espaço, passando pela sua forçosa implicação técnico-científica, este projeto irá certamente marcar os destinos de Portugal para o regresso ao mar.

Numa fase introdutória, será mencionado sucintamente o conceito de plataforma continental jurídica desde o seu aparecimento até aquele que é reconhecido pela Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar. Serão também referenciados os principais intervenientes que proporcionaram a realização deste projeto e as áreas de domínio técnico-científico que disponibilizaram. Ao nível de instalação de capacidade tecnológica, pretende-se avaliar as funcionalidades acrescidas dos equipamentos adquiridos.

Finalmente, este trabalho apresenta, em modo quantitativo, o potencial técnico-científico ganho com a realização deste projeto, referenciando de forma clara o salto tecnológico e as novas capacidades instaladas ao nível das tecnologias do mar.

Palavras chave: Plataforma continental, Capacidade técnico-científica, EMEPC.

1. INTRODUÇÃO

O conceito de plataforma continental teve os seus primórdios nos meados do Século XIX. Desde então, esse tema tem ganho cada vez mais interesse por parte dos estados costeiros, não apenas pela possibilidade do aumento significativo do território, mas essencialmente pelo enorme potencial que escondem os fundos oceânicos (EMEPC, FDUP, CIMAR; 2006). Para que esse potencial possa ser valorizado, são necessários meios para os explorar, tornando-se o projeto de extensão da plataforma continental uma excelente oportunidade para investir e equipar com nova tecnologia de capacidade hidro-oceanográfica.

Portugal, com a ratificação da Convenção das Nações Unidas Sobre o Direito do Mar (CNUDM) iniciou o processo para estender a sua plataforma continental, abrindo uma janela para o aparecimento de novo conhecimento, novas tecnologias do mar e capacidade de exploração oceânica. Este projeto teve o envolvimento de diversos institutos, laboratórios, universidades e fundações, razão pela qual é considerado um projeto nacional, que tem ganho cada vez mais importância. Prova disso, é o facto de atualmente existir uma secretaria de Estado dedicada ao mar, assim como a inclusão deste tema na nova lei orgânica do Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território (MAMAOT), estando-lhe atribuído o acompanhamento, junto das Nações Unidas do projeto de determinação do limite exterior da plataforma continental, até à conclusão do processo (DL N°07/2012).

2. ENQUADRAMENTO DO PROJETO

Portugal iniciou os preparativos para estender a sua plataforma continental para além das 200 milhas náuticas, com a ratificação da CNUDM, em 1997, tendo um ano depois, em Junho de 1998, criado a Comissão Interministerial para a Delimitação da Plataforma Continental (CIDPC). Esta comissão, liderada pelo director-geral do Instituto Hidrográfico, foi criada com o objetivo de estudar a viabilidade do alargamento da plataforma continental, em articulação com a Comissão Oceanográfica Internacional e sob a dependência dos Ministros dos Negócios Estrangeiros, da Defesa Nacional, da Economia e da Ciência e da Tecnologia (RCM N°90/98).

Com um prazo limitado para apresentar um projeto de investigação interministerial, logo no final do ano da sua criação, a CIDPC iniciou os trabalhos, tendo apresentado um relatório intercalar em Março do ano seguinte. Nesse relatório foram identificadas as necessidades e algumas medidas essenciais para a execução desse projeto: surgiu a opção de utilizar navios de aluguer ou de equipar tecnologicamente navios nacionais e a identificação da necessidade da definição de uma estrutura supra-ministerial, com a constituição de uma equipa para a execução desse projeto. Em 2002, através desse relatório, iniciou-se um *Desktop Study*, envolvendo duas fases distintas, uma dedicada à compilação de dados e outra que assentou na análise da situação. Destas fases, resultaram a constituição de um grupo de trabalho da base de dados da plataforma continental (GTBDPC) e um

segundo grupo de trabalho, com a missão de elaborar um relatório que assentasse na avaliação dos dados obtidos, fundamentando-se nos aspectos técnico-científicos e jurídico-políticos.

Apesar do já avançado trabalho que tinha vindo a ser feito pela CIDPC, esta sugeriu que a continuidade deste projeto fosse entregue a uma estrutura organizacional autónoma, com capacidade de promoção, coordenação, condução e acompanhamento dos trabalhos que fossem necessários, dotando essa estrutura de recursos humanos e financeiros adequados para conseguir dar continuidade a esse projeto (EMEPC; 2007). Foi então, em Novembro de 2004, e pela RCM n.º 9/05, criada a Estrutura de Missão para a Extensão da Plataforma Continental (EMEPC), com a missão de elaborar uma proposta de extensão da plataforma continental portuguesa à Comissão dos Limites da Plataforma Continental (CLPC) até 13 de Maio de 2009. Contudo, até esta data muitos e importantes passos foram dados, destacando-se a adaptação do navio oceanográfico NRP *D. Carlos I*, com o apoio da CIDPC (2001 a 2004), proporcionando um meio fundamental para que em 2005 a EMEPC, conseguisse iniciar os primeiros levantamentos hidrográficos a sudoeste da Madeira. Nesta altura, foi aproveitada a informação que vinha de trás para lançar a aquisição de dados de acordo com o que eram as expectativas. No entanto, com a experiência, verificou-se que a realidade encontrada não era o que se esperava, tendo-se alterado o planeamento, a técnica de aquisição de dados e a forma como se conduziram os levantamentos desde então. Para a recolha de dados, foi necessário assegurar meios e equipamentos que permitissem essa recolha. Pelo que, mais uma vez, a Marinha voltou a ter um papel fundamental, essencialmente ao nível da plataforma (como o caso dos navios hidro-oceanográficos) e do pessoal dotado de valências diversas dentro das ciências do mar. Assim, e durante todo este processo, o país foi dotado de uma capacidade técnica na área das tecnologias do mar de um modo nunca antes visto, adquirindo capacidades de exploração do oceano profundo que poucos países no mundo têm. Exemplos destes desenvolvimentos são os sondadores multifeixe, os sensores multiparâmetro, os sistemas de sísmica e de acústica que foram implementados, e um dos mais conhecidos, o ROV *Luso*, com a capacidade de operar em grandes fundos.

Num esforço conjunto de diversas entidades, foi entregue junto do Secretário-geral das Nações Unidas, em 11 de Maio 2009, a proposta de extensão da plataforma continental portuguesa à CLPC, conforme o país se tinha comprometido.

3. QUANTIFICAÇÃO (MÉTODO)

Com o objetivo de quantificar a real evolução técnico-científica instalada ao nível das ciências do mar, foram considerados os últimos 20 anos

e os diversos equipamentos adquiridos nesta altura.

Tendo em conta o carácter qualitativo desta quantificação, foi necessário encontrar um método que pudesse descrever de forma quantitativa cada equipamento estudado. Deste modo, e numa primeira fase, optou-se por agrupar os equipamentos em diversos grupos, tendo em conta a sua importância, tipo e independência de operação. Assim foram feitos 7 “grupos base”, que representam todo o universo em estudo, e onde podem ser incluídos todos os outros equipamentos:



Esquema 1 – Grupos base, onde estão incluídos todos os equipamentos a estudar

A cada um destes grupos, e de acordo com as características individuais evidenciadas por cada equipamento, foi atribuído um valor, que assentou essencialmente numa profunda análise do equipamento e posteriores avaliações pessoais.

Após uma definição cuidada de cada um dos “grupos base”, foram inseridos todos os equipamentos em estudo nestes grupos, de forma lógica e sempre dentro do conceito do grupo inicial. Por exemplo, no primeiro grupo, o dos ROV's, foi contemplado apenas este tipo de veículo, contanto com um total de 8 modelos de diferentes idades, campos de operação, capacidades e instituições, enquanto no grupo dos sensores foram contemplados equipamentos do tipo CTD (Conductivity, Temperature, Depht), LISST (Laser In Situ Scattering Transmissiometry), ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) e UCTD (Underwater, Conductivity, Temperature, Depht). Nos sistemas de geofísica, incluíram-se sonares laterais de diferentes modelos e nos sistemas de sísmica, estações MT, OBS's, entre outros. Dentro dos grupos dos navios oceanográficos, foram incluídos todos os seus equipamentos orgânicos que foram instalados desde a sua chegada a Portugal, visto cada um dos equipamentos ser parte integrante da estrutura de cada um dos navios, e destes dependerem diretamente para o seu funcionamento. Seguindo esta linha de raciocínio, chegou-se aos seguintes valores para cada equipamento estudado:

Tabela 1- Valores iniciais de cada tipo de equipamento

Equipamento	Valor Atrib.	Equipamento	Valor Atrib.
ROV “Luso”	7.5%	ROV Sub-atlantic navajo	1.5%
ROV’s Universidades	4.5%	Phanton S2	1.5%
Sond. Acúst. (D. Carlos I)	25%	Sond. Acúst. (Gago Coutinho)	32.5%
SBP	0.5%	Pos. Dinâmico	7%
Est. MT	1%	OBS’s	1%
Refl. Sismica	1%	Colhedores	2.5%
Correntómetros	2.5%	CTD’s	1.75%
LISST	1%	UCTD	1.25%
ADCP	1%	Sonares lat.	1.67%
Magnetómetros	1.67%	Gravímetros	1.67%

Numa fase seguinte, verificou-se que não seria correto atribuir simplesmente um valor inicial a cada equipamento, mantendo esse valor desde a sua aquisição até ao fim do período de vida útil. No sentido de aproximar o mais possível da realidade o valor atribuído a cada equipamento durante o seu período de utilização, foram considerados fatores externos que influenciaram a sua evolução em termos quantitativos. Os fatores considerados foram o *know-how* sobre o equipamento, a capacidade humana disponível, a motivação/justificação para aquisição do meio, a capacidade financeira disponível e a possibilidade de retorno económico/científico. A cada um destes fatores foi atribuído um valor entre 0 a 1, sendo que para a atribuição destes valores foram estabelecidas regras individuais de forma a conseguir alguma equidade em situações análogas. Por exemplo, relativamente ao *know-how*, apenas foram atribuídos 5 valores distintos (0,1; 0,3; 0,6; 0,8; 1), sendo que para cada um destes, foram descritas um conjunto de situações em que possam ser aplicadas, e consoante a regra imposta e as características do equipamento, foi-lhe atribuído um valor para o fator externo. Estes valores foram multiplicados ao que inicialmente foi considerado para cada equipamento, conseguindo-se assim garantir um valor inicial de cada equipamento e uma evolução até ao valor máximo (momento em que cada fator externo vale 1). Deste modo conseguiu-se garantir uma evolução do rendimento de cada equipamento, o que influencia o seu valor no universo em estudo. Após a quantificação do universo em estudo, de forma individualizada, esta informação foi transposta para um gráfico Ano/Valor da capacidade instalada, obtendo-se os resultados que se seguem:

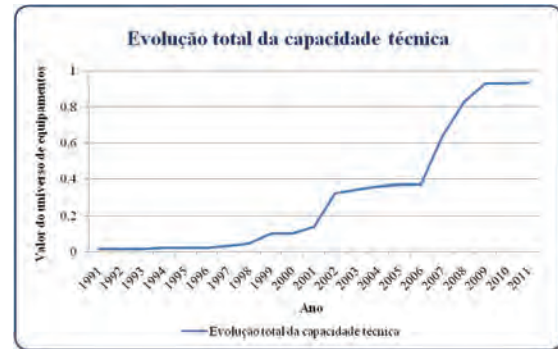


Gráfico 1 – Evolução total da capacidade técnica

4. RESULTADOS FINAIS

Após o tratamento e análise dos dados, conseguiu-se concluir que houve três fases distintas na evolução da capacidade técnico-científica (1997/1999, 2001/2002 e 2006/2008) na área do mar, em Portugal. É curioso verificar que o primeiro salto começou logo após a ratificação da CNUDM por Portugal, levando-nos a pensar que este foi o grande mote para a evolução tecnológica, nas áreas das ciências do mar em Portugal. Embora numa fase inicial, com pequenos passos, realizaram-se os primeiros estudos que concluíram que a melhor solução para levar a cabo este projeto seria a adaptação de meios navais já existentes, resultando na conversão e reequipamento dos navios da classe T-AGOS, então chegados ao país. Logo em 1998, já se encontrava na primeira fase de conversão o NRP *D. Carlos I*, equipando-se o navio com sensores acústicos (embora apenas de feixe simples). Nesta altura, o IH adquiriu novos sensores multi-parâmetro (MK317, MK320 e MK3C). Esta fase, representa 6% da capacidade atualmente existente, mas apesar de parecer pouco significativo nos dias de hoje, verificou-se que a capacidade existente na altura, praticamente foi dobrada num período de apenas três anos.

Numa segunda fase, correspondente ao segundo grande salto tecnológico, voltou-se a reequipar o NRP *D. Carlos I*, apetrechando-o com uma tecnologia ainda inexistente em Portugal, os sondadores acústicos multifeixe de grandes fundos (SMF EM 120), passando o país a estar dotado de uma tecnologia que lhe permitia sondar a totalidade do fundo submarino, até uma profundidade de 11 000m, elevando em muito, a quantidade e qualidade dos dados obtidos por cada sondagem realizada. Também nesta altura, foram adquiridos outros equipamentos, como sonares de varrimento lateral (Geoacoustics SS980, Klein 2000 e Klein 5000), deixando para trás os antigos sonares laterais ainda analógicos e já operados desde 1978. Sendo que a maior evolução nesta tecnologia, foi a aquisição em 2003, do Klein 5000, passando o IH a operar pela primeira vez, um equipamento deste género com mais do que uma linha de feixes, conseguindo-se assim, uma melhoria bastante significativa na imagem captada e qualidade dos dados. Neste

período, a quantidade, novidade e importância dos equipamentos adquiridos, permitiu o arranque dos trabalhos de modo mais intensivo no âmbito do projeto de extensão, constituindo um enorme avanço tecnológico, ilustrado pelo acréscimo de 20% da capacidade atualmente existente, num período tão curto quanto este.

Em 2006, para reforçar a aquisição de dados para o projecto de extensão da plataforma continental, intensificou-se a aquisição de meios. Esta fase representa 45% da atual capacidade tecnológica ao nível das ciências do mar. Para este súbito aumento de capacidade, contribuíram equipamentos como SBP's, sistemas acústicos de médios e grandes fundos (SMF EM 710 e EM 120), sistemas de geofísica, de sísmica, novos sensores multiparâmetro e ROV's. A aquisição de outros sistemas acústicos multifeixe, que apesar de Portugal já operar esta tecnologia, permitiu ter um segundo navio a operá-la, garantindo assim o dobro da capacidade na aquisição de dados e criando uma forte redundância ao nível das sondagens do fundo submarino, mantendo a mesma qualidade de dados. Em 2007, o IH substituiu o seu antigo ROV por um mais recente, e melhor adaptado aos trabalhos em estuários, onde as correntes são mais fortes (Sub Atlantic Navajo), inovando também nos sensores suportados pelo veículo, melhorando a captação de imagem com as novas câmaras de vídeo a cores e a preto e branco, comportando vários novos sensores como altímetros, sensores de pressão, scanning sonar (circular) e imaging sonar. O grande salto tecnológico ao nível de ROV's, foi dado em 2008, com a aquisição a uma empresa norueguesa do ROV Luso. Um veículo que possibilitou, passar de uma profundidade de operação de 400m (que até à data era possível), para os 6000m, permitindo ao país ter a capacidade de operar um veículo deste tipo em praticamente todo o território submarino do mundo, não apenas em trabalhos de recolha seletiva de amostras, mas muito para além disso, permitindo realizar até esta profundidade instalação ou ancoragem de cabos submarinos, assim como limpeza e manutenção de infra-estruturas pesadas.

5. CONCLUSÕES

Para concluir pode-se afirmar que desde 1997, houve uma forte tendência evolutiva da capacidade técnica ao nível das ciências do mar, tendo sido adquiridos diversos equipamentos com vista ao Projeto de Extensão da Plataforma Continental (PEPC). Nota-se perfeitamente que esta evolução se iniciou de forma sustentada e à medida das necessidades, deixando o país dotado de uma capacidade nunca antes vista a nível nacional. Sendo legítimo estimar que caso não existisse este projeto e a necessidade de equipar o país desde modo e em tão curto espaço de tempo, apenas daqui a cerca de 15 anos, conseguiríamos ter a capacidade atualmente existente. Agora que a aprovação do

projeto está numa fase terminal (embora não terminada), existem condições, para que continue a ser possível, a utilização destes novos equipamentos para a continuação de trabalho científico, obtenção de melhor conhecimento do mar e estabelecimento de parcerias em projetos com países menos evoluídos nesta área.

6. BIBLIOGRAFIA

Estrutura de Missão para a Extensão da Plataforma Continental, [EMEPC]; Faculdade de Direito da Universidade do Porto, [FDUP] & Centro de Investigação Marinha e Ambiental, [CIMAR]. (2006). *Aspectos Jurídicos e Científicos da Extensão da Plataforma Continental*". Lisboa, Portugal: EMEPC

Decreto-Lei nº 7/2012, de 17 de Janeiro

Resolução do Conselho de Ministros, [RCM]; n.º 90/98. (1998, 1 de Julho)

Estrutura de Missão para a Extensão da Plataforma Continental, [EMEPC]. (2007). *O Projecto EMEPC*. Lisboa, Portugal: EMEPC

Estudos geológicos e geotécnicos para fundeamento de estruturas flutuantes

J. Pombo (1), A. Rodrigues (1), A. P. Silva (2) e L. Reis (1)

- (1) Instituto Hidrográfico. joaquim.pombo@hidrografico.pt
 (2) DCT - CICEGe, FCT- Universidade Nova de Lisboa

Resumo: O conhecimento existente e a abordagem para a definição das características geológicas e sedimentológicas do leito marinho têm-se revelado insuficientes para a correta caracterização de áreas para fundeamento de estruturas, nomeadamente dos dispositivos de aproveitamento de energia das ondas. Na plataforma ocidental portuguesa a constante adaptação e evolução dos processos de geodinâmica externa, responsáveis pelo fornecimento, dispersão e deposição de partículas, induz uma complexa variabilidade no padrão de distribuição dos depósitos sedimentares, que não é reconhecida nos métodos de caracterização geológica convencional. Neste trabalho será efetuada a caracterização da cobertura sedimentar de uma área da plataforma média a norte do Canhão da Nazaré e definida a sua relação com os processos dinâmicos que ocorrem no fundo marinho, tendo como objetivo final a definição de um programa de caracterização para a aquisição de parâmetros físicos e mecânicos necessários para a fixação, ao fundo marinho, de estruturas para conversão de energia das ondas.

Palavras chave: Geotecnia, Sedimentos marinhos, Fundeamento de estruturas flutuantes, Plataforma média

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de implementar, a nível nacional e internacional, políticas para um desenvolvimento sustentável no domínio da energia levou alguns países, nos quais Portugal se inclui, a procurar novas fontes de energia, não se remetendo apenas às energias convencionais e não renováveis (petróleo, carvão, nuclear, gás natural). Dado o enquadramento geográfico e geológico, foram identificados recursos energéticos importantes no domínio das fontes renováveis ou alternativas (hídrica, eólica, solar, geotérmica, biomassa, marés e ondas).

Face aos compromissos internacionais assumidos através das directivas comunitárias (Directiva n.º 2001/77/CE) e do Protocolo de Quioto (Decreto n.º 20/93 e Decreto n.º 7/2002) tem-se verificado uma aposta no desenvolvimento da indústria associada à exploração destas energias renováveis.

Recentemente verificou-se todo o desenvolvimento de infraestruturas para aproveitamento da energia eólica, solar e hídrica, havendo atualmente indicações claras para a expansão desta indústria para o aproveitamento da energia associada ao mar, nomeadamente a energia das ondas.

Reflexo destas orientações estratégicas, foi criada, pelo governo português, uma Zona Piloto para a Energia das Ondas, destinada para a promoção e agilização do processo de instalação e demonstração de protótipos de conversão da energia das ondas em energia eléctrica (Decreto Lei n.º 5/2008).

A tecnologia destinada à produção de energia eléctrica a partir das ondas, tem vindo a ser desenvolvida desde a década de 70 do século passado, na sequência da crise económica instalada a partir do primeiro choque petrolífero. Desde então, a nível internacional, tem havido um investimento crescente no desenvolvimento industrial desta

tecnologia, a qual se apresenta como uma alternativa energética viável.

No entanto, apesar dos avanços tecnológicos das estruturas de conversão de energia das ondas em energia eléctrica, muito há a fazer para responder às questões levantadas pelos projetistas dos sistemas de fundeamento das mesmas. O que se verifica é que, em áreas onde o recurso energético é maior, a rápida variação dos parâmetros físicos induz, como é evidente, uma variabilidade ao nível da cobertura do fundo e das características geotécnicas do subsolo marinho.

Estudos de elevada resolução para a caracterização do leito marinho são, assim, essenciais, numa fase inicial para a definição e dimensionamento dos sistemas de fundeamento e ancoragem de estruturas *offshore*, por forma a garantir a segurança e qualidade das mesmas. As soluções existentes, ao nível dos sistemas de fundeamento, devem ser as adequadas às condições físicas e mecânicas do subsolo marinho, sob pena de comprometer a segurança de toda a estrutura, ou incrementar os custos de instalação (Mello, 1985; Randolph *et al.*, 2005).

De uma forma geral, a caracterização do subsolo marinho deverá contemplar, para além da caracterização geológica geral da área, medições *in situ* e ensaios laboratoriais para a caracterização física e mecânica dos sedimentos

O presente estudo, ao descrever a variabilidade sedimentar de uma pequena área da plataforma continental, pretende contribuir para a definição de um correto programa de ensaios laboratoriais que permitam caracterizar o comportamento tensão-deformação dos sedimentos marinhos. Desta forma será avaliada a aptidão para o fundeamento de estruturas para conversão de energia das ondas e definição de rotas para cabos submarinos.

2. ÁREA DE ESTUDO

A zona seleccionada para a realização do trabalho, é constituída por uma área aproximada de 13 km², situada na plataforma continental portuguesa setentrional ao largo de S. Pedro de Muel, entre os 30 e 60 m de profundidade (Figura 1).

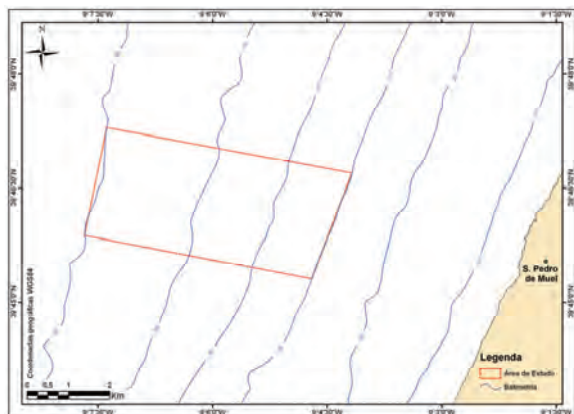


Fig. 1. Localização da área de estudo.

Esta área localiza-se imediatamente a sul da Zona Piloto para a Energia das Ondas, pelo que qualquer consideração realizada nos depósitos sedimentares, poderá ser extrapolada para a referida área, caso se verifique continuidade dos depósitos sedimentares.

3. MÉTODOS

Para a prossecução dos objectivos propostos foram realizadas campanhas de prospecção *offshore* para aquisição de dados através de técnicas indirectas, nomeadamente de sondadores acústicos e sistemas de reflexão sísmica ligeira, complementadas com amostragem superficial e vertical da camada sedimentar não consolidada.

A 1.^a campanha de prospecção, promovida pelo Instituto Hidrográfico (IH), a bordo do navio NRP “Almirante Gago Coutinho”, permitiu a aquisição simultânea de dados de sondagem batimétrica, com cobertura total da área de estudo, através de um sistema sondador multifeixe EM 710, da SIMRAD – KONGSBERG e a aquisição de 50 perfis sísmicos com o sistema *sub-bottom profiler* (IXSEA Echoes 3500). Para obter registos com maior penetração foram ainda adquiridos 9 perfis de reflexão sísmica com o sistema *boomer* da APPLIED ACOUSTICS. A amostragem superficial e vertical preliminar de sedimentos foi realizada igualmente a bordo do mesmo navio, tendo sido colhidas 14 amostras de sedimentos superficiais com o colhedor do tipo *Smith McIntyre*, e 4 amostras verticais obtidas com um sistema de vibrocócorer eléctrico da ROSSFELDER modelo P-5. A figura 2 indica a localização dos dados e amostras adquiridas no âmbito deste estudo.

A amostragem realizada foi imediatamente encaminhada para laboratório para a realização de ensaios laboratoriais de caracterização física e

mecânica dos sedimentos, que constituem uma componente de grande relevância no âmbito da caracterização geotécnica. Foram realizados em primeiro lugar os ensaios não destrutivos (susceptibilidade magnética, determinação das ondas *P* e *S* e radiografias) e, posteriormente, os ensaios destrutivos (análise granulométrica, teor em carbonatos, teor em água, pesos volúnicos e ensaios triaxiais).

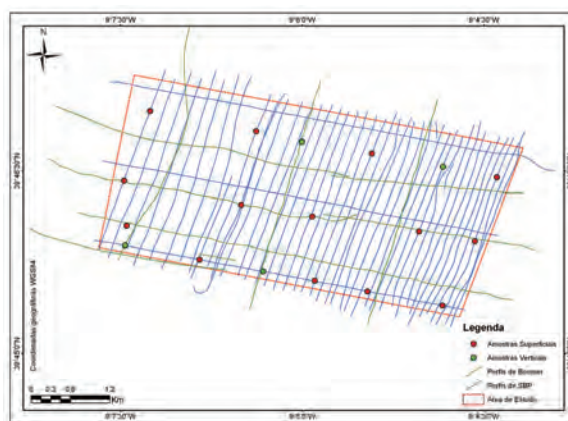


Fig. 2. Localização dos perfis sísmicos e amostragem realizada.

Os testemunhos (amostras verticais ou ‘cores’) obtidos em cada uma das estações foram cortados em segmentos menores (de aproximadamente 1 m) selando-se o seu topo e base, sendo conservados numa câmara frigorífica móvel, a uma temperatura de 4° C. Ao dar entrada no Laboratório de Sedimentologia do IH, cada segmento dos testemunhos foi seccionado de 2 em 2 cm, utilizando-se um anel metálico, para obtenção de um volume de amostra conhecido (figura 3).



Fig. 3 Seccionamento de 2 em 2 cm dos testemunhos verticais.

4. RESULTADOS PRELIMINARES

Morfologicamente a área estudada apresenta uma morfologia suave, com pendor regular inclinado para W, apresentando-se as batimétricas, na sua globalidade, paralelas à linha de costa e uniformemente espaçadas entre si.

Através do processamento do levantamento do sinal acústico do multifeixe, foi realizada a cartografia

remota do tipo de fundo, representada na imagem do *backscatter* do fundo marinho (figura 4).

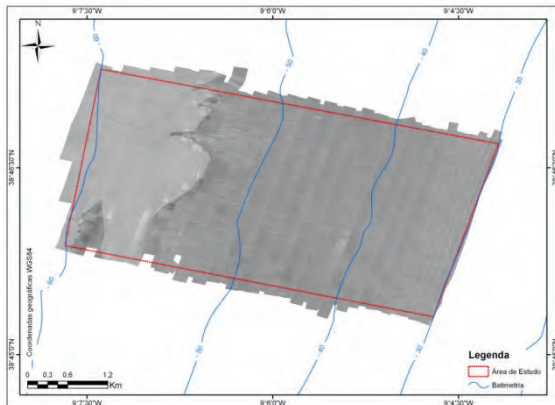


Fig. 4. Imagem de Backscatter obtida através do processamento do sinal proveniente do sistema multifeixe. Espaço das linhas batimétricas (azul) de 10 m.

Analizando a figura 4 constata-se que na área em referência, o fundo marinho apresenta 2 tipos de intensidade de retrodispersão do sinal (*backscatter*), podendo estas classes corresponder a dois depósitos sedimentares distintos. O fundo que tem menor intensidade, está compreendido entre 30m e cerca de 55m de profundidade, correspondendo, pelas amostras colhidas, a um depósito de areias finas. A restante área apresenta uma intensidade de retrodispersão mais elevada, correspondendo a um depósito areno-cascalhento.

Da análise preliminar de alguns dos perfis obtidos pelos sistemas *boomer* e *sub-bottom profiler*, foi possível identificar a arquitetura sedimentar da camada de sedimentos marinhos, a qual é constituída por duas unidades sísmicas, que cobrem um refletor de base, que limita formações mais antigas e que foram classificadas como *bedrock* (firme), conforme o perfil reproduzido na figura 5. O depósito superior, corresponde a cobertura arenosa, enquanto que a unidade inferior parece corresponder à sequência das areias areno-cascalhentas (figura 6).

O depósito arenoso tem uma espessura que varia entre cerca de 1 m, junto ao depósito areno-cascalhento, e aumenta em direção à linha de costa, onde foi medida uma espessura vertical de 4,5m. Relativamente ao depósito areno-cascalhento, a sua fácies acústica dificulta a sua delimitação exata.

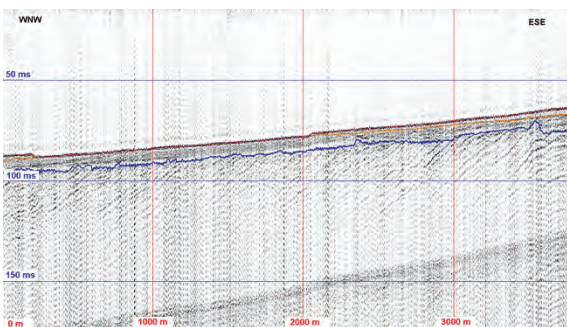


Fig. 5. Perfil de boomer, onde é possível observar o *bedrock* (firme) (linha azul) e a camada arenosa (linha laranja).

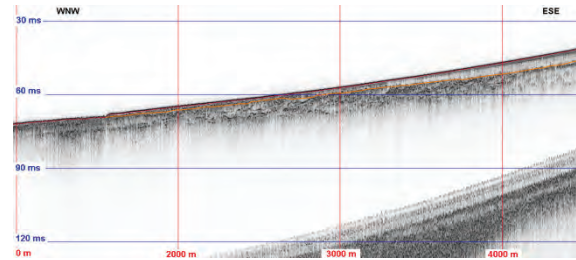


Fig. 6. Perfil de *sub-bottom profiler*, onde se observa a unidade sísmica correspondente ao depósito arenoso (linha laranja).

Contudo numa análise mais detalhada dos perfis de *boomer* é possível verificar que, na área de estudo, o firme está localizado a uma profundidade abaixo do fundo do mar que varia entre 4,5 m, na zona do depósito areno-cascalhento, e cerca de 6,5 m, na área do depósito arenoso.

Os primeiros resultados laboratoriais realizados à amostragem efetuada permite constatar que o depósito arenoso é constituído por uma areia fina medianamente a bem calibrada e com assimetria positiva, refletindo a elevada energia do ambiente em que estas partículas se depositaram, bem como a seleção granulométrica a que estiveram sujeitas durante o processo de transporte desde a fonte até esta área. Tipicamente, são depósitos de areias actuais, depositadas em ambiente de plataforma e cujas partículas finas se mantêm em permanente movimento.

O depósito areno-cascalhento é constituído por cerca de 60% de areia e 39% de cascalho. Os sedimentos têm assimetria extremamente positiva e são mal calibrados. Estes depósitos não estão em equilíbrio com o ambiente de plataforma, refletindo a herança de ambientes de maior energia, provavelmente litoral (formados no início do Holocénio, segundo a reconstituição apresentada por Dias (1987) e Rodrigues (2004) para esta área). A assimetria e calibração refletem a incorporação de partículas mais finas, essas sim, resultantes de processos actuais.

Relativamente à medição das ondas *P* nos testemunhos verticais (cores) foram medidos valores que variam entre os 1700 a 2200 m/s nos sedimentos do depósito arenoso e velocidades entre os 1667 a 2300 m/s nos sedimentos do depósito areno-cascalhento.

As amostras seccionadas dos testemunhos, do depósito arenoso, apresentam teores em água na ordem dos 23% e pesos volúmicos entre 19,60 e os 20,20 KN/m³. No depósito areno-cascalhento os teores em água estão compreendidos entre 10 a 15% e pesos volúmicos entre 17,04 a 23,41 KN/m³.

A caracterização mecânica dos sedimentos, encontra-se a decorrer, e é efectuada através de ensaios triaxiais no laboratório da FEUP, que permitirão caracterizar os parâmetros resistentes dos sedimentos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados obtidos e a análise preliminar efetuada permitem inferir sobre a morfologia, arquitetura deposicional e a composição do fundo marinho.

Do ponto de vista sedimentológico e geotécnico, constata-se que as unidades sedimentares cartografadas apresentam características físicas e mecânicas distintas e dentro dos valores esperados para sedimentos marinhos.

Apesar dos valores apresentados serem ainda preliminares e representativos apenas da área estudada, considera-se que as características físicas e mecânicas dos sedimentos devem ser consideradas, obrigatoriamente, nos projetos de ocupação do fundo marinho. Estes estudos, a realizar numa fase inicial, contribuem, de forma inequívoca, para um dimensionamento mais racional dos sistemas de fundeamento de estruturas flutuantes para o aproveitamento da energia das ondas.

A maioria dos ensaios laboratoriais ainda se encontram em execução pelo ainda não foi possível apresentar algumas das características mecânicas mais representativas dos sedimentos colhidos.

Devido à variabilidade lateral e vertical de fácies presente na área em estudo pretende-se, no decorrer da presente investigação, obter mais amostras verticais de sedimentos, bem como medições *in situ* para caracterização de parâmetros resistentes.

REFERÊNCIAS

- Decreto-Lei n.º 5/2008. Diário da República, 1ª Série, nº5 de 8 de Janeiro de 2008.
- Decreto n.º 20/93. Diário da República, 1ª Série-A, n.º 14 de 21 Junho de 1993.
- Decreto n.º 7/2002. Diário da República, 1.ª Série, nº 71-Parte A de 25 de Março de 2002.
- Dias, J.M.A. (1987). *Dinâmica sedimentar e evolução recente da plataforma continental portuguesa setentrional*. Tese de doutoramento, Univ. Lisboa, 384pp (não publicado).
- Directiva n.º 2001/77/CE. Parlamento e Conselho Europeu. 27 de Setembro de 2001.
- Mello, V. (1985). Site investigation and foundation decisions for offshore structures. Eighth Southeast Asian *Geotechnical Conference*, Vol.2. 19-40. Kuala Lumpur.
- Randolph, M.F., Cassidy, M.J., Gourvenec, S. & Erbrich, C.J. (2005). Challenges of offshore geotechnical engineering. *Proceedings of the International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. CONF 16; Vol. 1. 123-176. Balkema Publishers, Netherlands.
- Rodrigues, A. (2004). Tectono-Estratigrafia da plataforma continental setentrional portuguesa. Tese de Doutoramento. *Docs. Técnicos do Instituto Hidrográfico*, n.º 36, 226pp.

Criação e implementação de um sistema de monitorização para o litoral arenoso na área de jurisdição da Administração da Região Hidrográfica do Tejo

T.M. Silveira (1,2), A.M. Carapuço (1,2,3), C. Pinto (4,5), R. Taborda (2,3), C. Andrade (1,2), H. Sousa (1,2), M.C. Freitas (1,2), F. Marques (1,2), C. Antunes (3,6), R. Matildes (1,6), M. Orlando (5) e C. Lira (1,2,3)

- (1) Centro de Geologia da Universidade de Lisboa. tmsilveira@fc.ul.pt.
- (2) Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- (3) Instituto Dom Luiz, Universidade de Lisboa.
- (4) Administração da Região Hidrográfica do Tejo.
- (5) Agência Portuguesa do Ambiente, I.P..
- (6) Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Resumo: Está em curso, desde o início de 2011, um programa de amostragem de alta frequência em praias representativas do troço litoral sob jurisdição da Administração da Região Hidrográfica do Tejo, no âmbito do projecto para a criação e implementação de um sistema de monitorização no litoral na área de jurisdição daquela entidade. A aquisição de dados inclui topografia, sedimentos, e registos fotográficos, elementos que permitirão analisar a evolução morfodinâmica daquele troço litoral à escala sazonal, anual e de longo-termo. O conjunto de dados geográficos originado será centralizado, gerido e disponibilizado através de uma plataforma Web SIG. A definição de valores de referência para indicadores de diagnóstico do estado das praias, nortearão a concepção de um programa de monitorização à escala regional que constituirá uma ferramenta de apoio ao nível do planeamento e gestão, que suportará técnica e cientificamente a tomada de decisão relativamente aos usos e ocupação da zona costeira.

Palavras chave: Praias, Conjunto de dados geográficos, Indicadores de gestão costeira, Web SIG

1. INTRODUÇÃO

No litoral Português, a erosão é um fenómeno reconhecido ao longo de praticamente toda a faixa costeira (Andrade *et al.*, 2002; Veloso-Gomes *et al.*, 2006; Ferreira *et al.*, 2008), o que tem motivado uma sucessão de estudos sobre dinâmica sedimentar e vulnerabilidade costeira, especialmente em troços com intensa ocupação humana (e.g. Andrade *et al.*, 2006; Ferreira *et al.*, 2006). Estes estudos constituem referências importantes para o reconhecimento do comportamento morfodinâmico do litoral, e têm especial utilidade para as instituições com jurisdição sobre a orla costeira, cujo objectivo passa por assegurar o melhor compromisso entre usufruto do espaço e minimização dos riscos inerentes para pessoas e bens (Veloso-Gomes *et al.*, 2008). Idealmente, o planeamento e gestão da faixa costeira deve assentar sobre conhecimento objectivo dos padrões de evolução de longa duração, e dos ritmos de evolução sazonal dos sistemas litorais. A Estratégia Nacional para a Gestão Integrada da Zona Costeira (Resolução do Conselho de Ministros n.º 82/2009, de 8 de Setembro) identifica o conhecimento científico e técnico como um valioso mecanismo para a interpretação integrada da evolução da zona costeira e como dimensão de suporte à decisão. Neste sentido, a Administração da

Região Hidrográfica (ARH) do Tejo, recorreu à equipa de investigadores da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL), para promover a criação de um sistema de monitorização para o litoral na sua área de jurisdição (Andrade *et al.*, 2010). Trata-se de um projecto pioneiro, que pretende reconhecer de forma holística, no espaço e no tempo, o comportamento morfodinâmico do litoral, procurando fornecer respostas objectivas e fundamentais para o planeamento e gestão da orla costeira, dotando a ARH do Tejo de um conjunto de ferramentas fundamentais para o exercício das suas competências. O projecto inclui a caracterização pormenorizada do forçamento meteorológico e oceanográfico, a análise da evolução costeira da área de estudo nos últimos 50 anos, a inventariação de instabilidades ocorridas nas arribas, e a avaliação da perigosidade associada à mobilidade da linha de costa. No entanto, é objecto deste artigo apenas a descrição do programa de monitorização para o litoral arenoso.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de jurisdição da ARH do Tejo compreende a faixa costeira entre o limite a sul de Vieira de Leiria (Marinha Grande) e o Cabo Espichel (Sesimbra) (Fig. 1). Trata-se de um troço predominantemente

rochoso talhado em arribas meso-cenozóicas, contendo uma fiada descontínua de praias geralmente em baía, com extensão longilitoral e grau de indentação e curvatura variáveis, onde o trânsito sedimentar efectivo é menor que o potencial, resultando num estado de défice sedimentar e numa tendência predominantemente erosiva.



Fig. 1. Área de estudo (troço litoral sob jurisdição da ARH do Tejo), Planos de Ordenamento da Orla Costeira (POOC) abrangidos, e áreas-piloto do programa de monitorização (▲).

3. MÉTODOS

Foram seleccionadas catorze áreas-piloto (Fig. 1), abrangendo um total de 33 praias, resultado da aplicação de critérios geomorfológicos, e de ordem estratégica relacionados com a implementação dos Planos de Ordenamento da Orla Costeira em vigor neste troço. São troços representativos de segmentos maiores, contrastantes em conteúdo sedimentar, estágio morfodinâmico prevalente e exposição. Para cada área-piloto foi criada uma rede de pontos de referência para apoio à realização dos trabalhos de campo. As campanhas de campo decorrem desde o início de 2011 com uma periodicidade trimestral, durante os períodos de marés-vivas, nos meses de Março, Junho, Setembro e Dezembro, e em situações de pós-temporal. Neste contexto, são desenvolvidas as seguintes tarefas: 1) levantamento topográfico de perfis transversais entre a base da duna, arriba ou obstáculo adjacente à alta-praia, e o nível médio do mar; 2) identificação e levantamento da posição da linha correspondente ao espraio gerado na praia-mar antecedente ao levantamento; 3) identificação e levantamento da linha correspondente à base da arriba ou base da duna materializada pelo limite da instalação da vegetação; 4) amostragem de sedimentos para processamento

textural, sendo colhida a lâmina mais superficial a fim de preservar a assinatura do último evento deposicional e incidindo sobre a face da praia, a berma de praia e a duna frontal; e 5) registo fotográfico dos locais dos perfis de praia, bem como panorâmicas das praias, ou ainda de elementos morfológicos ou de especial interesse. Em algumas praias procede-se ainda ao levantamento topográfico completo da superfície de praia, entre a duna e o nível médio do mar. Os dados de topografia são adquiridos com GPS (*Global Positioning System*) geodésico. Todos os dados adquiridos no campo são alvo de pós-processamento para validação e verificação da sua integridade e são armazenados com uma identificação pré-estabelecida.

Estão a ser desenvolvidas ferramentas para o processamento automático dos dados, que incluirão a análise de linhas de costa, perfis de praia, e modelos digitais de terreno, e permitirão a avaliação dos resultados de acordo com os níveis de referência determinados para os vários indicadores mensuráveis e úteis do ponto de vista da gestão e planeamento do litoral.

Dado o volume e complexidade da base de dados que está a ser construída e que se pretende em constante actualização, toda a informação será centralizada, gerida e disponibilizada sob a forma de conjuntos de dados geográficos, através de um Web SIG (Sistemas de Informação Geográfica). Esta plataforma está em fase de desenvolvimento e será integrada na plataforma SNIRH (Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos) da Agência Portuguesa do Ambiente. Está a ser criado um protocolo que inclui um conjunto de manuais de procedimentos com a descrição das várias etapas do programa de monitorização, incluindo a recolha dos dados, o seu armazenamento, análise e disponibilização, bem como a descrição da estrutura operacional necessária à sua implementação e prossecução. Estes documentos assegurarão a replicabilidade da aquisição dos dados e interoperabilidade dos resultados.

4. RESULTADOS

Do trabalho efectuado até ao momento, resultou a compilação de uma base de dados que inclui uma série de elementos que caracterizam 33 praias ao longo do troço litoral entre a foz do rio Liz e o cabo Espichel. Estes elementos são transversais a todas as praias e incluem a rede de pontos de referência e localização dos elementos a monitorizar, e os dados, em bruto e processados, dos elementos monitorizados em cada praia, a disponibilizar na plataforma Web SIG (Fig. 2).

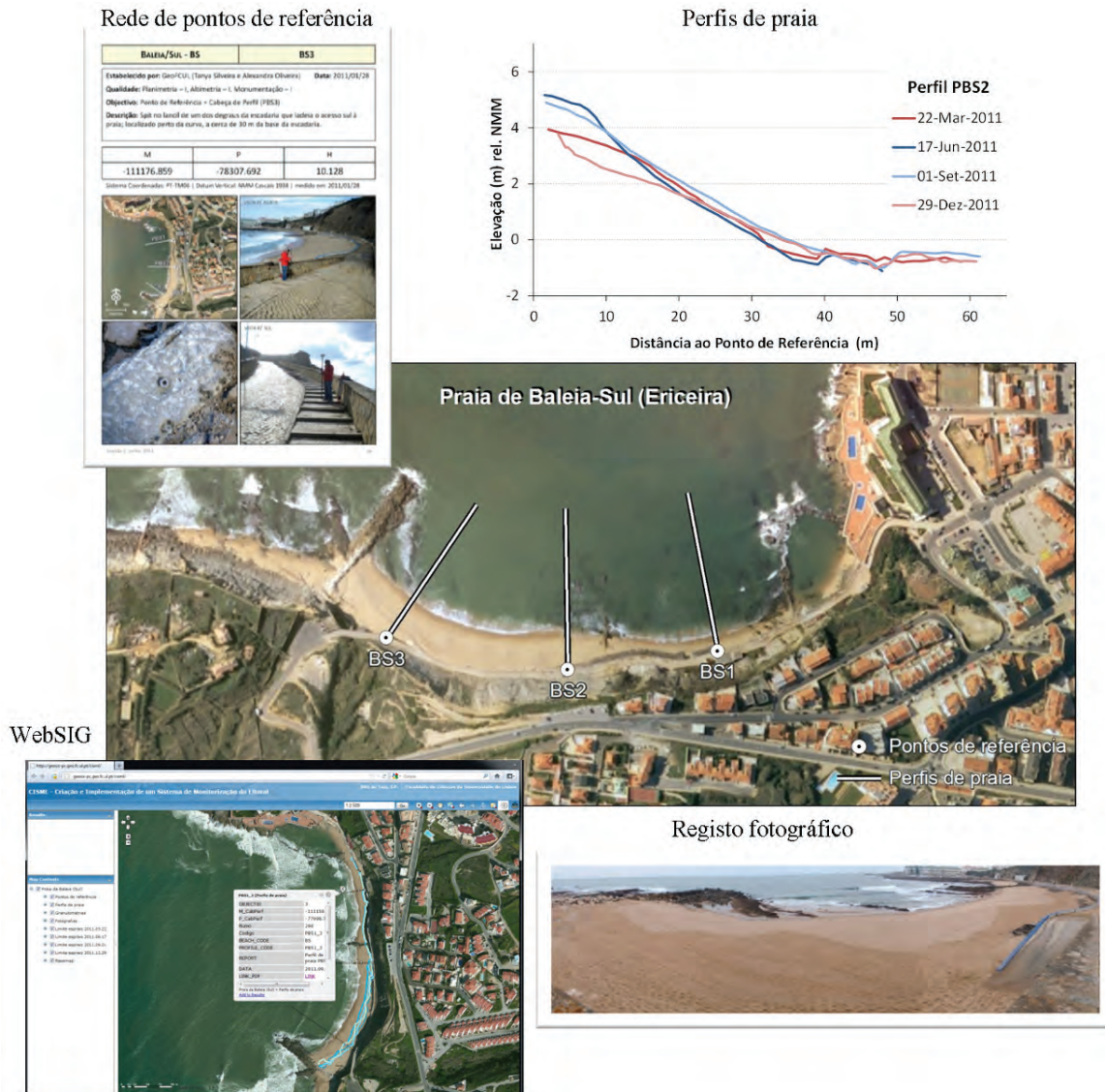


Fig. 2. Exemplo de alguns dos resultados do programa de monitorização para a Praia de Baleia (ou do Sul), Ericeira.

Os resultados da implementação do programa de monitorização ao longo do ano de 2011 permitiram: 1) caracterizar a evolução temporal da posição da linha de costa (materializada, por exemplo, pelo sopé da duna frontal); 2) caracterizar o perfil de praia, incluindo o cálculo de volumes e análise de parâmetros morfológicos da praia (e.g. largura e cota da berma, cota da duna frontal, ou pendor da face de praia); 3) gerar modelos digitais de terreno e caracterizar os principais elementos morfológicos em toda a extensão da praia (e.g. linha de costa, cota da crista da berma, volume); 4) analisar a distribuição e variabilidade textural (transversal e longitudinal) dos sedimentos; e, 5) avaliar a posição da linha correspondente ao espraio gerado em condições de preia-mar de águas-vivas, permitindo estimar a cota associada ao máximo espraio das ondas e validar e testar a delimitação da linha da máxima preia-mar de águas vivas equinociais na área de jurisdição da ARH do Tejo. Este tipo de dados permite a análise detalhada das alterações

morfológicas da praia e o cálculo do volume de sedimento que é remobilizado sazonalmente, transversal e longitudinalmente à linha de costa. Uma vez reconhecidos os padrões morfodinâmicos do sistema, serão definidos quais os indicadores de diagnóstico mais adequados para descrever o estado da zona costeira e apoiar a tomada de decisão. A título de exemplo, descreve-se o caso da praia de São João da Caparica (Almada); durante os dois primeiros trimestres monitorizados (entre Março e Junho e entre Junho e Setembro de 2011) verificou-se erosão persistente no sector noroeste, e acreção no sector sudeste da praia (Fig. 3). As variações mais significativas ocorreram ao nível da face de praia, traduzindo-se numa rotação da configuração planar da linha de costa (materializada pela linha do nível médio do mar) em sentido horário, com um recuo da ordem dos 60 m junto ao esporão norte, e um avanço de cerca de 50 m junto ao esporão sul.

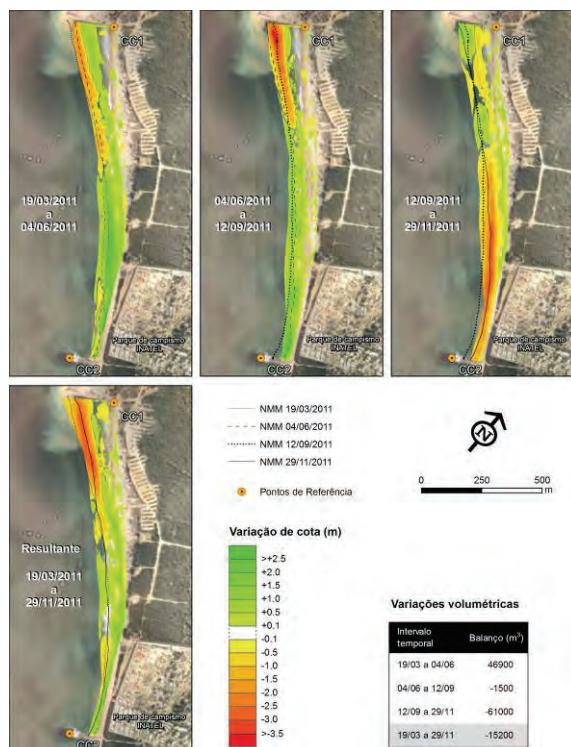


Fig. 3. Variação trimestral de cota e volume (balanço em m³) na praia de São João da Caparica, ao longo do ano de 2011.

Este padrão inverteu-se no terceiro trimestre monitorizado (entre Setembro e Dezembro), com acentuada erosão no sector sudeste, acompanhada de um recuo de cerca de 35 m da linha de costa, mostrando o predomínio, neste período, de padrão rotacional da praia em sentido anti-horário. Os volumes perdidos neste período não foram, no entanto, compensados com ganhos no sector noroeste, tendo-se estimado uma perda de 61000 m³ da parte subaérea da praia. O balanço final, entre o primeiro e o último levantamento, é negativo, com uma perda de cerca de 15000 m³ e um recuo da linha de costa junto ao esporão norte de cerca de 35 m. As variações observadas ao nível da configuração planar na praia, ao longo de um ano, mostram clara alternância dos processos de acumulação/erosão nas extremidades desta célula costeira, sugerindo a existência de um processo de rotação sazonal da praia. Com a continuidade do programa de monitorização será possível detectar eventuais padrões anuais, ou tendências de longo-termo, e relacioná-los com os factores forçadores, como as alterações no regime de agitação marítima.

5. CONCLUSÕES

O programa de monitorização em curso, irá suportar a construção de uma base de dados consistente e sistemática sobre a morfodinâmica das praias e de indicadores de gestão costeira, e constituirá a base de referência para a caracterização do litoral arenoso sob jurisdição da ARH do Tejo. Estes estudos servirão para identificar os métodos mais eficazes, numa perspectiva de custo/benefício, para suportar

um programa de monitorização de longo-termo que permita caracterizar a variabilidade morfodinâmica das praias à escala espacial local e regional, e a escala temporal sazonal, plurianual e de longo-termo. O aprofundamento do conhecimento sobre os fenómenos potencialmente geradores de risco para pessoas e bens ajudará a fundamentar a adopção das necessárias medidas de mitigação e controlo; e os resultados do programa de monitorização suportarão a elaboração dos vários planos de gestão e ordenamento do espaço costeiro.

REFERÊNCIAS

- Andrade, C., Freitas, M.C., Cachado, C., Cardoso, A., Monteiro, J., Brito, P. e Rebelo, L. (2002). Coastal zones, Chapter 6. In: Santos, F.D., Forbes, K. e Moita, R. (eds.) *Climate change in Portugal: scenarios, impacts and adaptation measures, SIAM Project*, Gradiva, Lisboa, 173-219
- Andrade, C., Oliveira Pires, H., Silva, P., Taborda, R. e Freitas, M.C. (2006). Zonas Costeiras. In: Santos, F.D., Moita, R. e Miranda, P. (Eds.) *Alterações Climáticas em Portugal, Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação, Projecto SIAM II*, Gradiva, Lisboa, 169-206.
- Andrade, C., Marques, F., Taborda, R., Freitas, M.C., Silveira, T., Antunes, C., Barata, A., Rosa, T., Fortunato, A.B., Oliveira, A., Marques da Silva, J., Cabral, H., Brotas, V., Correia, O. e Branquinho, C. (2010). Sistema de Monitorização no Litoral na Área de Actuação da ARH do Tejo. *Revista InfoTejo* N^o9, Novembro 2010, p. 1 e 10.
- Ferreira, Ó., Dias, J.A. e Taborda, R. (2008). Implications of sea-level rise for continental Portugal. *Journal of Coastal Research*, 24(2), 317-324.
- Ferreira, Ó., Garcia, T., Matias, A., Taborda, R. e Dias, J.A. (2006). An integrated method for the determination of setback lines for coastal erosion hazards on sandy shores. *Continental Shelf Research*, 26, 1030-1044.
- Veloso-Gomes, F., Taveira-Pinto, F., das Neves, L. e Pais-Barbosa, J. (2006). *EUrosion - A European Initiative for Sustainable Coastal Erosion. Pilot Site of River Douro - Cape Mondego and Case Studies of Estela, Aveiro, Caparica, Vale do Lobo and Azores*. IHRH, Porto, 317 pp.
- Veloso-Gomes, F., Barroco, A., Ramos Pereira, A., Sousa Reis, C., Calado, H., Gomes Ferreira, J., Freitas, M.C. e Biscoito, M. (2008). Basis for a National Strategy for Integrated Coastal Zone Management in Portugal. *Journal of Coastal Conservation*, 12(1), 3-9.

Coastal video monitoring: the Nazaré system.

R. Taborda (1,2), A. Silva (1,2), J. Duarte (3) e M. Carapuço (1,2)

- (1) Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. rtaborda@fc.ul.pt
 (2) Instituto Dom Luiz, Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisboa.
 (3) Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas, 49, 1249-093 Lisboa.

Abstract: The use of video systems for coastal monitoring purposes experienced a significant development over the last years in response to the increasing need of acquiring a comprehensive understanding of the coastal environment. The main aim of this work is to describe a video monitoring system (COSMOS – cosmos.fc.ul.pt) installed at Nazaré lighthouse, in operation since 2009. The COSMOS acquires snapshot images of Praia do Norte beach at 1 Hz supporting the generation of Timex (10 min. average) images from which the coastline position is extracted using supervised image classification algorithms. Presently the system is being complemented with additional cameras, targeting the nearshore and the Nazaré beach, in order to support the characterization of the wave deformation over the Nazaré Canyon head and to enable an integrated analysis of the shoreline evolution in at a wide range of time-scales (hours to years).

Key words: Video monitoring, Nazaré, COSMOS

1. INTRODUCTION

Understanding shoreline change is an essential element to support coastal planning and management. A major challenge in this task is to recognize and comprehend coastal behavior in a wide range of spatial and temporal scales.

In this context, over the past 20 years, video systems have emerged as a powerful tool (Holman and Stanley, 2007), enabling the acquisition of data related to a large range of coastal phenomena including beach morphology (Plant and Holman, 1997), swash processes (Holland et al., 2001), nearshore bar morphology (Holman et al., 1993), longshore currents (Cohen et al, 2004) and surf zone bathymetry (Stockdon and Holman, 2000).

This work aims to describe the implementation and application of a COaStal video MOonitoring System (COSMOS) in the understanding of beach morphodynamics in the vicinity of the Nazaré headland.

2. SYSTEM DESCRIPTION

The coastal video monitoring system (COSMOS) is being developed at the University of Lisbon since 2007 (Silva et al., 2009). This lightweight system targets several key characteristics including portability, low-cost, robustness and easy installation. The system is based on the principle of terrestrial photogrammetry in which the position of the objects in the field can be related with their projection on the image, allowing the acquisition of quantitative field information from remote images.

The system is composed of three main modules: image acquisition, image processing and feature extraction and geometric correction (Fig. 1).

2.1 Image acquisition

In the present system, image acquisition is performed using an internet protocol (IP) Mobotix video camera, with 3.1 megapixel resolution which allows the capture of high frequency, high resolution, JPG snapshot images. The camera has non-metric lens with a 43 mm equivalent (35mm) focal distance and a horizontal image angle of 45° and vertical of 34°. Images are recorded on-site to a high capacity hard disk.

2.2 Image processing and feature extraction

One of the most useful outcomes of a video monitoring system are TIMEX and SIGMA images (Holland et al., 1997). The former are built from averaging a collection of snapshots acquired from a stationary field of view, while the latter correspond to the standard deviation of grayscale pixel intensities. These procedures have been implemented in a tool named COSMOS IPT (image pre-processing routines), a windows program developed in C#.

Feature extraction can be related to a plethora of beach and oceanographic indicators such as shoreline position, intertidal beach topography and swash line recognition. In COSMOS these tasks are performed using standard image analysis algorithms available either from commercial and open-source software.

2.3 Geometric correction

The geometric correction is the core of any coastal video monitoring system, particularly those based on non-metric cameras such as COSMOS. The transformation of image coordinates into world coordinates involves three main steps: i) camera calibration, where the internal camera parameters are determined in the laboratory, this procedure is essential and even crucial if video systems are built

upon standard non-metric cameras; ii) the development of image correction subroutines, which aimed to correct the relatively large image distortions induced by camera optics; iii) the development of image rectification subroutines to transform oblique images into vertically equivalent images; this transformation is based on external camera orientation parameters obtained in the field through the surveying of ground control points.

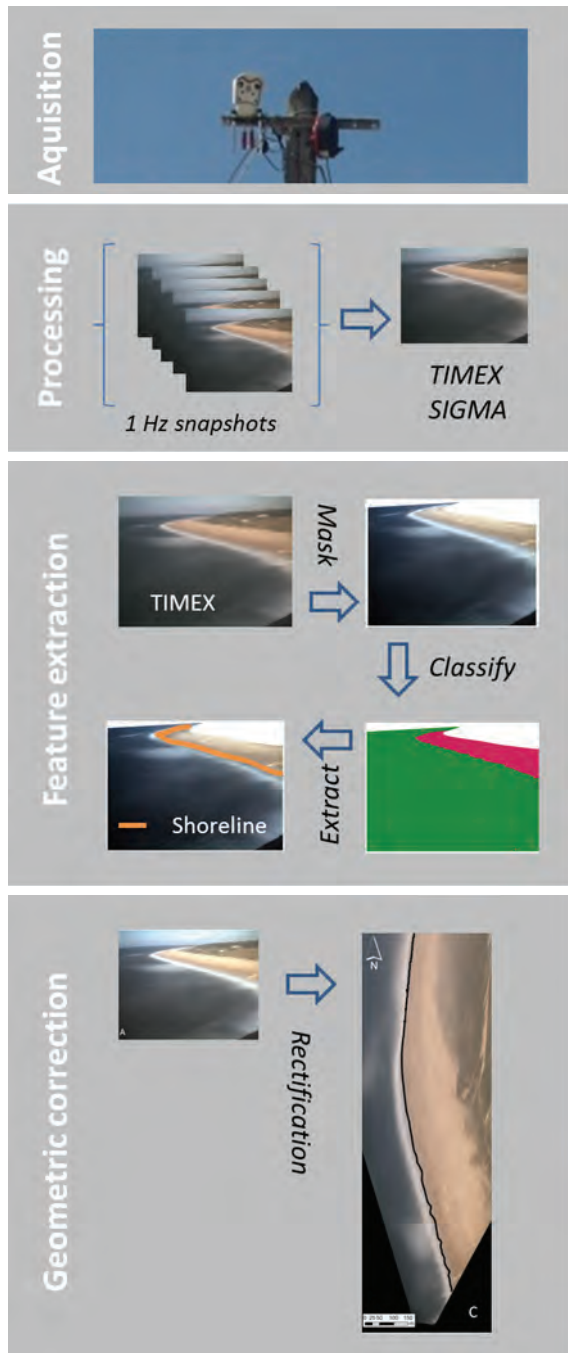


Fig. 1 – Main video monitoring procedures: image acquisition, image processing, feature extraction and geometric correction.

In the COSMOS geometric correction tasks were accomplished using the Rectify Extreme program, a tool developed in the scope of the present work in Windows using C# and MATLAB® programming

languages and which is freely available at system website (<http://cosmos.fc.ul.pt>).

After the completion of the rectification processes, the application automatically writes a Tiff World File (a six-parameter plain text file used in the affine transformation from image coordinates into map coordinates), so the rectified georeferenced images can be directly imported by standard GIS applications (either commercial or open-source).

3. NAZARÉ MONITORING SITE

Nazaré is located in the west coast of Portugal, at the southward end of the littoral cell that extends from Douro river mouth to the Nazaré Canyon head (Fig. 2). This coastal stretch is fully exposed to the North East Atlantic wave regime characterized by a NW predominant swell superimposed with a less energetic local wind sea with a wider directional spread. The Nazaré canyon, cuts the full width of the continental shelf and slope, with an approximate E-W orientation, and has been reported in the literature as the major active sediment conduit to the abyssal plain. Canyon morphology strongly disturbs the wave propagation pattern over the nearshore area and is responsible for interrupting the net southward longshore sediment transport.

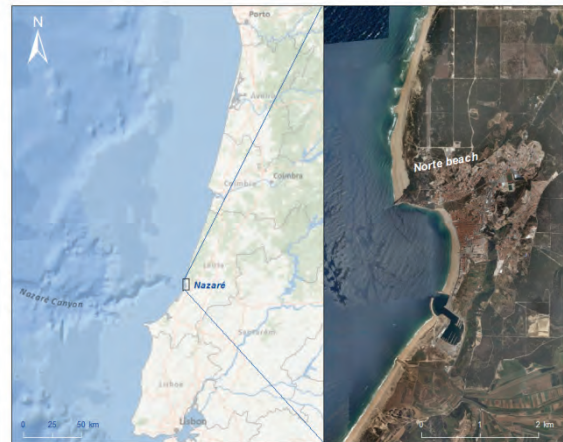


Fig. 2. Nazaré site location map.

This peculiar situation makes this coastal stretch particularly interesting and a case study in what concerns the understanding of the processes related to the injection of coastal sediments into the canyon head (see Duarte et al., this volume). In order to understand these processes it was decided to install a video monitoring system at Nazaré.

The first camera (Camera 1) was installed on December the 29th, 2008 at the Nazaré lighthouse facility (Forte de São Miguel) located at the Nazaré headland (Fig. 3). The camera was installed on a metallic pole on the roof of the building, approximately 50 m above mean sea level, and connected to a PC through an Ethernet cable. Prior to installation, the camera was carefully calibrated in the laboratory using the methodology described in Vision Caltech (2009). Image acquisition takes

place, at selected hours during daylight, with a 1 Hz frequency and images are recorded in an on-site hard disk. The system was setup to monitor the Norte beach, along a coastal stretch that extends for more than 1 km alongshore. Due to operation constrains, mainly related to power failures, the system only became fully operational since October 15th, 2009. Camera external orientation was estimated using a set of ground control points (GCPs); the relation between undistorted image coordinates and ground coordinates was performed manually in the *Georref* tool, a component of the *Rectify Extreme* software



Fig. 3 – Study site with cameras location, range and target areas.

On January 30, 2012 a second camera (Camera 2) was installed at the Nazaré lighthouse facility, in a place close to the first camera but looking directly to the ocean (Fig. 3). The aim of this camera is to acquire data on the incident wave regime, specifically targeting the characterization of the wave deformation over the Nazaré Canyon head, which is responsible for the generation of unusual high waves. Image acquisition was programed to 1 Hz frequency in one hour bursts starting at 9h30, 12h30 and 15h30.

On April 12, 2012 a third camera (Camera 3) was installed at the Sítio da Nazaré, at the support room of the sanitary facilities located at N.^a Sr.^a da Nazaré square (Fig. 3). The camera is oriented southward, with an excellent overview over the Nazaré beach. Image acquisition was programed to 1 Hz frequency in one hour bursts starting at 9h30, 12h30 and 15h30. As both cameras 2 and 3 are still in the test phase, data exploitation is presently limited to camera 1.

4. RESULTS

An example of the results obtained with camera 1 during 2010 is displayed in Fig. 4. In the images is

possible to see that the beach experienced a huge cross-shore variation (more than 100 meters), related with the seasonal variation in the wave forcing. Particularly interesting is the observation made in August, where the northerly wave sea induces a high southward longshore drift, which exceeds the retention capacity of the Nazaré headland. The understanding and quantification of this behavior will give valuable information concerning longshore sand transport magnitude updrift of Nazaré headland and simultaneously on the magnitude and frequency of littoral sand injection into the canyon head.



Fig. 4 –Norte beach at selected dates during 2010 (TIMEX images).

An illustration of image rectification and pixel footprint is displayed in Fig. 5. Pixel footprint, which represent the dimension of each pixel in the geographic space, shows the typical contrast between alongshore and cross-shore components: the alongshore footprint is more sensitive to the distance from the camera and ranges from a few decimetres to more than 10 m when the distance exceeds 1 km; on the other hand, the cross-shore component is generally lower than 2 m throughout the target area. As pixel footprint affects the accuracy of the extracted beach features, it is expected that the positional accuracy will decrease when the distance from the camera increases.

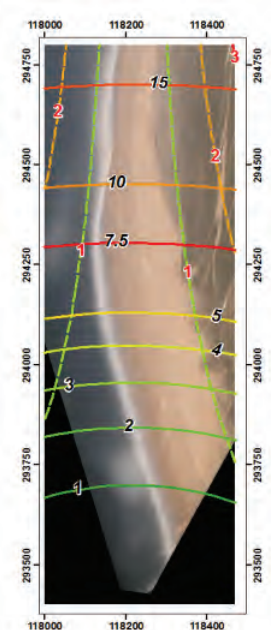


Fig. 5 – Pixel footprint (m) across Norte beach (Nazaré) study site. Solid lines: longshore component; dashed lines – cross-shore component. Grid coordinates: ETRS89 PT-TM06 (EPSG:3763).

Results from automatic image classification are displayed in Fig. 6. This classification, which targeted the extraction of coastline position, was performed using supervised image classification algorithms.

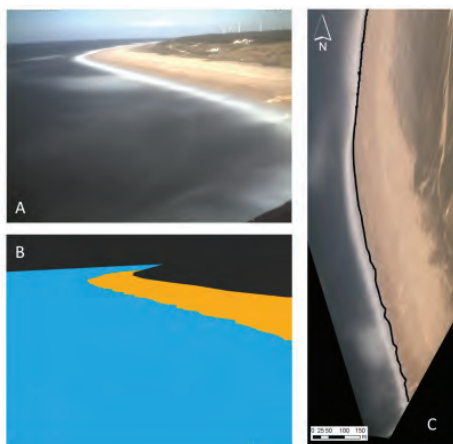


Fig. 6 – Example of coastline extraction using maximum likelihood classification: A) original image; B) classified image; C) extracted coastline over a rectified image.

5. CONCLUSIONS

This work describes a coastal video monitoring system (COSMOS) which aims to provide new coastal data, complementing the existing video systems, with the advantage of being portable, flexible and low-cost. This coastal video monitoring system has been in operation at Nazaré since 2009 and has demonstrated great potential to the understanding of the coastal morphodynamics in the vicinity of the Nazaré canyon head. Presently, the system is extended with two additional cameras, targeting the nearshore and the Nazaré beach, in

order to support the characterization of the wave deformation over the Nazaré Canyon head and to enable an integrated analysis of the shoreline evolution over the coastal sketch that extend from Norte beach to the Nazaré bay.

All data and software is freely available to the scientific community and end-users so that the system can be exploited to its full potential and be used in support of coastal zone management.

Acknowledgments

This work is supported by the project Beach to Canyon Head Sedimentary Processes funded by Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT –PTDC / MAR / 114674 / 2009). Ana Silva benefited from a PhD grant awarded by FCT (SFRH / BD / 41762 / 2007). This work has profit from fruitful discussions with João Catalão.

The Beach to Canyon team wishes to thank the Nazare Municipality, Capitania do Porto da Nazaré and Confraria de Nossa Senhora da Nazaré for providing major support on field activities.

REFERENCES

- Cohen, A., Aarninkhof, S., Chickadel, C. (2004). Video-derived observations of longshore currents, *Proceedings of the 29th ICCE*, ASCE, Lisbon, 1468-1479.
- Holland, K.T., Holman, R.A., Lippmann, T.C., Stanley, J., Plant, N. (1997). Practical use of video imagery in nearshore oceanographic field studies. *IEEE Jour. Oceanic Eng.*, 22, 81-92.
- Holland, K.T., Puleo, J.A., Kooney, T.N. (2001). Quantification of swash flows using video-based particle image velocimetry, *Coast.Eng.*, 44:65-77.
- Holman, R.A., Sallenger, J., Lippmann, T.C., Haines, J.W. (1993). The application of video image processing to the study of nearshore processes. *Oceanography*, 6, 78-95.
- Holman, R.A., Stanley, J. (2007) The history and technical capabilities of Argus. *Coast.Eng.* 54:477-491.
- Plant, N, Holman, R.(1997) Intertidal beach profile estimation using video images. *Mar.Geol.* 140:1-24
- Silva, A., Taborda, R., Catalão, J., Freire, P. (2009). DTM extraction using video-monitoring techniques: application to a fetch limited beach. *Journal of Coastal Research*, SI 56, 203-207.
- Stockdon, H. F., Holman, R. A. (2000). Estimation of wave phase speed and nearshore bathymetry from video imagery. *Journal of Geophysical Research*, 105(C9): 22015-22034.
- Vision Caltech, 2009. www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc, [accessed 15 January, 2012].

Capacidade limite de sustentação de âncoras de arraste em solos arenosos: análise preliminar

J. Pombo (1), A. P. Silva (2), A. Rodrigues (1) e A. S. Ferreira(3)

- (1) Instituto Hidrográfico. joaquim.pombo@hidrografico.pt
 (2) DCT - CICEGe, FCT - Universidade Nova de Lisboa
 (3) IPTM, IP – Instituto Portuário e dos Transportes Marítimos

Resumo: Nas últimas décadas tem-se verificado o desenvolvimento tecnológico associado ao aproveitamento das energias renováveis e, de uma forma especial, da energia das ondas. Os dispositivos instalados no mar aberto, por estarem sujeitos a difíceis condições meteo-oceanográficas, requerem sistemas de fundeamento com elevada capacidade de sustentação. Este é, juntamente com as características e agressividade do meio ambiente marinho, os aspetos mais delicados e que requerem maior investimento nas fases iniciais de qualquer projeto de aproveitamento de energia das ondas. Nesta comunicação é analisada, com recurso a cálculos de equilíbrio limite e ao método dos elementos finitos, a capacidade limite de sustentação de âncoras de arraste cravadas em sedimentos arenosos. O estudo, realizado numa área da plataforma continental média, a norte do canhão da Nazaré, é suportado na caracterização geológica e geotécnica, efetuados recorrendo a amostras e dados reais.

Palavras chave: Elementos finitos, Equilíbrio Limite, Geotecnia, Areias

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas tem-se verificado um acréscimo da procura de locais em *offshore* para investigação e instalação de estruturas para aproveitamento da energia das ondas e da energia eólica.

Em Portugal, devido às excelentes condições meteo-oceanográficas, fisiográficas e sedimentológicas da respectiva plataforma continental, têm surgido alguns projectos para exploração destas fontes energéticas. Neste sentido, foi criada, por decreto governamental, uma “Zona Piloto para as Energias das Ondas”.

A instalação deste tipo de estruturas em *offshore* necessita informação adicional, a nível de parâmetros mecânicos, para garantir a segurança dos dispositivos que se encontram sujeitos a esforços relacionados com a ondulação.

No presente artigo sintetizam-se os resultados preliminares obtidos no âmbito de uma investigação em curso para fundear estruturas para produção de energia de ondas em *offshore*, a média profundidade, referindo-se em particular duas metodologias utilizadas para analisar a capacidade limite de sustentação de âncoras de arraste em solos arenosos.

2. SISTEMAS DE FUNDEAMENTO

O fundeamento de estruturas flutuantes é realizado usualmente através de dois sistemas, o sistema tradicional em catenária (figura 1) ou o sistema *taut leg* (figura 2)

O sistema de fundeamento em catenária (figura 1), necessita que grande parte do comprimento das suas linhas de amarração estejam em contacto com o subsolo marinho, por forma a transferir apenas, para o sistema de fixação, forças com direcção horizontal. Por este motivo, este sistema de fundeamento

necessita de um grande comprimento das linhas de amarração e, conseqüentemente, tem um grande raio de ancoragem. Devido ao possível congestionamento de amarrações no fundo marinho e ao elevado custo das linhas de amarração este tipo de sistema é usualmente usado até aos 1000 m de profundidade da coluna de água. No caso de fundos marinhos predominantemente arenosos, os sistemas de fixação ao subsolo mais utilizados pelo sistema de fundeamento em catenária são as dragas de arraste e as poitas.

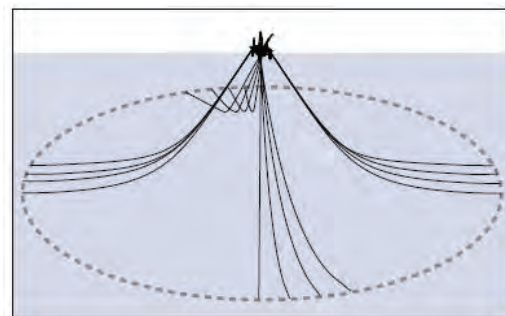


Fig. 1. Sistema de fundeamento em catenária (Vryhof, 2010)

O sistema *taut leg* (figura 2) permite reduzir o comprimento e diâmetro das linhas de amarração, as quais ficam esticadas e podem transferir para os sistemas de fixação não só as forças horizontais como também as forças verticais. Devido a este novo conceito de fixação, o sistema *taut leg* necessita de ter sistemas de fixação, ao subsolo marinho, que suportem as forças de tracção vertical, como é o caso das estacas, estacas/âncora de sucção, âncoras torpedo e âncoras de carga vertical (VLA). Normalmente este sistema de fundeamento é utilizado para profundidades de coluna de água superior a 1000 m.

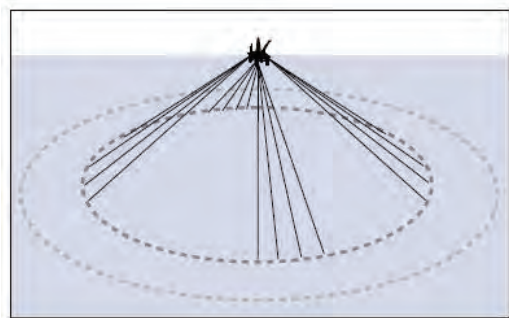


Fig. 2. Sistema de fundeamento taut leg (Vryhof, 2010)

Para desenvolvimento do trabalho que se apresenta, baseado num sistema de fixação em catenária com dragas de arraste no *offshore* português, foram considerados os estudos geológicos e geotécnicos preliminares obtidos por Pombo *et. al.* (este volume) para uma área de referência com aproximadamente 13 km², localizada entre 30 e 60 m de profundidade, ao largo de S. Pedro de Muel, (Figura 3). Do ponto de vista sedimentológico, o solo marinho é caracterizado pela existência de dois depósitos sedimentares principais, um de areias finas e outro de areias cascalhentas.

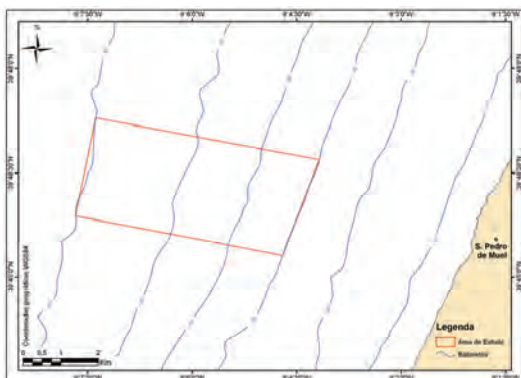


Fig. 3. Localização da área de estudo.

3. SISTEMA DE FIXAÇÃO AO SUBSOLO

Com base na localização, nas características geológicas e geotécnicas, e no adequado sistema de fixação, foram definidas, através do recurso ao método de equilíbrio limite (Neubecker e Randolph, 1996a, 1996b) e dos elementos finitos, as tensões a que vão estar submetidas os terrenos do fundo marinho no local de fundeamento após a instalação da âncora e quando esta está sujeita a uma força limite de serviço.

A âncora de arraste selecionada para o presente estudo é a âncora Stevpris MK6 da Vryhof (2010) pelas razões seguintes: a) é uma das mais utilizadas âncoras de arraste em todo o mundo; b) pertence à classe A, isto é, ao grupo de âncoras mais eficientes e c) por ser aquela em que estão disponíveis e tabeladas as informações indispensáveis aos cálculos a empreender.

Os métodos de cálculo propostos para determinação da capacidade limite de sustentação das âncoras de arraste foram realizados com base nas suas geometrias simplificadas em 2D. A geometria simplificada da âncora Stevpris MK6 de 5 ton encontra-se representada na figura 4.

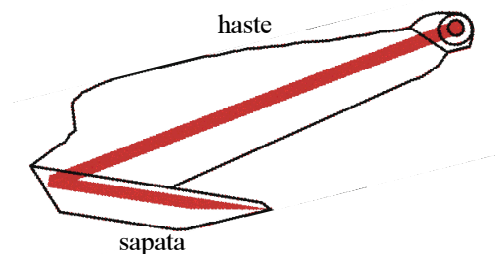


Fig. 4. Âncora Stevpris MK6: a vermelho encontra-se representada a geometria simplificada utilizada nos dois métodos de cálculo.

4. MÉTODO DE EQUILÍBRIO LIMITE

A teoria do método de equilíbrio limite (proposta por Le Lievre e Tabatabaee, 1979; 1981) permite obter resultados razoáveis sobre a capacidade limite de sustentação de âncoras de arraste em sedimentos arenosos. A teoria inicial foi retomada por Grote (1993), que após redefinição dos cálculos para quantificar a resistência em solos lodosos e arenosos, propôs um modelo idêntico para estes tipos de solos lodosos e arenosos.

Neubecker e Randolph (1996a, 1996b), basearam-se no modelo proposto por Le Lievre e Tabatabaee (1981) para propor um novo modelo que incorporasse, por um lado, as forças actuaes na área sob a sapata e, por outro, uma superfície de rotura do solo mais realista. Esta modificação do modelo é particularmente importante para situações em que as âncoras de arraste penetram pouco no subsolo, que será o caso dos sedimentos arenosos da zona em estudo (figura 5).

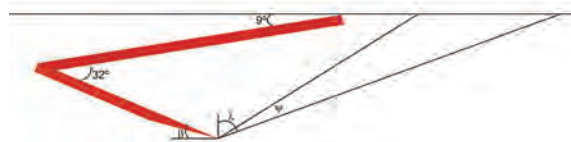


Fig. 5. Esquema representativo da posição provável da âncora após instalação em sedimentos arenosos (ver simbologia na tab.I).

O presente artigo baseou-se nos modelos propostos, quer por Neubecker e Randolph (1996a), quer por Miedema *et al.* (2006), que considera quatro fases de penetração das âncoras no subsolo marinho. Assim, no primeiro passo, determina-se a área transversal da cunha de rotura (A) através da seguinte fórmula de Neubecker e Randolph (1996a).

$$A = \frac{H^2 - h^2}{2 \times \tan \beta} + \frac{H^2 \times \tan \lambda}{2} \quad [1]$$

A extensão lateral da cunha de rotura (X) determina-se a partir da seguinte equação de Neubecker e Randolph (1996a):

$$X = \frac{H \times \tan \psi}{\cos(\lambda - \psi)} \quad [2]$$

A equação [3] proposta por Neubecker e Randolph (1996a) permite, através de uma aproximação piramidal para os lados da cunha, determinar o peso do solo mobilizado na âncora (W_s).

$$W_s = A \left(\gamma \times B + \frac{2}{3} \times \gamma \times X \right) \quad [3]$$

Através da equação [4] proposta por Vermmer e Sutjiadi (1985) determina-se o atrito lateral no solo (SF).

$$SF = \frac{\gamma \times L \times (H + h)^2 \times (\sin \phi' - \sin \psi)}{4 \times \cos \psi \times (1 - \sin \phi' \times \sin \psi)} \quad [4]$$

A força exercida na haste (F_s) foi determinada através de Neubecker e Randolph (1996a):

$$F_s = A_s \times \gamma \times h \times Nq \quad [5]$$

Por último, através da equação proposta por Verruijt (2006) determina-se a força (F) exercida na sapata:

$$F = F' + \frac{1}{2} \times \gamma_w \times B \times h^2 \quad [6]$$

A tabela I apresenta uma síntese dos valores base adoptados nestes cálculos.

Símbolo	Designação	valor
H	Prof. do extremo inferior da sapata	1,738 m
h	Profundidade ligação sapata/haste	0,582 m
L	Comprimento da haste	3,723 m
A _s	Área da haste	6,63 m ²
B	Largura da sapata	4,602 m
d	Profundidade coluna de água	40 m
N _q	Factor de capacidade de carga	35
β	Inclinação da sapata com a horizontal	23°
λ	Atrito aço da âncora - areia	11°
ψ	Ângulo de dilatação	12°
γ	Peso volumico	9,6 kN/m ³
φ'	Ângulo de atrito efectivo	35

Tab. I. Lista da simbologia utilizada e respectivos valores.

5. MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

O método dos elementos finitos (FEM) tem sido cada vez mais utilizado na investigação das

interacções entre o subsolo e as âncoras para fixação de estruturas uma vez que possibilitam efectuar, de forma rápida e com aproximação elevada, uma análise numérica da capacidade limite de sustentação das âncoras de arraste nos subsolos marinhos baseada, no caso de sedimentos arenosos, em modelos elásticos de comportamento.

No entanto, é necessário adoptar precauções na utilização deste tipo de modelos uma vez que a análise numérica final depende, quer da exactidão dos dados introduzidos, quer das condicionantes seleccionadas, pelo que devem ser devidamente validados. Neste sentido, é adequado comparar os resultados provenientes dos FEM com outros métodos de cálculo, nomeadamente os do cálculo de equilíbrio limite anteriormente descrito.

Na definição deste modelo foram consideradas os seguintes parâmetros para o solo (tabela II), tendo a âncora sido aproximada por uma viga suficientemente rígida para não influenciar o comportamento do solo.

Parâmetros do solo	valor
Módulo de elasticidade (E)	20 MPa
Coefficiente de Poisson (ν)	0,33
Coesão (c)	0
Ângulo de atrito (φ)	35 °

Tab. II. Parâmetros do solo utilizados no modelo.

A malha utilizada no modelo é constituída por 8925 elementos finitos triangulares e quadriláteros, sendo os elementos triangulares definidos por 6 nós e os quadriláteros por 8 nós.

Para evitar as influências das condições de contorno do modelo nas respostas da âncora, a camada de subsolo foi sobredimensionada, isto é, para a âncora com dimensões aproximadas de 4m x 4m foi considerado uma área de subsolo com 50 m de comprimento por 25 m de profundidade (Figura 6).

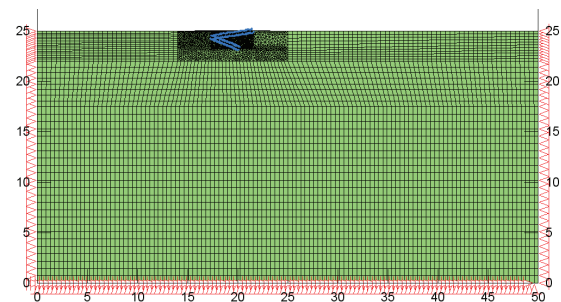


Fig. 6. Visão geral do modelo FEM utilizado.

Relativamente às condições de contorno, a região do subsolo foi restringida no seu raio limite na direcção horizontal e na base da região na direcção vertical e horizontal.

Considerou-se ainda uma força de 2 000kN que seria aplicada pela linha da amarra num nó da malha coincidente com o extremo livre da haste da âncora. A aplicação dessa força vai provocar uma concentração de tensões no modelo junto ao seu

ponto de aplicação, devido à transferência da carga da malha para os elementos sólidos da âncora; no entanto, as tensões e os deslocamentos globais no conjunto não são afectados.

6. RESULTADOS

Pelo método de equilíbrio limite obtiveram-se tensões horizontais totais na ordem dos 1100 kPa na ligação haste/sapata, e isto considerando secção métricas unitárias por conveniência de comparação com resultados do FEM.

Depois de completada a análise pelos FEM (Figura 7), ficou-se a conhecer a ordem de grandeza dos valores aproximados de deslocamentos e de tensões máximas no solo (Fig. 7-a), que têm o valor de cerca 800 kPa no extremo da haste e de 1200 kPa na ligação haste/sapata. O deslocamento máximo horizontal registado, de empolamento, foi da ordem de 14 cm (Fig. 7-b).

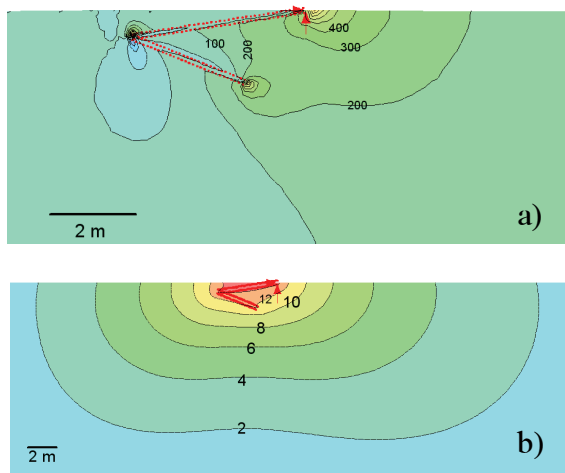


Fig. 7. Gráficos pela análise de FEM: a) tensões máximas no solo em kPa; b) deslocamentos máximos na horizontal em centímetros.

7. CONCLUSÕES

Embora o cálculo de equilíbrio limite seja considerado o melhor método analítico disponível para prever o comportamento de uma sapata em areias, o cálculo efectuado tem um enviesamento por não ser possível ainda prever a penetração inicial da âncora no fundo marinho. Deste modo, os valores obtidos neste tipo de análises devem ser sempre analisados com a adequada ponderação.

Os valores obtidos nos métodos acima descritos permitirão definir a trajectória de tensões, bem como os respectivos valores a adoptar para a tensão vertical e de confinamento no âmbito de ensaios triaxiais a que serão submetidas as amostras inalteradas entretanto colhidas na área sob investigação. Só na posse dos resultados destes ensaios, se poderão refazer os cálculos com valores mais aproximados aos reais para os parâmetros característicos do comportamento mecânico e, portanto, ter uma melhor aproximação ao

dimensionamento do fundeamento a adoptar para as estruturas a implantar no mar.

Após a instalação das âncoras no subsolo deve-se determinar a profundidade efectiva de enterramento e, com os resultados provenientes, recalculer a capacidade limite de sustentação anteriormente estimada.

REFERÊNCIAS

- Grote, B.J.H. (1993). "Simulation of Kinematic Behavior of Workanchors." Faculty of Mechanical Engineering, Offshore Engineering Major, Report nr: 92.3.GV.3034, 93.3.GV.4074 and 93.3.GV.4167, Delft University of Technology.
- Le Lievre, B. and Tabatabaee, J. (1979). Holding capacity of marine anchors in sand. *1st Canadian Conference on Marine Geotechnical Engineering, Calgary, Alta.*, pp. 301-311.
- Le Lievre, B. and Tabatabaee, J. (1981). The performance of marine anchors with planar flutes in sand. *Canadian Geotechnical Journal*, 18:520-534.
- Miedema, S.A., Lagers, G.H.G., Kerkvliet, J., "An Overview of Drag Embedded Anchor Holding Capacity for Dredging and Offshore Applications". WODCON, Orlando, USA, 2007.
- Neubecker, S.R. and Randolph, M.F. (1996). "The Kinematic Behavior of Drag Anchors in Sand." *Canadian Geotechnical Journal* 33: 584-594
- Neubecker, S.R. and Randolph, M.F. (1996). "The Static Equilibrium of Drag Anchors in Sand." *Canadian Geotechnical Journal* 33: 574-583
- Pombo, J., Rodrigues, A., Silva, A.P., Reis, L. (2012). "Estudos geológicos e geotécnicos para fundeamento de estruturas flutuantes". *2as Jornadas de Engenharia Hidrográfica*. Lisboa.
- Vermmer, P.A. and Sutjiadi, W. (1985). The uplift resistance of shallow embedded anchors. *Proceedings of the 11th international Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco*, vol.3, pp. 1635-1638.
- Verruijt, A. (2006). "Offshore Soil Mechanics. Delft University of Technology. Holanda. 204p.
- Vryhof Anchors (2010). *Anchor Manual*. Krimpen ad Yssel, The Netherlands.

SESSÃO ESPECIAL

Underwater gliders: Improving the ocean observation strategy in the Macaronesian region

C. Barrera (1), M.J. Rueda (2), E. Brito de Azevedo (3), M.D. Gelado (4),
C. Correia (5) e O. Llinás (1)

(1) PLOCAN. PO Box 413. Telde. Las Palmas. Spain. carlos.barrera@plocan.eu

(2) ICCM. PO Box 56. Telde. Las Palmas. Spain

(3) CMMG-UAC. Rua Capitão João de Ávila. 9700-042 Angra do Heroísmo. Terceira. Azores. Portugal

(4) ULPGC. Campus Universitario de Tafira. 35017. Las Palmas. Spain

(5) APRAM. Av. Sá Carneiro, 59004-518. Funchal. Madeira. Portugal

Abstract: In-situ ocean observations have been traditionally carried out through oceanographic ships, VOS, moorings, drifters and floats mainly. All of them are able to sample water column biogeochemical parameters but not always within the right spatial-temporal resolution, operational and cost-effective required ratio.

Nowadays, cutting-edge technology tools allows to have autonomous and permanent ocean sites furnished with multidisciplinary observing platforms and sensors, providing product-information to the end-users in real time.

The European Station for Time-series in the Ocean -ESTOC-, as internationally recognized ocean site in the Eastern Central Atlantic (Macaronesian region), has recently improved its sampling program with underwater gliders technology.

This new approach is the result of a collaborative effort between the Oceanic Platform of the Canary Islands -PLOCAN- and the Marine Sciences Institute of Canary Islands (ICCM) where PLOCAN provide all the technical and operational logistics required by the end user, managed by ICCM through its Oceanography's Department.

Keywords: glider, monitoring, oceanography, AUV, Macaronesia, underwater vehicle, ocean observations, time-series, end-user.

1. INTRODUCTION

The marine environment is a complex and turbulent system where strong interactions between physical, chemical, and biological processes take place. The interaction of these processes occur on scales from a few meters to thousands of kilometers in space and from hours to more than decades in time, which makes it particular challenging to investigate. One basic requirement for a comprehensive analysis of the marine environment is the simultaneous acquisition of the various physical, chemical, and biological parameters. Another requirement is to observe the wide range of spatial and temporal scales. It is clear that only the structured interplay of a variety of observing system components can keep with this challenge.

The international Global Ocean Observing System (GOOS) has been set up to value and organize the different marine observing components into one coherent system. GOOS is a contributor to the Global Earth Observation System of Systems (GEOSS), which exists to monitor the environment and assist stakeholders in taking decisions. The current design of GOOS is not optimized in sampling capabilities (e.g. eastern and western boundary currents are not well sampled) as well as parameter space (e.g. marine ecosystem state variables are only very poorly resolved). It will be shown in this work how gliders can help to further optimize GOOS in a regional context as is the Macaronesia region. Nowadays there

is a new research strategy concept in the area supported mainly by Azores, Madeira and Canaries through the named R3M (Macaronesian Marine and Maritime Network).

2. IN-SITU OCEAN OBSERVATIONS IN THE MACARONESIAN REGION

In-situ observations of the marine environment of the Macaronesian region have been traditionally carried out by oceanographic ships, moorings, and floats, through several research programs and projects like MACSIMAR, Red ACOMAR, ALERMAC, CLIMARCOST, CLIMAAT, ESTOC, R3M, MaReS, among others. Used observing platforms in these projects can carry out multidisciplinary measurements of the ocean, but not always with the spatio-temporal resolution required. The key point here is to avoid any aliasing effect leading to erroneous conclusions. During the last 30 years, an increasing number of actions designed to estimate the ocean state or observe how climate change has unfolded in the ocean. Among those one can distinguish four in-situ observing strategies:

1) Process studies: many oceanic processes require further investigation and require in-situ observations that are able to resolve small and (sub)meso scale (1-100km, days/weeks), in relatively large areas (regions/basin) to be carried out.

2) Observatories: often with a multidisciplinary approach, observatories are set for decades in

particular areas (defined by a global vision as much as possible) to focus on particular processes defined by provinces that are characterized by a strong inter-annual variability.

3) **Observing systems for scientific projects:** many scientific projects aim to address the oceanic variability at low frequency and have set up observing systems to allow relatively long term observations (years) like repeated transoceanic sections and water samples collection in particular areas (on a week/month to multi-year basis) or mooring arrays (periods of years at a resolution of a few minutes).

4) **Operational oceanography:** the main focus is the real time data coverage and flow of information, as well as archiving, with the major constraint of real time and delayed-mode quality controls.

The widest variety of multidisciplinary measurements at high spatial resolution can be obtained from oceanographic research vessels. Unfortunately, logistic and economic aspects often invalidate them as platforms able to carry out continuous and sustained ocean observations. While analyses of hydrographic sections have shown changes between surveys it is often not clear what they mean. With less capacity for the measured parameters, ships of opportunity can be used for ocean monitoring but they are constrained to (commercial) timetables and maritime routes. Moorings provide multidisciplinary data with very high temporal resolution over long periods. Nowadays, moorings can operate for more than five years. Satellites and surface buoys and/or submarine cables for data transmission can convert them into sustained ocean observing platforms, allowing near real time data transfer to land bases. Results from moored systems at key locations have documented large variability but it is difficult to extract trends. The spatial resolution is very poor.

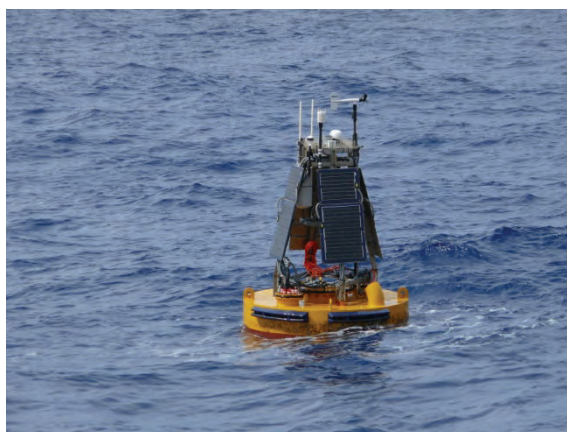


Fig. 1. Surface buoy at ESTOC site supporting a deep ocean multidisciplinary mooring over 3600 meters depth 60 Nm off-Gran Canaria. Satellite link telemetry and real-time data.

The international Argo program has been very successful in providing the first intensive data coverage of temperature and salinity in the upper

1000 to 2000m of the world ocean. This global array of profiling floats has been recently implemented and is a network capable of monitoring the global ocean in a full operational sense. A large number of floats makes it possible to monitor the ocean “randomly” and “on average” in a global manner, each float providing data every 10 days or so. The present array configuration of ~3000 floats gives a horizontal resolution (average distance between floats) of around 300km, in case the floats would be distributed evenly, and which is adequate to derive mean quantities as the average heat content or temperature on time scales of month. This is a rather coarse spatial and temporal resolution, which is difficult to increase. The number of floats required varies roughly quadratically with the average horizontal resolution of the system and in addition, floats drift out of divergent regions and into convergence regions according to the currents, which leads to uncontrolled gaps in the data coverage. Currently, the Argo program concentrates on physical measurements only but advances in biogeochemical sensors (Claustre *et al.*, 2010) may soon open the array for multidisciplinary research.

3. GLIDER TECHNOLOGY CONCEPT

Gliders have enhanced capabilities, when compared with profiling floats, by providing some level of maneuverability and hence position control. Gliders are buoyancy driven autonomous underwater vehicles able to perform saw-tooth trajectories from the surface to depths of 1000 m. (for now), along reprogrammable routes using two-way communication via satellite.

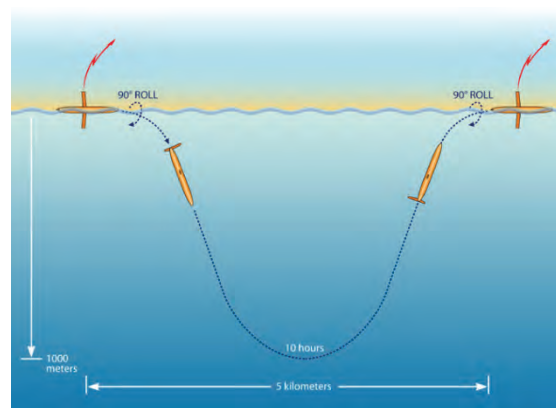


Fig. 2 The glider technology operational concept.

They achieve forward speeds of up to 40 km/day thanks to wings and rudders, and can be operated for a few months before they have to be recovered (Davis *et al.*, 2002) and (Rudnick *et al.*, 2004). Gliders can record physical and biogeochemical parameters during the dives. Even passive and active acoustic instruments have successfully been used. At each surfacing, they connect to a computer on land via the bidirectional Iridium satellite phone

system in order to send the data they collected and receive new commands from the operator in land, if necessary (at a rate of about 30-60Kbytes in 5 minutes every ~4-5 hours). Gliders are postulated to be less susceptible to damage from fish trawling than moorings and hourly/daily communication by satellite means that if a vehicle is lost or damaged the loss of data can be minimized. Replacing a glider is relatively easy and cheap compared to other operations at sea.

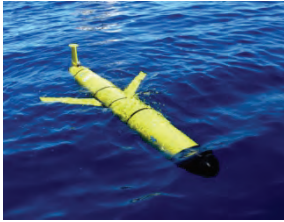


Fig. 3. Slocum glider concept



Fig. 4. Seaglider 1K concept



Fig. 5 A new concept of glider: Waveglider technology.

First conceived in 1986, the concept of use was developed in 1989 (Stommel, 1989), with the first prototype flight tests carried out in 1991 (Simonetti, 1992) and after a 'teenager' period starting around 2002, gliders are now being incorporated into the operational technology portfolios of many research institutions and agencies. It has been demonstrated that gliders are able to carry out high resolution measurements of not only physical (temperature and salinity as well as average velocities over a dive) but also biogeochemical parameters such as dissolved oxygen and fluorescence/optical backscattering at various angles and wavelengths (giving estimates of the Chla, Colored Dissolved Organic Matter CDOM, and Phycoerythrin concentrations, as well as the water turbidity and particle sizes). An example of data collected by a glider is shown in Figure 6, but there are many other experiments reported in the literature (Glenn *et al.*, 2008) or (Perry *et al.*, 2008), demonstrating that gliders can cover transects of hundreds of km, gathering physical and a biogeochemical data, on a long term basis (several months per deployment). Gliders can even contribute to studies on the behaviour of whales through acoustic sensors.

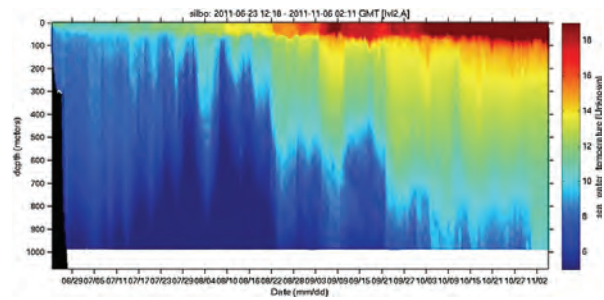


Fig. 6. Typical glider data set representation (water temperature in °C for this case) from a transect of roughly five month duration in the East-North Atlantic between Iceland and Azores.

4. GLIDER MISSIONS

During last three years, several missions for different purposes are underway in the Macaronesian area, promoted mainly by PLOCAN in cooperation with other local and external institutions/companies as a new way to monitor the surrounding waters of Canaries, Azores and Madeira. The most representative examples of these missions are:

Scarlet Knight (2009). With a clearly demonstrative capacity of this technology, the mission aim was to cross the Atlantic Ocean between New York and Galicia (via Azores). Four institutions (Rutgers University, Teledyne Webb Research, State Ports and PLOCAN) joined forces for 7400 miles of navigation during 221 day. This mission demonstrate the potential of this type of devices, mainly in the oceanic area, compared to other, which extrapolated at Macaronesian has allowed it to implement regional observing and forecasting programs between islands by using this new technology.

Rapid-WATCH (2009-present). Through a cooperation agreement between NOCS (UK) and PLOCAN, since early 2010 is running an ongoing program of deployment and operation of a glider fleet from Gran Canaria within the operational program WATCH Rapid observation (monitoring of traffic South Atlantic ocean).

INCOVIO (2011). CNRS, CIMAAR Madeira and PLOCAN joined a mission in September 2011 with a main goal of study and characterize sub-mesoscale structures placed South Madeira island, which play an important role in terms of productivity in the ocean.

Challenger One (2011-present). The goal is to repeat the global scientific expedition by HMS Challenger between 1872 and 1876. Divided into different transects, the first one (currently operating) is between Iceland and Canary Islands. On June 23, 2011 staff of the U.S. company Teledyne Webb Research and PLOCAN deployed off Reykjavik coast a Slocum glider under the name Silbo, which is expected to reach the Canary Islands in May

2012, having previously passed through the islands of Azores and Madeira. Piloted by scientists and technical staff of Rutgers University, UPLGC and PLOCAN, mission will provide information of high scientific value related to ocean circulation in the area. A second transect between the Canaries and the Caribbean region is expected during Summer 2012.

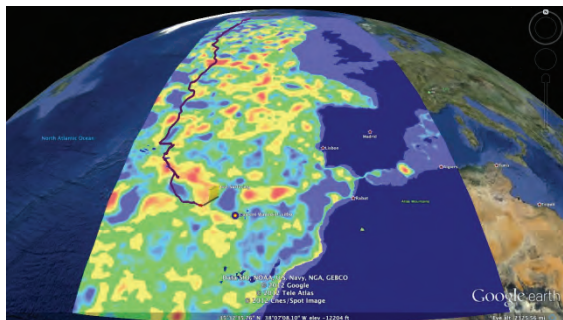


Fig. 7. Path described by Silbo glider along the East North Atlantic from Iceland, through the Macaronesian region until Canaries.

ESTOC program (2010-present). After more than 15 years of active and in-situ operation by using a wide range of instruments and devices (oceanographic vessels, CTD / Rosette, XBT, moorings, synoptic, drifters,...) the ESTOC site has updated its permanent observational program with gliders as cutting-edge tools to maintain the sampling and continued occupation strategy, providing real-time data of great value to the scientific community and contribute with the standards from international programs where ESTOC (OceanSITES, EMSO) is included.

Vulcano (2012). Lead by Liquid Robotics, in cooperation with PLOCAN, it is intended to monitor with a Waveglider unit the active volcano area in El Hierro island. Hermes (glider name) will be deployed and recovered from Gran Canaria East coast. This will be a mission with a double goal: technology capabilities demonstration and gather scientific data of interest related to the volcano event.

5. CONCLUSIONS

We really are starting a new era in oceanography with gliders providing many contributions to sustained ocean observations in the coming decade, and of course for the Macaronesian region through its R3M strategy will not be an exception. We are mainly limited by our imagination and available funding. Anticipated advances in biogeochemical sensors, payload capacity, battery duration, and ease-of-use will expand our ability to use gliders to monitor the physical and biogeochemical state of regional seas and boundary current systems (and marine protected areas, in particular), to understand responses and links to climate variability. High-

resolution physical and bio-geochemical data in these regions from gliders in combination with the other components of the global observing system, will, without any doubt, allow us to fulfill far more objectives related to societal aspects (including marine security and “green” objectives) than is possible today. We anticipate that the glider component, which has relevance to process studies and monitoring, will be used actively, and in many places in the next decade will start to fill the gaps and to optimize the global network for the benefit for all observing and forecasting systems -global and regional/coastal ones- and all related applications.

Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge all who have made possible and still supporting the ocean observing strategy in the Macaronesian region. A special mention to the partners (companies and institutions) interested in promoting technological development using the area as natural place for demonstration trials. Also thanks to the involved crews from oceanographic and navy vessels, as well as from SAR helicopters for their support in the sea-maneuvers of deployment and recovery.

REFERENCES

- Claustre, H. & Co-Authors (2010). "Bio-Optical Profiling Floats as New Observational Tools for Biogeochemical and Ecosystem Studies: Potential Synergies with Ocean Color Remote Sensing." in these proceedings (Vol. 2), doi: 10.5270/OceanObs09.cwp.17.
- Davis R., Eriksen C. & C. Jones (2002). Autonomous Buoyancy-driven underwater gliders, in: *The Technology and Applications of Autonomous Underwater Vehicles*, G. Griffiths, ed., Taylor and Francis, London, 2002
- Glenn S., Jones, C., Twardowski, M., Bowers, L., Kerfoot, J., Kohut, J., Webb, D. & O. Schofield (2008). Glider observations of sediment resuspension in a Middle Atlantic Bight fall transition storm. *Limnol. Oceanogr.*, 53(5, part 2), 2008: 2180–2196
- Perry, M.J., Sackman, B.S., Eriksen, C.C. & C.M. Lee (2008). Seaglider observations of blooms and subsurface chlorophyll maxima off the Washington coast. *Limnol. Oceanogr.*, 53(5, part 2), 2008, 2169–2179
- Rudnick D., Davis R., Eriksen C., Frantantoni D. & M.-J. Perry, (2004). "Underwater Gliders for Ocean Research," *Marine Technology Journal*, vol. 38, no. 1, Dec., pp. 48-59, 2004.
- Simonetti P., (1992). Slocum Glider: Design and 1991 Field Trials, Office of Naval Technology Contract N00014-90C-0098 Report, 1992.
- Stommel, H., (1989). The Slocum Mission. *Oceanography*, April 1989, 22-2.

Trends in unmanned maritime vehicle systems

João Tasso de Figueiredo Borges de Sousa (1) e Fernando Lobo Pereira (1)

- (1) Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto. jtasso@fe.up.pt / flp@fe.up.pt

Abstract: Trends in unmanned maritime vehicle systems are discussed from a systems point of view- First, we present background information on how vehicle design evolved in the last 20 years. Second, we discuss technological trends in materials, computation, sensing, control and communications and how these affect the design of new vehicle systems. Third, we elaborate on design trends, especially in what concerns networked vehicle systems and systems of systems. Finally, we elaborate on concepts for a sustained presence in the ocean.

Keywords: Maritime vehicle systems, Autonomous underwater vehicles, unmanned air vehicles, DTN

During the last 20 years we have witnessed a fast pace of development of unmanned maritime vehicle systems. First the focus was more on tethered and untethered underwater vehicles. More recently there is also a strong emphasis on surface and air vehicles. This pace of development was made possible by unprecedented technological developments in materials, computation, control and communications and was driven by military, scientific and exploitation (of natural resources) requirements.

Depending on the operational environment, key technical specifications for unmanned maritime vehicles include endurance, size, payload, range, communication and navigation capabilities, and launch and recovery mechanisms. Endurance is highly correlated with the limitations of energy storage technologies. The size of the vehicle typically constrains the payload and energy storage. The payload is what makes the vehicle useful. Payloads normally concern sensors and actuators. Sensor development is one enabling technology for unmanned vehicles. Power and size are the major limitations of the payload. Range depends not only on endurance, but also on the operational environment and navigation capabilities. Communication and navigation capabilities determine the level of human intervention, the practical endurance and the usefulness of the vehicle. The Global Positioning System (GPS) is not available underwater. Communications are necessary for operating and retrieving information from the vehicle (the vehicle becomes useless if we cannot communicate with it). Deployment mechanisms determine how easy, and expensive, it is to deploy the vehicle.

Automation has been essential to successful operational deployments of unmanned vehicle systems. Typically vehicles execute scripted mission plans. However, in most cases there is no deliberation on board.

There is no Moore's law for unmanned vehicle systems. However, it is possible to infer a few trends from the recent advancements in computation, energy storage, sensing technology, composite materials, communications and energy harvesting technologies: endurance, autonomy and networking capabilities.

Networking is one of the major trends for unmanned vehicle systems; it is also one of the enabling technologies for distributed cooperation and computation. However, we are still far from realizing the potential of networked vehicle systems. The research community is devoting significant efforts to the development of concepts of operation for networked vehicle systems. Surprisingly, or not, the role of human operators is receiving significant attention in these advances. In fact, this is the reason why researchers and technology developers have introduced the concept of mixed initiative interactions, where planning procedures and execution control must allow intervention by experienced human operators. In part, this is justified by the fact that essential experience and operational insight of these operators cannot be reflected in mathematical models, so the operators must approve or modify the plan and the execution. Also, it is impossible to design (say) vehicle and team controllers that can respond satisfactorily to every possible contingency. In unforeseen situations, these controllers ask the human operators for direction. Developments in artificial intelligence should pave the way to on-board deliberative planning, thus fulfilling the promise of autonomy.

There are several obstacles in the road to the practical, as opposed to experimental, deployment of networked vehicle systems. Currently, there are few legal frameworks to encompass the operation of unmanned vehicles. In most countries the operation of air vehicles in controlled air space is severely restricted. 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. The lack of standards for inter-operability is preventing researchers to 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, to name just one example. A word of caution is needed here: the existence of standards does not imply standardization. In general, commercial vehicles have not been developed as open systems. Moreover, the lack of standards for inter-operability is not conducive to 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. Low cost open systems may prove fundamental to the dissemination of networked vehicle systems.

In spite of these obstacles, unmanned maritime vehicle systems are here to stay. This is because there is a pressing need for a permanent presence in the ocean. New concepts of operation are required for this purpose. This is where the idea of system of systems enters the picture. Vehicles should not be seen as isolated systems, but as components of larger oceanic systems. Some of these components are already in place (e.g., offshore buoys), others still need to be developed. The analogy of “conquest of the West” in the United States of America may prove useful at this point. Initially, there were just a few trails and remote outposts. Roads/trails were developed to facilitate transportation and communications. Outposts typically located at crossroads, provided storage and mail forwarding capabilities, as well as infra-structure for further developments. Some outposts grew in size. More roads were built. Heavy transportation capabilities came with the introduction of train tracks. With size came more functionality. Developments progressed incrementally under the same model of development.

A sustained presence in the ocean calls for a model of development which, to a certain extent, may mimic some of the developmental traits described above. Offshore buoys and landers may play the role of outposts served by manned and unmanned vehicles providing transportation and communication services; communication services will be supported by inter-operated communication networks with disruptive tolerant networking capabilities. These may grow into bigger facilities to

support offshore mining or ocean observation. Any development model has to take into account the economic aspects of the sustainable exploitation of the oceans and studies of climate change.

The idea of a system of systems captures the idea behind these development models. 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 interactions, where operators intervene in the planning and control loops, play a central role in operations thus making human factors an important consideration in the design of the system. 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 vehicles and operators.

Advances in several technological domains are required to pursue a sustained, and sustainable, presence in the ocean. Autonomous air, surface and ocean vehicles will rely heavily on composite materials (weight reduction), energy harvesting and advanced energy storage systems (endurance), miniaturized sensors (extending sensing capabilities and payload), communications (underwater, radio and satellite), power transfer technologies (refueling), and docking capabilities (refueling and communications). These vehicles will be designed for multi-model interactions: communications, mechanical docking and power transfer, and standard interfaces. Standard command sets will allow for systems’ level integration. Command sets will include rendezvous for communications, data harvesting from moving nodes, cooperative navigation, feature based navigation in remote areas, distributed search and docking. Delay/disruptive tolerant networking will allow for operations in communications challenged environments. New models of computation will allow for the dissemination of new controllers and for the creation on the controllers on the fly in adaptation to changes in the environment. This will be particularly useful for vehicles operating beyond the capabilities of fast communication networks (e.g., Mars rovers). Autonomy, with on-board deliberation will also be essential for these types of operations. Human computer interfaces will have to provide unprecedented levels of abstraction for the supervision of these large scale and geographically distributed systems. This also entails support for all aspects of the logistical chain associated to these operations, which will include interactions with manned vehicle systems. The problem of interpretation and management of large streams of data coming from deployed systems will be handled by new classification and learning techniques.

Sistemas Robóticos para o Estudo e Exploração dos Oceanos: Veículos de Superfície e Submarinos

A. Pedro Aguiar (1) e António Pascoal (2)

- (1) Laboratório de Robótica e Sistemas em Engenharia e Ciência (LARSyS), Instituto de Sistemas e Robótica (ISR)
- (2) Instituto Superior Técnico (IST)

Ao longo dos últimos anos tem-se assistido a progressos notáveis nas áreas da robótica marinha, sensores, computadores, comunicações e sistemas de informação com impacte visível no desenvolvimento de novas tecnologias e no aperfeiçoamento de tecnologias existentes para o estudo e exploração dos oceanos. A utilização destes veículos permitirá no futuro libertar os operadores humanos de tarefas fastidiosas, alcançar zonas profundas até agora inacessíveis, e desenvolver sistemas sofisticados para aquisição e transmissão de dados marinhos. Cita-se a título de exemplo mais relevante o desenvolvimento de *veículos robóticos marinhos autónomos e sistemas associados*, capazes de executar missões científicas e comerciais sem a intervenção directa permanente de operadores humanos. Estes veículos e sistemas associados irão certamente revolucionar as metodologias disponíveis para a exploração dos oceanos. O seu estudo e desenvolvimento servem já de catalizadores para o estabelecimento de redes de cooperação entre universidades, institutos de investigação, companhias, serviços de administração pública, e instituições gestoras de recursos marinhos e do ambiente. A nível da população estudantil e do público em geral os temas de investigação e as aplicações práticas associados às tecnologias marinhas são extremamente aliciantes e foco de grande entusiasmo. A nível da arqueologia subaquática, por exemplo, permitem já

transportar para espaços expositórios a “visão guiada” de sítios arqueológicos (fora do alcance dos espectadores habituais) à custa da projecção de imagens acústicas e de visão recolhidas in situ, utilizando técnicas de realidade virtual.

Presentemente, tendo em vista as aplicações futuras, assiste-se a um esforço de investigação que visa a operação conjunta de múltiplos veículos autónomos actuando em cooperação. Como exemplo de cenários importantes de operação que justificam o uso de múltiplos veículos e colocam grandes desafios a engenheiros e cientistas, sob os pontos de vista teórico e prático, citam-se a exploração e o mapeamento de habitats marinhos ou a monitorização de dados ambientais com objectivos científicos e comerciais. Nesta apresentação fornece-se de modo muito breve uma visão global dos avanços mais recentes no domínio da robótica marinha a nível nacional, europeu e internacional, citam-se alguns projectos que ilustram a simbiose necessária entre a ciência e a tecnologia, e perspectiva o impacte esperado deste domínio de actividade a nível económico e social. *No decurso da apresentação dá-se ênfase a missões e sistemas que envolvem a operação coordenada de veículos autónomos de superfície e submarinos.* Vídeos ilustrativos demonstram a operação de alguns dos sistemas desenvolvidos pelo ISR/IST no decurso de projectos com parceiros Europeus.

Índice de autores

A

Abreu, T.	159,267
Pedro Aguiar, A.	407
Aguiar, J.	43
Ayensa, G.	373
Allen-Perkins, S.	197,373
Almécija, A.	93
Almeida, F.	113
Almeida, S.	349,353
Alvarez, Y.	239
Amaro, V.E.	147
Andrade, C.	143,341,387
Ângelo, J.	147
Antunes, C.	175,189,387
Araújo, I.B.	183
Araújo, M.A.V.C.	329
Arenga, M.	27
Artilheiro, F.	53
Artusi, L.	239
Azevedo, A.	185
Azevedo, E.B.	89

B

Balsinha, M.J.	219
Baptista, C.	283
Baptista, R.	333,349,353
Barrio, F.	271
Bastos, L.	47,183
Barbosa, S.M.	155
Barrera, C.	401
Barreira, L.	239
Beach to Canyon Project Team	231
Benoit, M.	123
Bessa Pacheco, M.	325
Bettencourt, J.	365
Borges, C.	253
Bos, M.S.	183
Bosnic, I.	271,275,287
Braga, J.	261
Brito de Azevedo, E.	401
Brotas, V.	253
Bruneau, N.	185

C

Cabral, M.C.	227
Cachão, M.	235
Calado, P.	261
Campos, A.	31,379
Campos, A.	357

Campuzano, F.J.	85,105
Cândido, R.	31
Capitão, R.	131,139
Carapuço, M.	287,299,387,391
Cardeira, S.	185,257
Cardoso, A.	249
Cardoso, Z.	43
Carinhas, D.	23
Carvalho, A.	63
Cascalho, J.	271,275,287
Casimiro, T.	337
Catalão, J.	319,341
Ceia, R.	319,341
Cordeiro, N.	201
Correia, C.	97,401
Cortizas, C.	369
Costa, M.	171
Costa, P.	101
Costa, P.	361
Cota, T.	135
Cravo, A.	185,257

D

David, L.M.	77
Dias, A.	299
Dias, E.	345
Díaz, P.	369
Didier, E.	127
Drago, T.	227
Duarte, J.	231,279,283,391
Dúbert, J.	201

E

Estevão, A.	345
Esteves, R.	171,349

F

Fatela, F.	227
Fernandes, C.	113,219
Fernandes, L.	85
Fernandes, M.J.	47
Fernandes, R.	85,105
Fernandes, T.	379
Ferreira, A.S.	395
Ferreira, F.	303
Ferreira, T.	59
Fialho, A.	365
Figueiredo, J.	337
Freire, J.	365

Freire, P.	143,223,311,319,341
Freitas, J.	59
Freitas, M.C.	143,341,387
Fonseca, P.	357
Fortes, C.J.	313,139,147,167,267
Fortunato, A.B.	77,143,163,185,341

G

Gabriel, S.	267
Gama, A.	245
Gama, C.	193
Garção, R.	345
Gaudêncio, M.J.	357
Gelado, M.D.	401
Gilavert, J.	261
Godinho, J.	189
Gómez, A.	369,373
Gómez, B.	101
Gonçalves, L.	43
Guerreiro, C.	235
Guerreiro, M.	143,341

H

Henriques, V.	357
Hernand, J.-P.	239
Hermida, M.	369
Horta, J.	267
Huhn, F.	197

J

Jacob, J.	185,257,267
Jiménez, J.M.	23
Jorge da Silva, A.	117,205,349

K

von Kameke, A.	197
---------------------	-----

L

Lapa, N.	279,299
Larangeiro, S.H.C.D.	179
Lázaro, M.	183
Leitão, P.	135
Leitão, P.C.	105,135
Lira, C.	275,287,387
Llinás, O.	401
Lopes, A.	333
Lourenço, A.	81
Luís, J.	257
Luz, C.I.	227,283,295,333

M

Macedo, H.	239
Madureira, M.	257
Malhadas, M.S.	135
Mariano, A.	19
Marques, F.	387
Martins, A.	337
Martins, I.	109
Marreiros, P.	43,47
Matildes, R.	387
Matos, M.F.	147
Mazzolari, A.	329
Melo, R.	319,341
Mendes, B.	357
Mendes, C.	253
Mendes, V.B.	155
Méndez, X.	369
Monteiro, A.	337
Monteiro, C.	35,39
Montero, P.	197,373
Morais, M.	19
Moreira, N.	81
Mota, P.	151
Moura, D.	267

N

Neves, M.G.	127,131,139
Neves, R.	85,105
Nogueira Mendes, R.	319,341
Nolasco, R.	201

O

Oliveira, A.	211,219,235,245,283,295,307
Oliveira, A.	77
Oliveira, F.S.B.F.	223,311,315
Oliveira, M.A.	369
Orlando, M.	387

P

de Pablo, H.	105
Paixão Conde, J.M.	131
Palma, C.	245
Pascoal, António	407
Patrício, P.	19
Pawlowsky-Glahn, V.	235
Lobo Pereira, Fernando	405
Pérez, E.	101
Pérez-Muñuzuri, V.	101,197
Pinheiro, L.	139,167

Pinheiro, M.	53
Pinheiro, S.	337,361
Pinto, C.	387
Pinto, J.P.	151,171,193,211,279,299
Pinto, L.	85
Pires-Silva, A.	123,147
Plácido da Conceição, V.	67,71
Pombo, J.	383,395
Pólvora, C.	215,283,295,307
Portela, L.I.	291
Q	
Queiroga, H.	201
R	
RAIA Group	93
Rajan, K.	261
Reboreda, R.	201
Reis, F.V.	89
Reis, J.	253
Reis, L.	383
Reis, M.T.	127
Ribeiro, M.	211,271,275,287,303,307
Ribeiro, N.A.	163
Ribeiro, J.	135
Rilo, A.	143,319,341
Rita, F.	257
Rocha, A.	269
Rocha, A.C.	163
Rocha, C.	201
Rocha, C.	249,253
Rodrigues, A.	219,227,235,279,295,299,303,333,383,395
Rodrigues, M.	77,185
Rodrigues, M.C.	89
Rodríguez, I.	271
Romano, R.	239
Rosa, M.	185,257
Rueda, M.J.	401
Russo, J.	361
S	
Sá, C.	253
Sales, P.	325
Sanches, P.	27,39
Sanchez, M.	271
Sancho, F.	159,223
Sansana Silva, F.	117,193,205
Santos, A.	211,215,307
Santos, D.P.	159
Santos, J.	167
Santos, P.	249
Santos-Ferreira, A.	345
Saramago Santos, A.	333,353
Scudelari, A.C.	147
Silva, A.	135
Silva, A.	391
Silva, A.P.	383,395
Silva, M.	19
Silva, P.A.	159,267
Silva, R.	27,35
Silva, T.	143,341
Silveira, T.M.	387
Simões, A.T.	89
Simões, I.	239
Sousa, H.	275,387
Sousa, J.B.	261,405
de Stigter, H.	235
T	
Taborda, R. ...	143,175,219,231,271,275,279,287,299,303,319, 341,387,391
Tavares da Costa, R.	77
Teles, M.J.	123
Trigo-Teixeira, A.	329
Tomé, R.D.	89
Tuaty Guerra, M.	357
V	
Valença, M.	245,249,253
Valério, M.	19
Valente, A.S.	89
Veiga, L.	23,35,353
Venâncio, A.	101,197
Ventura Soares, C.	97
Vicente, J.	27,35,39
Viegas, C.	105
Vieira, R.	175
Vila, B.	369,373
Vitorino, J.	109
X	
Xavier, F.	239
Z	
Zacarias, N.	193,211

Divulgação dos Patrocinadores

WE BRING CLARITY
TO THE WORLD BELOW



KONGSBERG



The leading provider of underwater instrumentation -

www.kongsberg.com

CARIS Bathy DataBASE

Connect with Us | [t](#) [in](#) [f](#)

- › Bathy DataBASE is the number one solution for managing and analyzing bathymetry data.
- › Bathy DataBASE offers true scalability through the latest relational database technology.
- › Bathy DataBASE provides interoperability with OGC® Web Services for spatial data infrastructure.

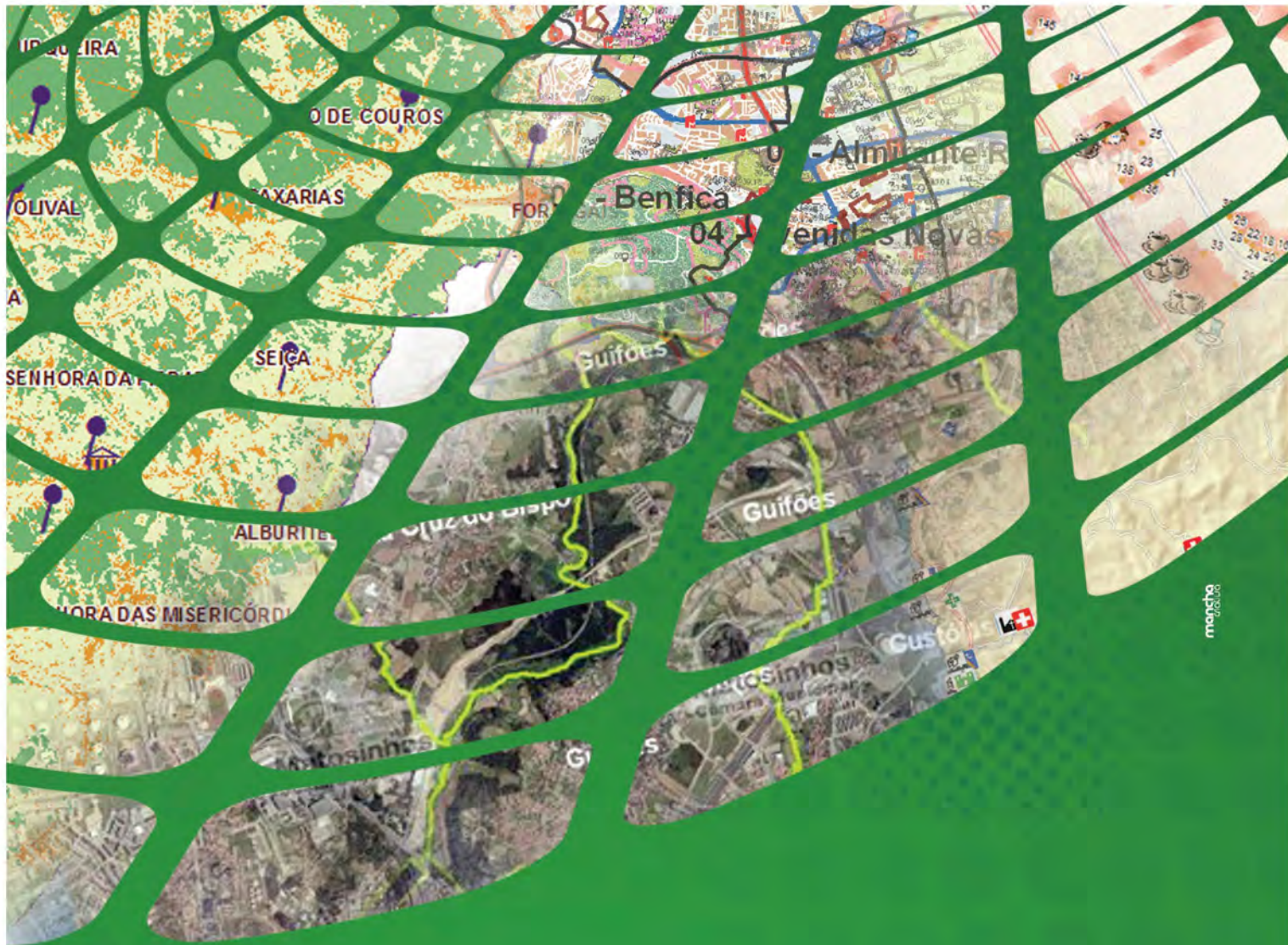
Engineering Analysis Module

The Engineering Analysis Module is an extension to Bathy DataBASE enabling you to:

- › Import, create and maintain theoretical models of the seafloor for dredging and other engineering operations.
- › Perform specialized analysis including volume calculations, shoal analysis, surface differencing and profile creation.
- › Use the powerful CSAR 3D visualization engine to interact with bathymetry data and seafloor models to improve the decision making process.

Contact info@caris.com today for a live demonstration, or visit our website.

caris[®]
www.caris.com



manche
grupo

Inteligência Geográfica

A capacidade de desenhar o futuro.

Os Sistemas de Informação Geográfica são, na actualidade, os Sistemas de Informação mais poderosos e aqueles que permitem a mais perfeita e uma representação da realidade, e, nessa medida, são o verdadeiro Sistema de Decisão Estratégica de uma organização. Esta visão e esta singularidade resultam da conjugação de duas componentes estratégicas para qualquer decisor que só os Sistemas de Informação Geográfica conseguem reunir e colocar a trabalhar em conjunto: a visão geográfica e a capacidade integradora de diferentes Sistemas de Informação, que permitem a materialização do que denominamos como Inteligência Geográfica, que é a capacidade de pensar e de agir sobre a realidade a partir da geografia, complementada com a informação existente nos SI.

www.esri-portugal.pt

 **esri** Portugal
25 anos

oceanographic winches & miscellaneous equipment for research vessels



Spooling device



Stem A-frame (RV DISCOVERY)



Oceanographic winches - Double storage drums with 15.000m of wire rope (RV DISCOVERY)



Deployment of a 15m corer Corer, trigger, support fork, synthetic line (RV LE SURET)



Deck winch for boat deployment (RV MARION DUFRESNE II)

APPLICATIONS

- Offshore
 - Units erection
 - Pipe pulling
 - Mooring
 - Heavy handling
 - Deep sea installation
- Oceanography
 - Deep sea coring & operation
 - Hydrology
 - Handling
 - ROV, Manned submersible & scientific equipment deployment
 - Instrumentation deployment
- Civil & military lifting
- Nuclear plants

FAMILY PRODUCTS

- Linear winches
- Heavy duty winches for offshore operations
- Annular traction winch for "ultra deep sea" installations
- Annular traction winch for deep sea oceanography
- Oceanographic winches & associated equipment for R.V.
- Gantries & A-Frames



Special winches and equipment for offshore and marine research



HEAD OFFICE : 30, boulevard Bellerive - 92566 RUEIL MALMAISON CEDEX (F)
 Tel. +33 (0) 141 39 86 70 - Fax +33 (0) 141 39 86 86
 www.kleyfrance.fr
 Société Anonyme au capital de 352 000 € - RCS Nanterre B 552 112 872 - TVA N° FR93 552 112 872

KLEY FRANCE 1988-2018



oceanographic winches & miscellaneous equipment for research vessels

tailor made solutions for demanding applications

DECK WINCHES (direct drum winches)

- Handling winches
- CTD Winches
- Multi-purpose winches, etc.

TRACTION WINCHES

- Annular traction winches* for synthetic or Fiber Optics ropes
- Traction winches for steel wire ropes
- Refer to appropriate leaflet



1.5T / 7T CTD / Oceano, double winch (RV D.CARLOS)



700kW HPU for ship centralized power generation



Hydro boat winch



CTD / handling winch (RV D.CARLOS)



Deployment of a 20m calypso corer Corer, trigger, support fork (RV GO-SARS)

DEEP SEA CORER Calypso type

- Corer (pipes and weight holder)
- Trigger, messenger
- Piston wire rope socketting machine
- Liners and tooling for machining (liners assembly)
- Equipment developed in partnership with IPEV

CORER HANDLING EQUIPMENT

- Telescopic support with rotating fork
- A-frame or telescopic boom

DAVITS

- Boat deployment

TRANSDUCER DEPLOYMENT SYSTEMS

- Deployment of transducers & sensors below the vessel hull
- Angular positioning
- Associated handling equipment



Transducer sub-hull deployment system (12 inch)



10 T ALS winch (RV MARION DUFRESNE II)



125 kW HPU for winches & A-frame motorization (RV MARION DUFRESNE II)



Local & wireless control consoles



5 T Davit & winch for boat deployment (RV D.CARLOS)



NF EN ISO 9001
 2008



QUALITAS Remos is a leading company in science and solutions for the operational oceanography, marine safety, offshore and marine renewables sector with international activity and offices in Spain, Portugal and Morocco.

The company vision is to provide innovative knowledge intensive solutions associated with technology and data to the marine community in cooperation with our clients and partners. The company has wide experience in the delivery of

- Turnkey deployment, operation and maintenance of ocean observing systems with special focus on HF Radar
- Innovative, powerful, reliable IT solutions and added value decision support software tools for marine information and marine risk management

Services	IT Solutions	Markets
<p>Observing systems SeaSonde® HF Radar</p> <p>Expert consultancy Marine response services</p>	<p>Portus® Ocean data monitoring and information management tools</p> <p>Added value software Decision Support Tools</p>	<p>Operational Oceanography</p> <p>Offshore industry</p> <p>Search and Rescue</p> <p>Marine Renewables</p>
		

Being operational oceanography and marine safety our permanent company focus, HF radar was identified back in 2002 by QUALITAS as one essential component in ocean observing systems having the highest potential to deliver strong benefits to society when integrated into solutions and services along the coasts. HF radar is in fact today an integral part of many of the most advanced ocean observing schemes both for scientific and operational purposes.

In 2007, after years of fruitful collaboration, CODAR Ocean Sensors and QUALITAS Remos decided to jointly establish a CODAR Europe office with base in Madrid to provide highest quality engineering and technical support services throughout the region in collaboration with a network of partners. By opening a European office CODAR Ocean Sensors and QUALITAS Remos are enabling European, African and Middle East institutions and countries to reach their maximum potential in the successful application of the world leading SeaSonde HF Radar technology.

In 2011, a list of more than 50 SeaSondes is operating successfully along a large number of EMEA seas and countries in agencies and sectors such as operational oceanography, offshore, marine safety, transportation, shipping and renewables (further information at www.qualitasremos.com).



A OceanPlug, Energia das Ondas S. A. é concessionária numa zona piloto ao norte de S. Pedro de Moel criada pelo Decreto-Lei nº 05/2008, de 8 de Janeiro, para o aproveitamento das energias marinhas renováveis, nomeadamente da energia das ondas do mar e do eólico offshore.

Ao abrigo do contrato de concessão publicado em anexo à Resolução do Conselho de Ministros n.º 49/2010, de 1 de Julho, compete à ENONDAS desenvolver a zona piloto, caracterizando-a dos pontos de vista geofísico e ambiental, elaborando o respectivo regulamento de acesso, dotando-a das infra-estruturas necessárias de ligação à rede eléctrica e gerindo um espaço marítimo de 320 km², atraindo tecnólogos e promotores.

O objectivo da zona piloto é um espaço de desenvolvimento de energias marinhas, onde os tecnólogos / promotores, podem desenvolver a sua tecnologia desde a demonstração do conceito ao parque de energias. Assim a zona piloto recebe os tecnólogos / promotores em regime de contrato, pré comercial e comercial.

A ENONDAS deverá também promover o conhecimento científico e tecnológico necessário à produção de electricidade renovável *offshore*, e em especial a partir das ondas do mar, com vista ao aproveitamento deste recurso energético quase inexplorado.

À ENONDAS foi também confiado o licenciamento na zona piloto de instalações de produção de electricidade renovável, o acompanhamento da instalação, dos testes, da exploração e da remoção dos protótipos e a fiscalização da produção de energia eléctrica.

A actividade da ENONDAS iniciou-se em Outubro de 2010 com a elaboração dum plano orçamentado de desenvolvimento a três anos, centrado nas seguintes actividades:

- Caracterização geofísica;
- Caracterização ambiental;
- Elaboração do regulamento de acesso à zona piloto;
- Realização de estudos prévios das infra-estruturas a erigir na zona piloto;
- Celebração de protocolos com o sistema científico e tecnológico nas áreas da produção de energias marinhas renováveis.

O Plano de Desenvolvimento da zona Piloto, encontra-se estruturado da seguinte forma:

- Em primeiro lugar, a Criação da Zona Piloto, a decorrer entre 2011 e 2013, onde se inclui o desenvolvimento da ZP de modo a que possa receber, em Regime de demonstração de conceito, protótipos de geração de energia eléctrica (baseados em energia das ondas e ventos) no Verão de 2013, com o objectivo de Instalação da infra-estrutura eléctrica que permita a injeção na Rede de Distribuição de 12 MW (4x3MW).
- Em segundo lugar, uma fase pré-comercial, com a possibilidade de injeção na rede de 80 MW, quando a necessidade surgir
- E em terceiro lugar, uma fase comercial, que permitirá a injeção de até 250 MW na rede, também quando a necessidade surgir.





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

