

Estudo da Evolução de uma Área de Extracção de Sedimentos ao largo de Vale do Lobo (Algarve Portugal) - Comparação entre Resultados Numéricos e Dados Batimétricos^{*,**}

Sand Extraction Evolution Area offshore Vale do Lobo (Algarve, Portugal) - comparison between numerical results and bathymetric data

João Rosa^{@,1}, Daniela Gonçalves^{2,3}, Paulo A. Silva¹, Luis Menezes Pinheiro², Luis Rebêlo³, André Fortunato⁴, Xavier Bertin⁵

RESUMO

A extracção de sedimentos nas zonas costeiras é uma actividade de importância e prática crescentes há já vários anos e em diversos países. A evolução de uma zona de extracção depende essencialmente do tipo de sedimento e das características hidrodinâmicas do local. No presente trabalho pretendeu-se estudar a evolução morfológica e sedimentar de uma escavação ao largo de Vale do Lobo (Algarve, Portugal) com base em 3 campanhas batimétricas realizadas entre 2006 e 2008, antes e após a extracção, assim como numericamente, através da aplicação de um modelo morfodinâmico – MORSYS2D. Os dados batimétricos foram inseridos num sistema de informação geográfica (ArcGIS), para estimar os volumes de sedimento removidos e acumulados, analisar a variação morfo-sedimentar ocorrida durante o período de estudo e prever o tempo de persistência da escavação. Da análise dos dados batimétricos verificou-se uma suavização geral da área escavada com acreção no interior e erosão nos flancos e estimou-se um tempo de persistência da perturbação da batimetria, não inferior a 24 anos. Os resultados numéricos foram analisados a partir dos fluxos sedimentares e da evolução batimétrica induzida pelas correntes geradas pelo vento, maré e agitação marítima. Os resultados mostram um grande impacto dos eventos de tempestade com altura significativa de onda superior a 2,5m e ventos fortes na evolução morfológica da escavação e nas áreas em redor. A comparação dos resultados numéricos com a análise dos levantamentos batimétricos adquiridos permitiu avaliar a boa performance do modelo.

Palavras-chave: Dragagem, Impacto Morfológico, Evolução de uma Escavação, Plataforma Continental, Modelo Morfodinâmico.

@ - Autor correspondente: jpsrosa@ua.pt

1 - CESAM e Departamento de Física, Universidade de Aveiro, Campus Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal.

2 - CESAM e Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Campus Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal.

3 - LNEG, I.P. Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Estrada da Portela – Alfragide, 2720-866 Amadora, Portugal.

4 - LNEC, I.P. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal.

5 - UMR 6250 LIENSs, CNRS-Université de La Rochelle, Institut du Littoral et de l'Environnement (ILE) 2 rue Olympe de Gouges, La Rochelle 17000, France.

* Submissão: 5 Maio 2011; Avaliação: 13 Junho 2011; Recepção da versão revista: 12 Agosto 2011; Aceitação: 15 Agosto 2011; Disponibilização on-line: 8 Setembro 2011

** Artigo decorrente da comunicação efectuada no MEC 2011 - Conferência sobre Morfodinâmica Estuarina e Costeira, 3 a 4 de Fevereiro de 2011, Lisboa, Portugal

ABSTRACT

Sand extraction in coastal zones is an important activity and has been a common practice in many countries for many years. The evolution of a sand pit, and in particular its migration and rate of replenishment, depends on the type of sediments and the hydrodynamic characteristics of the area. The present work studies the evolution of an offshore sand pit (Vale do Lobo, Algarve, Portugal) based on 3 bathymetric surveys carried out between March/May 2006 and November 2008, prior and after dredging operations, and numerically, by applying a morphodynamic model - MORSYS2D. The bathymetric data were inserted into a georeferenced GIS database (ArcGIS) for calculation of sediment volume changes, evaluation of the morpho-sedimentary variations, and estimation of the recovery time. The results show an infill of the deepest area of the exploration pit as well as some erosion in the flanks, which resulted in the smoothing of the initial excavation topography, and a recovery time greater than 24 years for near full refill. The numerical results were analysed in terms of the sand fluxes and bathymetry changes induced by wind-, tide- and wave-induced currents. The results showed the strong impact of storm events with significant wave height higher than 2,5m and strong wind velocities in the morphologic evolution of the pit and surrounding area.

For the annual mean conditions observed in this coastal stretch ($H_s < 1m$ during 68% of the year) the sediment fluxes are low, and no morphological variations are simulated. The tidal fluxes also do not represent a forcing mechanism for sediment transport. The simulations performed for the whole period between May 2006 and November 2008 (2,5 years) and during one month encompassing two storm events present similar trends for the morphological evolution of the sandpit. The simulated refilling for the 2,5 years and the estimated regeneration time of the sand pit are similar to with the ones resulting from the acquired bathymetric data, allowing to evaluate the good performance of the model.

Keywords: Sand Extraction, Morphological Impacts; Sand Pit Evolution, Continental Shelf, Morphodynamic Model.

1. INTRODUÇÃO

A dragagem é uma actividade de extrema importância na defesa da orla costeira (através da alimentação de praias), na manutenção das condições necessárias à navegabilidade dos canais e na extracção de agregados para construção. A procura de sedimentos provenientes da zona costeira tem sido prática recente em muitos países, constituindo uma das principais fontes de agregados quer para a construção, quer para a alimentação de praias (Cooper *et al.*, 2007; Kubicki *et al.*, 2007).

A extracção de agregados ao largo apresenta, no entanto, alguns impactes negativos no ambiente marinho, quer na morfodinâmica da região, quer a nível ecológico. (Kubicki *et al.*, 2007; Van Rijn & Walstra, 2002). A criação de uma escavação no fundo do mar afecta o campo de ondas e de correntes e, consequentemente, as taxas de transporte sedimentar (Van Rijn & Walstra, 2002). Estas modificações podem não se restringir apenas à área da extracção propriamente dita. A presença da escavação pode modificar o campo de ondulação através de refração e, numa menor extensão através de difracção, e desta forma alterar a localização da zona de rebentação. Estas modificações podem alterar os padrões do transporte de sedimentos no litoral e introduzir perturbações na evolução da linha de costa (Demir *et al.*, 2004).

Os efeitos de persistência de uma escavação e a sua evolução, em particular a sua migração e taxa de enchimento, são ditados pelas características hidrodinâmicas e físicas do local, tal como a natureza do substrato, o método de dragagem usado, a geometria da escavação, a distância à costa e o tipo de comunidades bentónicas existentes no local (Hitchcock & Bell, 2004; Cooper *et al.*, 2007; Roos *et al.*, 2008).

Assim, para avaliar o impacto de uma dragagem é importante estudar as modificações nos campos hidrodinâmicos e a extensão em que se fazem sentir, estimar o tempo de permanência da perturbação na batimetria e a sua influência na linha de costa.

Este trabalho estuda a evolução morfo-sedimentar de uma zona de escavação ao largo de Vale do Lobo, Algarve, Portugal (Figura 1), provocada por extracção de sedimentos para alimentação da praia de Vale do Lobo. Esta secção costeira apresenta arribas verticais com 26m de altura máxima. Oliveira (2005) mostra que entre 1991 e 1999 as arribas recuaram, em média, 1m/ano. O presente estudo é efectuado primeiramente com base em levantamentos batimétricos realizados após a dragagem. Posteriormente, é realizado um estudo numérico, através do desenvolvimento e aplicação de um modelo morfodinâmico - MORSYS2D - para avaliar a evolução temporal da escavação. A performance do modelo é avaliada mediante comparação dos resultados numéricos com a análise dos levantamentos batimétricos efectuados na área de estudo. A análise e impacto da escavação no transporte litoral e linha de costa foram efectuados por Proença *et al.* (*no prelo*).

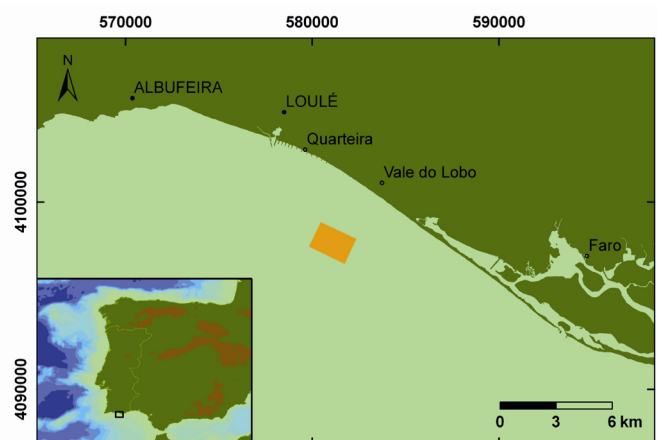


Figura 1. Área de estudo (caixa laranja) situada ao largo de Vale do Lobo, Algarve, Portugal. Sistema de coordenadas WGS84 UTM - zona 29N.

Figure 1. Study area (orange box) off the Vale do Lobo region, Algarve, Portugal. WGS84 UTM coordinate system - zone 29N.

2. DADOS BATIMÉTRICOS E EVOLUÇÃO MORFO-SEDIMENTAR DA ESCAVAÇÃO

A extracção de cerca de 370 000m³ de sedimento ao largo de Vale do Lobo, Algarve, foi efectuada entre Março e Maio de 2006 (Teixeira, no prelo) a uma profundidade de 17m, tendo provocado alterações consideráveis na morfologia de fundo. A dragagem originou uma depressão com cerca de 900m de comprimento, 150m de largura e uma profundidade aproximada de 5m, cujo eixo principal é orientado de Noroeste a Sudeste e paralelo aos contornos batimétricos (Figura 2).

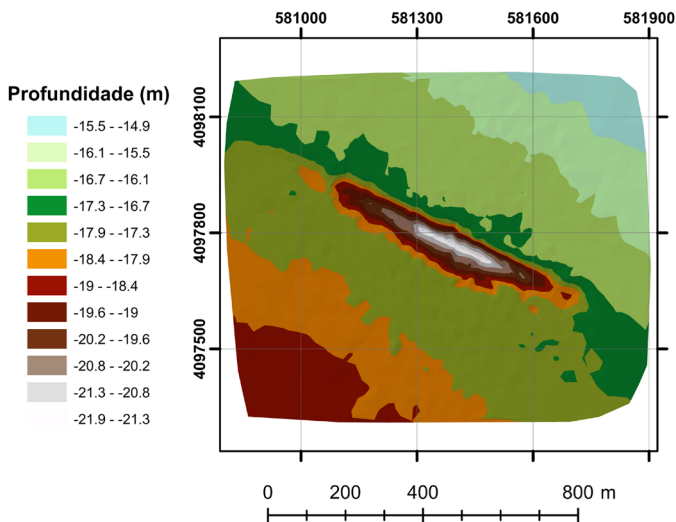


Figura 2. Contornos batimétricos em torno da escavação resultante de dragagem em 2006 e transectos transversal e longitudinal (profundidade referida ao Zero Hidrográfico). Sistema de coordenadas WGS84 UTM - zona 29N.

Figure 2. Sandpit bathymetry after 2006 dredging; longitudinal and transversal transects (Depth in reference to chart datum - Zero Hidrográfico - 2 m below MSL). WGS84 UTM coordinate system - zone 29N.

Esta área foi monitorizada com levantamentos batimétricos antes (Março de 2006) e após a extracção (Maio de 2006 e Novembro de 2008). Todos os dados batimétricos foram inseridos num Sistema de Informação Geográfica (ArcGIS) para posterior interpolação, comparação, cálculo dos volumes removidos e depositados e avaliação da variação morfo-sedimentar ocorrida durante o período em análise.

Após a subtracção das sucessivas superfícies batimétricas, foi possível estimar os volumes de sedimento removido e acumulado ao longo dos 2,5 anos de monitorização. Verificou-se uma remoção de aproximadamente 365 000m³ de sedimento entre Março e Maio de 2006.

Entre Maio de 2006 e Novembro de 2008 verificou-se uma acreção de sedimentos superior a 60 000m³ (Figura 3). Uma vez que a cobertura dos levantamentos batimétricos de Março e Maio de 2006 é diferente da de Novembro de 2008 (esta compreende uma área muito menor), estes cálculos foram realizados com base em duas áreas distintas: uma maior para as estimativas entre Março e Maio de 2006, e uma área bastante menor centrada na escavação coincidente com

a área coberta pelo levantamento de 2008, na determinação dos volumes acumulados e removidos entre Maio de 2006 e Novembro de 2008.

Através da análise comparativa das superfícies batimétricas

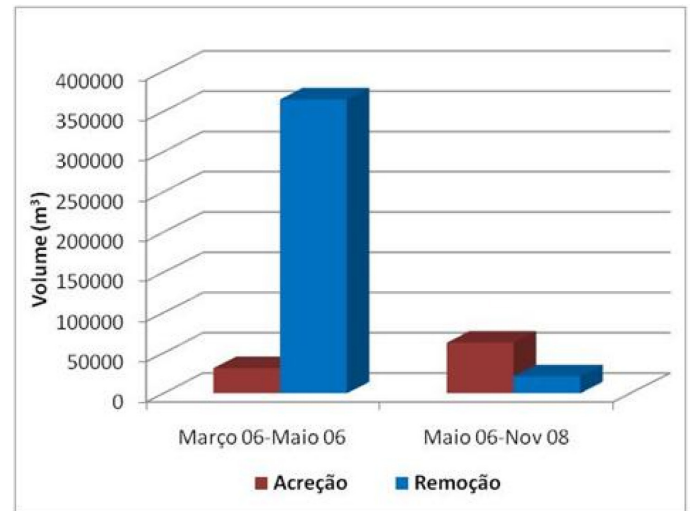


Figura 3. Volumes de sedimentos removidos e acumulados entre Março e Maio de 2006 e até Novembro de 2008.

Figure 3. Sediment accumulation and removal volumes between March and May 2006 and until November 2008.

e de perfis traçados longitudinal e transversalmente à escavação (Figura 4), observa-se que, dois anos e meio após a extracção, a depressão foi parcialmente preenchida na sua parte mais profunda, havendo uma clara redução da sua profundidade. Verifica-se ainda uma redução dos declives das paredes laterais, com alguma erosão dos flancos.

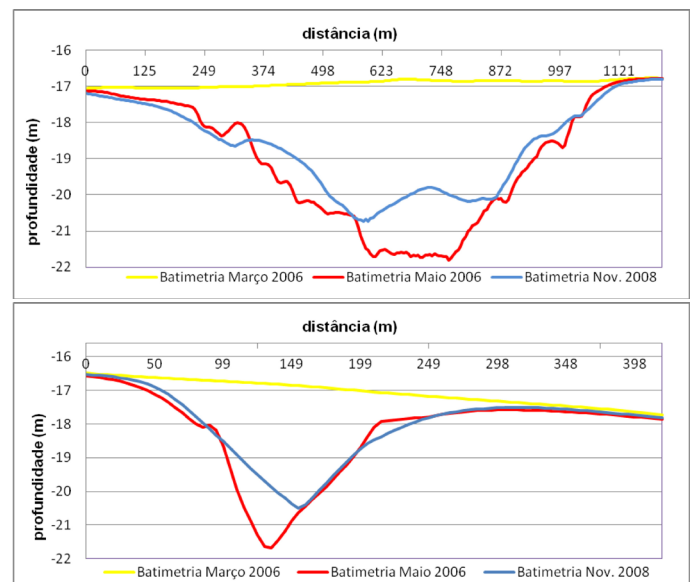


Figura 4 – Perfis batimétricos na área da escavação: (a) perfil ao longo do transecto (A'-B'), longitudinal ao eixo principal da escavação; (b) perfil ao longo do transecto (A-B), transversal ao eixo principal (profundidade referida ao Zero Hidrográfico).

Figure 4 - Bottom profiles in the pit-area: (a) longitudinal transect (A'-B') along the main pit axis; (b) transversal transect (A-B) along the minor pit axis (depth relative to chart datum)

Com base nos volumes de remoção e acreção, considerando agora apenas uma área centrada e essencialmente circunscrita à zona da escavação propriamente dita, foi estimado o tempo de recuperação da escavação, através da determinação da sua taxa de enchimento. Para tal considerou-se que a taxa de acumulação é variável no tempo, com um decaimento exponencial (Vicente & Uva, 1984; Ramos *et al.*, 2005):

$$V = V_0 e^{-t/\tau} \Leftrightarrow \tau = \frac{t}{\ln V_0/V} \quad (1)$$

onde V representa o volume remanescente para a recuperação total da escavação após um tempo t e τ representa a escala de tempo característica de enchimento (o tempo ao fim do qual o volume de escavação é 37% do volume inicial, V_0). As previsões teóricas relativas ao tempo de recuperação da escavação apontam para um valor cerca de 24 anos.

3. APLICAÇÃO DO MODELO MORSYS2D PARA A ÁREA DE ESTUDO

O sistema computacional MORSYS2D (Bertin *et al.*, 2009) executa o modelo morfodinâmico SAND2D (Fortunato & Oliveira, 2004) que calcula os fluxos sedimentares através de fórmulas semi-empíricas acoplado ao modelo hidrodinâmico ELCIRC (Zhang *et al.*, 2004) e ao modelo de propagação de ondas SWAN (Booij *et al.*, 1996). A presente configuração do modelo contempla as acções forçadoras mais representativas, as correntes de maré, o vento, a ondulação e considera um meio com densidade constante. O modelo ELCIRC foi corrido no modo barotrópico 2D, pelo que, as componentes da velocidade calculadas se referem a valores médios na vertical. Neste estudo é utilizada uma malha de elementos finitos triangular não estruturada, com um espaçamento mínimo de 5m, na zona da escavação, e máximo de 1500m no restante domínio. Os fluxos sedimentares foram calculados considerando duas fórmulas: a de Soulsby-Van Rijn (Soulsby, 1997) e a de Bijker (Bijker, 1971), que quantificam a componente do transporte por arrastamento e em suspensão. Na fórmula de Soulsby-Van Rijn os valores do coeficiente de atrito foram calculados com um coeficiente de rugosidade $z_0 = 6\text{mm}$ adaptado a fundos móveis com "ripples". Na fórmula de Bijker o valor da rugosidade de fundo ($K_s = 30 z_0$) foi calculado como um parâmetro de calibração do modelo ($K_s = 0,1\text{m}$). A Figura 5 representa o domínio computacional considerado.

As condições de fronteira para o nível da superfície livre associado à maré na fronteira oceânica aberta foram fornecidas por um modelo regional de larga escala (Fortunato *et al.*, 2002). As condições de fronteira para a ondulação foram obtidas a partir do modelo WW3 (Dodet *et al.*, 2010). O campo do vento foi especificado a partir dos dados do NCEP que alimentaram o modelo WW3 e assumiu-se que é uniforme no domínio computacional. A figura 6 apresenta a validação do modelo de ondas através da comparação dos resultados do campo de ondulação com os dados da bóia-ondógrafo de Faro. Foram analisados os parâmetros da altura, direcção e período da onda. A posição da bóia-ondógrafo de Faro encontra-se indicada na figura 5.

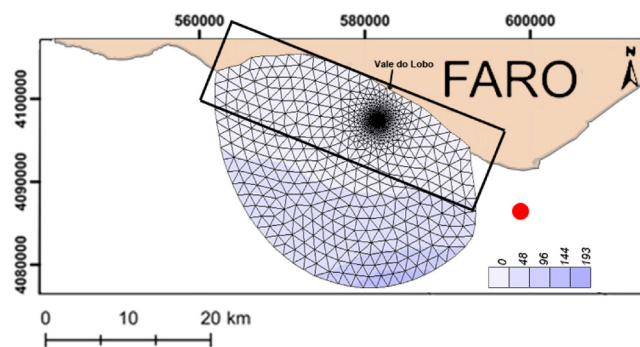


Figura 5. Malha computacional utilizada no modelo 2D – (a) Fronteira da malha do modelo SWAN (b) Malha de elementos finitos triangular usada nos módulos ELCIRC e SAND2D (batimetria em metros referida ao ZH). Localização da bóia-ondógrafo de Faro (ponto a vermelho).

Figure 5. Computational grid for the 2D model (a) Limits of the SWAN nested grid boundary and (b) Finite element grid used in ELCIRC and SAND2D (Depths in meters relative to chart datum). Faro buoy location (red point).

Assumiu-se um valor constante para o diâmetro mediano de areia, d_{50} , de 0,77mm com base em análises granulométricas efectuadas (Teixeira, no prelo). As simulações numéricas foram realizadas entre Maio de 2006 (batimetria inicial) e Novembro de 2008.

4. RESULTADOS NUMÉRICOS

4.1 Campos Hidrodinâmicos

Nesta secção é apresentada a solução numérica da hidrodinâmica obtida com o modelo MORSYS2D entre 28 de Março e 29 de Abril de 2008 para um ponto junto à escavação e nas áreas adjacentes. Durante este período ocorreram dois eventos com ventos fortes e alturas de ondas elevadas, entre 5-9 de Abril e 18-20 de Abril, o que assume particular interesse para a análise da evolução da morfologia da escavação. A Figura 7 apresenta o campo de vento para a região de estudo e as correntes médias simuladas com o modelo ELCIRC para um ponto localizado no interior da escavação. A Figura 8 ilustra a série temporal das componentes u e v para o mesmo ponto.

Observa-se que nesta região de estudo, a série temporal das componentes da velocidade de corrente contém oscilações associadas à onda de maré e que as elipses de maré estão bem alinhadas segundo a direcção N-S (Lopes *et al.*, 2009). Contudo, a amplitude da corrente de maré é pequena, cerca de 0.05m/s.

Desta forma, nos períodos de fraca intensidade do vento, os valores das componentes da velocidade média (u e v) são pequenas e oscilam em torno de 0. Durante os períodos de ventos fortes de NW os resultados numéricos na Figura 7 indicam que são induzidas correntes de aproximadamente 0.2m/s. Para complementar a informação anterior, a Figura 9 ilustra a distribuição espacial do campo de correntes induzidas pelo vento em torno da escavação para o dia 9 de Abril, correspondente ao máximo da intensidade do vento verificado no período em análise. Estas correntes têm a direcção preferencial para SE resultante da acção do vento

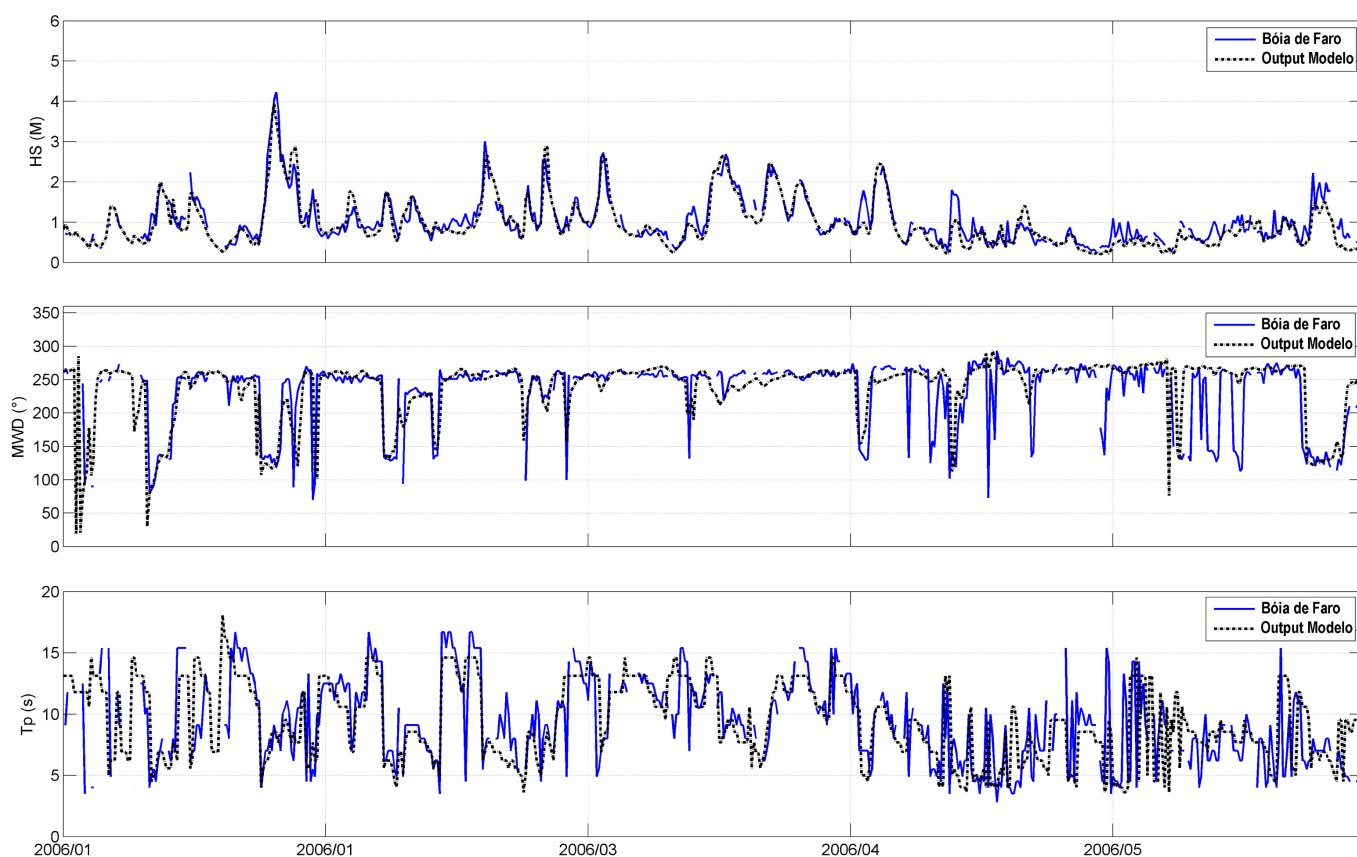


Figura 6. Validação do modelo de ondas através da comparação com dados da bóia-ondógrafo de Faro no período de Janeiro a Junho de 2006.
Figure 6. Validation of the wave model through comparison with Faro buoy data from January to June 2006.

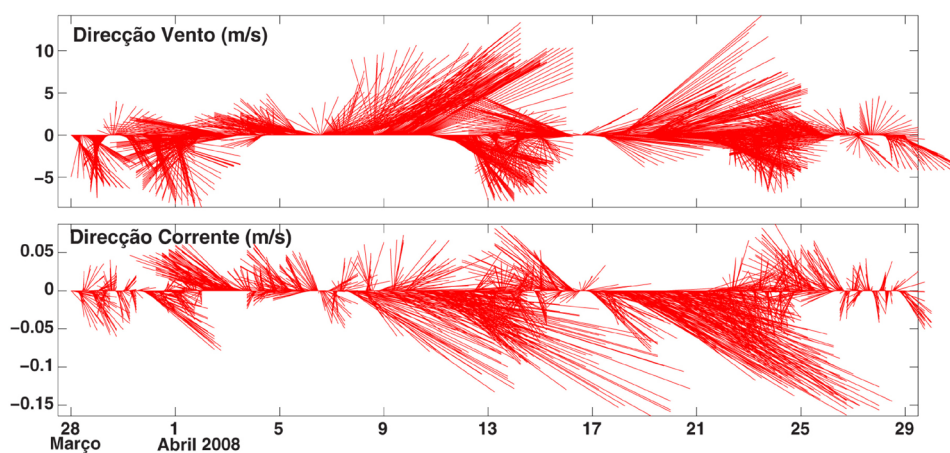


Figura 7. Vento e correntes calculadas num ponto no interior da escavação (velocidade média na vertical) entre 28 de Março e 29 Abril de 2008.

Figure 7. MORSYS2D results between 28th of March and 29th of April 2008 for wind and currents: velocity, direction and magnitude in a location inside the sandpit.

e da configuração dos contornos batimétricos. Verifica-se também que a presença da escavação induz perturbações locais no campo de escoamento médio.

No que respeita ao campo de agitação marítima as Figuras 8 e 10 representam, respectivamente, as velocidades orbitais e a altura significativa da onda calculadas para um ponto no

interior da escavação. A altura significativa da onda entre os dias 5 e 20 de Abril regista dois eventos com $H_s > 2,5\text{m}$ que coincidem com ventos fortes de NW. Verifica-se também que as velocidades orbitais associadas à agitação marítima são sempre inferiores a $0,1\text{m/s}$, excepto para os períodos referidos anteriormente.

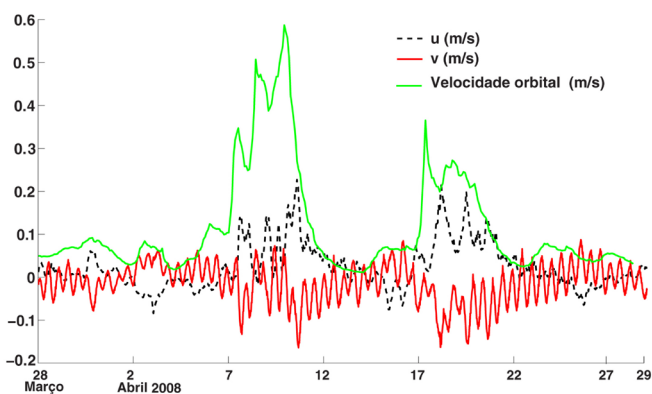


Figura 8. Resultados do MORSYS2D entre 28 de Março e 29 Abril de 2008 – magnitude da velocidade orbital e das componentes da velocidade da corrente de maré num ponto no interior da escavação.

Figure 8. MORSYS2D results between 28th of March and 29th of April 2008 - orbital velocity and tidal current velocities components - u and v - magnitude in a location inside the sandpit.

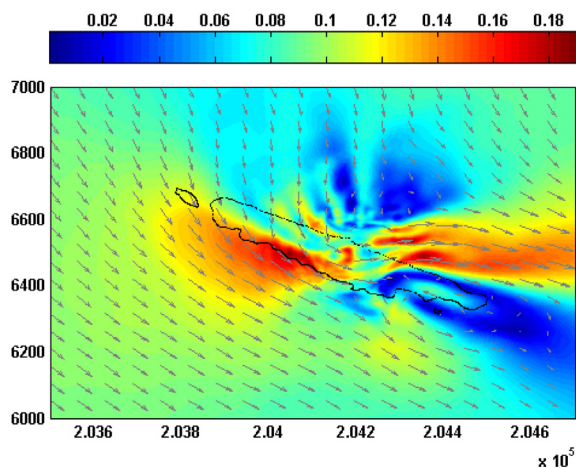


Figura 9. Resultados do MORSYS2D – intensidade e direcção da corrente (m/s) nas imediações da escavação a 9 de Abril de 2008. Sistema de coordenadas Hayford-Gauss-Militar (HGM).

Figure 9. MORSYS2D results – flow velocities (m/s) in the vicinities of the pit at 9th April 2008. Hayford-Gauss-Militar (HGM) coordinate system.

4.2 Fluxos Sedimentares

A Figura 10 representa as taxas de transporte de sedimentos calculadas pelas formulações de Bijker e de Soulsby-Van Rijn para um ponto localizado no interior da escavação para o período compreendido entre 28 de Março e 29 de Abril de 2008. Verifica-se que os fluxos sedimentares simulados apresentam valores significativos apenas durante os dois eventos com ventos fortes e $H_s > 2,5\text{m}$ e que os valores calculados com a formulação de Bijker são superiores aos obtidos com a formulação de Soulsby-Van Rijn.

A magnitude e a direcção dos fluxos sedimentares residuais nas imediações e no interior da escavação simuladas com a formulação de Bijker estão representadas na Figura 11. Os valores representados correspondem a um

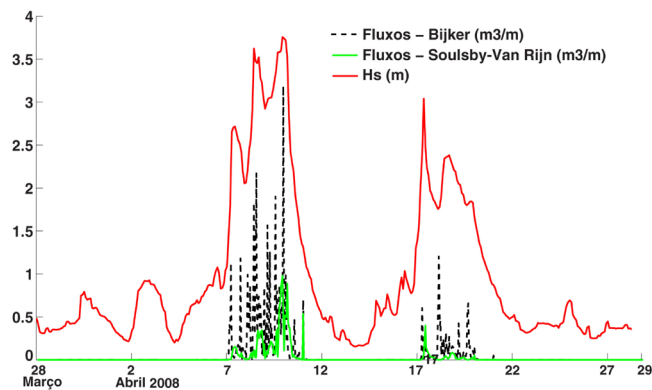


Figura 10. Resultados do MORSYS2D entre 28 de Março e 29 Abril de 2008 - Altura de onda (H_s) e magnitude do fluxo sedimentar (m^3/m) para as formulações de Soulsby-Van Rijn e Bijker.

Figure 10. MORSYS2D results between 28th of March and 29th of April 2008 - wave height (H_s) and sediment flux (m^3/m) for Soulsby Van Rijn and Bijker formulations in a location inside the sandpit.

tempo de integração de 120h entre os dias 9 e 14 de Abril de 2008. Os fluxos sedimentares apresentam uma direcção preferencial NW–SE de acordo com as correntes médias induzidas pelo vento (ver Figura 9). A sua magnitude é também determinada pela velocidade orbital e apresenta um decréscimo no interior da escavação. Os fluxos, em geral, tem direcção para sul no flanco norte da escavação e no flanco sul são paralelos ao eixo longitudinal da escavação, respondendo às variações da batimetria nessa região.

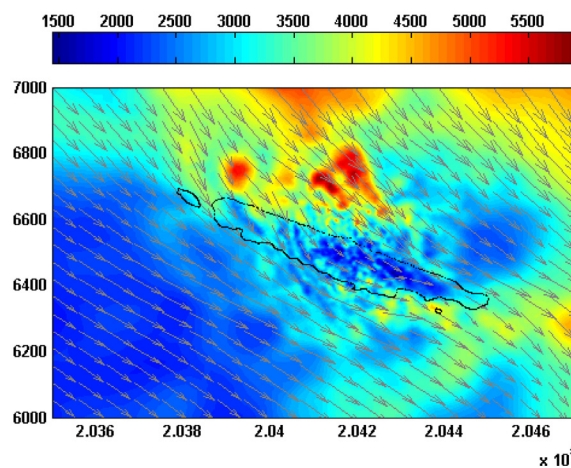


Figura 11. Resultados MORSYS2D entre 28 de Março e 29 Abril de 2008 - Fluxos sedimentares (m^3/m) nas imediações da escavação para a formulação de Bijker. Sistema de coordenadas Hayford-Gauss-Militar (HGM).

Figure 11. MORSYS2D results between 28th of March and 29th of April 2008 - Sediments fluxes (m^3/m) for Bijker formulation surrounding the pit. Hayford-Gauss-Militar (HGM) coordinate system.

4.3 Evolução Morfológica da Escavação

Para estudar a evolução da morfologia da escavação no período em análise (entre Maio de 2006 e Novembro

de 2008) e a sua relação com a ocorrência de eventos extremos na agitação marítima e no vento, foram analisados os resultados de duas simulações: uma correspondente ao período completo de 2,5 anos e outra ao período de 30 dias compreendido entre 28 de Março e 29 de Abril de 2008. A Figura 12 representa a variação relativa da batimetria simulada com o MORSYS2D após 30 dias de simulação para o período indicado. Relativamente aos padrões de erosão/deposição observa-se a existência de duas zonas, a norte e no interior da escavação, onde a magnitude das variações é superior a 6%. No interior da escavação, os sedimentos tendem a depositar-se na zona de maior profundidade e no flanco norte da escavação (ver Figura 2) enquanto o flanco sul e o bordo a norte da escavação são zonas de erosão.

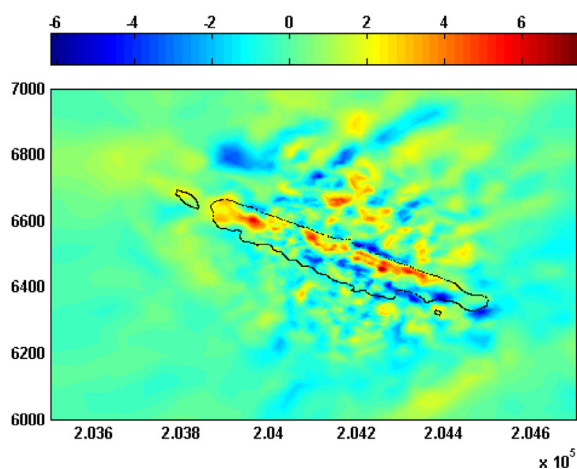


Figura 12. Variação relativa da batimetria (%) da escavação simulada após 30 dias, entre 28 de Março a 29 de Abril (valores negativos correspondem a erosão e valores positivos a deposição). Sistema de coordenadas Hayford-Gauss-Militar (HGM).

Figure 12. Relative variation of the bathymetry (%) after 30 days (negative values- erosion and positive values – accumulation). Hayford-Gauss-Militar (HGM) coordinate system.

O padrão de erosão/deposição descrito anteriormente é também observado para a simulação de 2,5 anos (Figura 13), embora a magnitude das variações relativas da batimetria tenha aumentado para valores acima dos 10%.

A Figura 14 compara as soluções numéricas com as observações na forma de dois perfis batimétricos correspondentes aos dois transectos da escavação – longitudinal e transversal (Figura 2). Os perfis “Maio 2006” e “Nov. 2008” correspondem aos levantamentos batimétricos, logo após a extração e decorridos 2,5 anos, respectivamente. A batimetria final simulada entre 28 de Março e 29 de Abril de 2008 é identificada como “MORSYS2D-Tempestade sim.” e a que resulta da simulação completa de 2,5 anos é identificada como “MORSYS2D-sim. 2,5 anos”. Observa-se que os resultados numéricos reproduzem a tendência e padrões dos levantamentos batimétricos: a escavação tende a encher na região interior enquanto nos flancos é observada erosão, sobretudo a sul. Observa-se também que o modelo descreve a progressão da escavação para o largo.

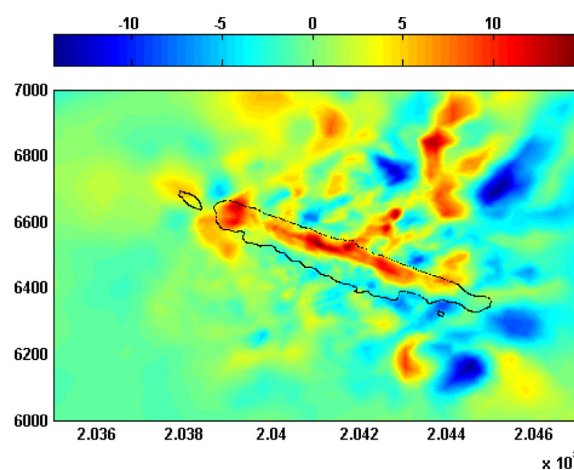


Figura 13. Variação relativa da batimetria (%) após 2,5 anos de simulação, entre Maio de 2006 e Novembro de 2008 (valores negativos correspondem a erosão e valores positivos a deposição). Sistema de coordenadas Hayford-Gauss-Militar (HGM).

Figure 13. Relative variation of the bathymetry (%) after 2,5 years simulation (negative values- erosion and positive values – accumulation). Hayford-Gauss-Militar (HGM) coordinate system.

Com base nos volumes de remoção e acreção correspondentes à simulação de 2,5 anos e considerando uma área centrada e circunscrita à zona da escavação idêntica à utilizada na secção 2, foi estimado o tempo de recuperação da escavação, através da determinação da sua taxa de enchimento. O volume de sedimento que se depositou é aproximadamente $70\,000\text{m}^3$. O valor calculado para a taxa de enchimento a partir da Equação (1) é muito semelhante ao obtido pela análise dos dados batimétricos: cerca de 21 anos.

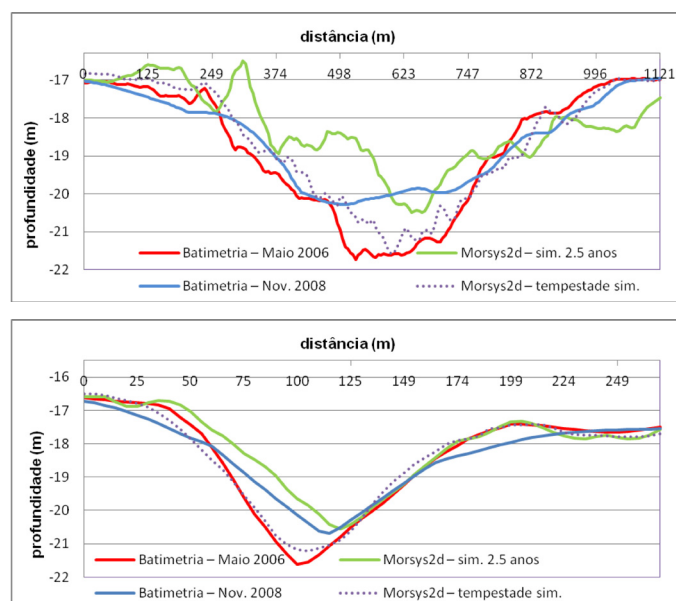


Figura 14. Perfis batimétricos da escavação ao longo dos transectos longitudinal (A'-B') e transversal (A-B).

Figure 14. Bottom profiles along the longitudinal (A'-B') and transverse (A-B) transects in the dredge sandpit.

5. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

No presente trabalho foi estudada e caracterizada a evolução morfodinâmica de uma escavação resultante de dragagem na plataforma continental interna de Vale do Lobo. Com base em 3 levantamentos batimétricos adquiridos entre Março de 2006 e Novembro de 2008 estimou-se o volume de sedimentos removidos e acumulados, analisou-se a variação morfo-sedimentar ocorrida durante o período de estudo e fez-se a previsão do tempo de persistência da escavação. Verificou-se o preenchimento da parte mais profunda da escavação em estudo e erosão nos flancos, o que resulta numa suavização geral da área escavada. O volume mobilizado de sedimentos na área durante o período de avaliação foi estimado em cerca de 60 000 m³. As estimativas do tempo de persistência da perturbação batimétrica indicam um valor cerca de 24 anos até à recuperação quase total da escavação.

Os resultados numéricos decorrentes da aplicação do sistema de modelos de morfodinâmica MORSYS2D ao local em estudo demonstram que a evolução da morfologia da escavação, assim como as áreas circundantes, são fortemente dependentes da ocorrência de eventos na agitação marítima com altura significativa da onda superior a 2,5m combinados com ventos fortes. Nestas condições, são geradas correntes médias (induzidas pelo vento) e oscilatórias (associadas à agitação marítima) capazes de mobilizar os sedimentos de fundo e de os transportar. Para condições de ondulação média ($H_s < 1m$), que são as mais frequentes naquele troço de costa, com cerca de 68% das ocorrências (Costa *et al.*, 2001) as taxas de transporte são pequenas, do qual não resultam alterações na morfologia da escavação. As correntes de maré não representam um forçamento importante para a morfodinâmica da escavação como demonstraram as simulações realizadas só sob o efeito da onda de maré.

A magnitude e a direcção dos fluxos sedimentares dentro da escavação e nas suas imediações são determinadas pelas seguintes condições hidrodinâmicas: a magnitude da velocidade média diminui dentro da escavação e apresenta valores máximos no limite norte e na extremidade sul e este da escavação, onde se observam efeitos de convergência; a diminuição da velocidade média do escoamento e também das velocidades orbitais dentro da escavação indicam que a capacidade de transporte sedimentar diminui; como consequência, a escavação tende a encher ao longo do tempo. O padrão das modificações morfodinâmicas da escavação simulada para um mês (com dois eventos de tempestade) e para 2,5 anos acompanha a tendência dos dados batimétricos adquiridos em Novembro de 2008. O domínio da influência morfodinâmica da escavação é restrito às suas imediações. Verificou-se que os sedimentos que contribuem para o enchimento da escavação provêm de locais vizinhos maioritariamente localizados a norte, numa extensão de 400 m. Os resultados numéricos obtidos demonstram qualitativamente a boa performance do modelo morfodinâmico MORSYS2D para a plataforma continental interna e sugerem que as modificações morfodinâmicas de longo prazo, de escavações na área de estudo, podem ser investigadas através da simulação de uma sucessão de eventos de tempestade. A metodologia desenvolvida e apresentada neste trabalho é relevante para a gestão das zonas costeiras

mas carece de dados batimétricos de alta qualidade de forma a minimizar os erros. Para o estudo e monitorização da evolução de uma escavação deste tipo, é manifestamente necessário efectuar levantamentos batimétricos com sistemas multifeixe com sensores de movimento, posicionamento por GPS diferencial, e, acima de tudo, com correcções adequadas e cuidadosas, nomeadamente dos efeitos de maré, posição do sonar e referência ao Zero Hidrográfico. Igualmente importante é o registo sazonal dos campos tridimensionais de correntes e ondas, com a utilização de ADCP's e de correntómetros/ondógrafos, estes últimos fundeados na área de estudo.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projecto SANDEX (PTDC/ECM/70428/2006 - SAND EXtraction in the Portuguese continental shelf: impacts and morphodynamic evolution), financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT). Um especial agradecimento ao Doutor Pedro Terrinha do LNEG-UGM, assim como a toda a equipa científica que participou na campanha ERSTA-SANDEX em Novembro de 2008, que possibilitou a aquisição de dados fundamentais para este trabalho. Agradece-se ao Doutor Sebastião Teixeira e Dr. Marcos Rosa da ARH Algarve, assim como à instituição, pela cedência dos dados batimétricos da área de estudo referentes a Março e Maio de 2006 e Maio de 2010.

BIBLIOGRAFIA

- Bertin, X.; Oliveira, A.; Fortunato, A.B. (2009) - Simulating morphodynamics on unstructured grids: description and validation of a modeling system for coastal applications. *Ocean Modelling*, 28(1-3):75-87 DOI:10.1016/j.ocemod.2008.11.001.
- Bijker, E.W. (1971) - Alongshore transport computations. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering* (ISSN: 0733-950X), 97(4):687-701, ASCE - American Society of Civil Engineers, New York, NY, U.S.A.
- Booij, N.R.; Holthuijsen, L.R.; Ris, R.C. (1996) - The SWAN wave model for shallow water. In: J.M. Smith (ed.), *Coastal Engineering 2006: Proceedings of the 30th International Conference*, vol. 1, pp. 668-676, World Scientific Publishing, ASCE - American Society of Civil Engineers, New York, NY, U.S.A. ISBN: 9780784402429.
- Cooper, K.; Boyd, S.; Eggleton, J.; Limpenny, D.; Rees, H.; Vanstaen, K. (2007) - Recovery of the Seabed Following Marine Aggregate Dredging on the Hastings Shingle Bank off the Southeast Coast of England. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, vol. 75(4):547-558. DOI:10.1016/j.ecss.2007.06.004.
- Costa, M.; Silva, R.; Vitorino, J. (2001) - Contribuição para o estudo do clima de agitação marítima na costa portuguesa. *2ª Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*. Associação Internacional de Navegação. Sines. CD-ROM.
- Demir, H.; Otay, E.N.; Work, P.A.; Borekci, O.S. (2004) - Impacts of dredging on shoreline change. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean*

- Engineering, 130(4):170-178. DOI:10.1061/(ASCE)0733-950X(2004)130:4(170).
- 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. DOI:10.1016/j.ocemod.2009.10.010.
- Fortunato A.B.; Pinto, L.; Oliveira, A.; Ferreira, J.S., (2002) - Tidally generated shelf waves off the Western Iberian Coast. *Continental Shelf Research*, 22(14):1935-1950. DOI:10.1016/S0278-4343(02)00069-9.
- Fortunato, A.B.; Oliveira, A. (2004) - A modeling system for tidally driven long-term morphodynamics. *Journal of Hydraulic Research*, 42(4):426-434. DOI:10.1080/00221686.2004.9641210.
- Hitchcock, D.; Bell, S. (2004) - Physical Impacts of Marine Aggregate Dredging on Seabed Resources in Coastal Deposits. *Journal of Coastal Research*, 20(1):101-114. DOI:10.2112/1551-5036(2004)20[101:PIOMAD]2.0.CO;2.
- Kubicki, A.; Manso, F.; Diesing, M. (2007) - Morphological Evolution of Gravel and Sand Extraction Pits, Tromper Wiek, Baltic Sea. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, vol. 71(3-4):647-656. DOI: 10.1016/j.ecss.2006.09.011.
- Lopes, V.; Silva, P.A.; Bertin, X.; Fortunato, A.; Oliveira, A. (2009) - Time-evolution of an offshore sandpit: validation of a morphodynamic model. *Journal of Coastal Research*, SI56 (ICS2009 Proceedings):529-533 Disponível em http://e-geo.fcsh.unl.pt/ICS2009/_docs/ICS2009_Volume_1/529.533_V.Lopes_ICS2009.pdf.
- Oliveira, S., (2005) - *Evolução recente da linha de costa no troço costeiro Forte Novo-Garrão (Algarve)*. 115p., Dissertação Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal. (Não publicado) Disponível em http://enggeografica.fc.ul.pt/documentos/tese_serjio_oliveira.pdf.
- Proença, B.; Oliveira, F.S.B.F.; Sancho, F.; Bertin, X. (no prelo) - Impact of marine sand extraction in the southern Portuguese coastline. *Journal of Coastal Conservation*.
- Ramos, M.; Silva, P.A.; Sancho, F. (2005) - Morphological modelling using a 2DH model. In: L. van Rijn, R. Soulsby, P. Hoekstra, & A.G. Davies (eds.). SANDPIT – Sand Transport and Morphology of Offshore Sand Mining Pits, pp. AT 1-10, Aqua Publications, Blokkzijl, Holanda. ISBN: 908003567X.
- Roos, C.P.; Hulscher, S.H.; de Vriend, H.J. (2008) - Modelling the Morphodynamic Impact of Offshore Sandpit Geometries. *Coastal Engineering*, 55(9):704-715. DOI:10.1016/j.coastaleng.2008.02.019.
- Soulsby, R. (1997) - *Dynamics of marine sands*. 249p., Thomas Telford Publications, Londres, U.K. ISBN: 9780727725844.
- Teixeira, S. (no prelo) - Alimentação artificial de praias com dragados no Algarve. In: C. Coelho, P.A. Silva, L.M. Pinheiro & D. Gonçalves (eds), *Dragagens: Fundamentos Técnicas e Impactos*. Fundação João Jacinto Magalhães, no prelo, Aveiro, Portugal. ISBN: 978-972-789-346-1.
- Van Rijn, L.; Walstra, D.J. (2002) - *Morphology of Pits, Channels and Trenches. Part I: Literature Review and Study Approach*. 92p., Report Z3223, WL Delft Hydraulics, Delft, Holanda.
- Vicente, C.M.; Uva, L.P. (1984) - Sedimentation in dredged channels and basins, prediction of shoaling rates. In: B.L. Edge (ed.), *Coastal Engineering 1984: Conference: Proceedings of the International Conference on Coastal Engineering*, pp. 1863-1878, World Scientific, ASCE - American Society of Civil Engineers, New York, NY, U.S.A. ISBN: 9780872624382.
- Zhang, Y.; Baptista, A.M.; 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):2187-2214 DOI:10.1016/j.csr.2004.07.021.