

FMI 5000: UM PROJECTO SOBRE MUDANÇAS AMBIENTAIS HOLOCÉNICAS

ANA RAMOS-PEREIRA¹

CATARINA RAMOS¹

JORGE TRINDADE¹

JOÃO ARAÚJO-GOMES¹

JORGE ROCHA¹

HELENA GRANJA²

LUÍS GONÇALVES²

ANTÓNIO MONGE SOARES³

JOSÉ MATOS MARTINS³

Resumo – Apresenta-se, de forma sumária, o Projecto FMI 5000 – *Environmental Changes: Fluvio-marine interactions over the last 5000 years* (Projecto FCT n.º: PTDC/CTE-GIX/104035/2008). Os ambientes estuarinos constituem uma das áreas mais sensíveis, no quadro das alterações climáticas e da subida do nível do mar, porque se situam na interface entre as influências fluviais e marinhas e são o suporte, não só de áreas húmidas de grande biodiversidade, mas também de actividades económicas de importância estratégica. Estes ambientes registam as mudanças do nível do mar e as modificações operadas nas bacias hidrográficas, quer naturais quer induzidas pela acção humana. Constitui objectivo deste projecto a avaliação do balanço entre as influências marinhas e fluviais, as respostas a eventos climáticos e o impacto das mudanças de uso do solo, numa janela temporal de 5000 anos. Os estuários escolhidos são o do Rio Neiva, do Rio Alcabrichel, na costa Ocidental de Portugal continental, e da Ribeira de Bensafrim, no Barlavento algarvio.

Palavras chave: Estuário, interações fluvio-marinhas, alterações climáticas, mudanças de uso do solo.

Recebido: Dezembro 2010. Aceite: Fevereiro 2011.

¹ Centro de Estudos Geográficos, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território.
E-mail: anarp@campus.ul.pt; catramos@campus.ul.pt; jorgetrd@univ-ab.pt; joaopgomes@campus.ul.pt; jorge.rocha@campus.ul.pt.

² Associação para o Desenvolvimento da Faculdade de Ciências (ADFC/FC/UP).
E-mail: hgranja@dct.uminho.pt; luisgoncalves@dct.uminho.pt

³ Instituto Tecnológico e Nuclear (ITN/MCTES). E-mail: amsoares@itn.pt; jmartins@itn.pt

Abstract – FMI 5000. A PROJECT ON THE ENVIRONMENTAL CHANGES DURING THE HOLOCENE This paper presents the aims, the proposed methodology and the cases to be studied within the FMI 5000 – Environmental Changes: Fluvio-marine interactions over the last 5000 years (Project FCT n°: PTDC/CTE-GIX/104035/2008). The estuarine environments are sensitive areas in the climate change and sea level rise framework, as they are in the interface between fluvial and marine dynamics. They are also strategic areas because of their great biodiversity and the various economic activities they support. These environments record the sea level changes as well as the changes in their drainage basin, whether they are natural or man induced. The goal of the project is to evaluate the balance between marine and fluvial influences, the answers to climatic events and the land use changes impacts, in a 5000 years' time window. The estuaries of Rio Neiva, of Rio Alcabrichel and of Ribeira de Bensafrim were chosen to develop this research; the first two are located on the western coast and the third one in the Algarve southern coast.

Key words: Estuary, fluvio-marine interactions, climatic changes, land use changes.

Résumé – FMI 5000: UN PROJET CONCERNANT LES CHANGEMENTS ENVIRONNEMENTAUX DE L'HOLOCÈNE. LE Projet FMI 5000 – Environmental Changes: Fluvio-marine interactions over the last 5000 years (Projecto FCT n°: PTDC/CTE-GIX/104035/2008) est présenté synthétiquement. Les environnements estuariens constituent l'une des zones les plus sensibles dans le cadre des altérations climatiques et de la montée du niveau de la mer, parce qu'ils se situent à l'interface entre les influences fluviales et marines, et sont le support, non seulement de zones humides de grande biodiversité, mais aussi d'activités économiques d'importance stratégique. Ces environnements enregistrent les changements de niveau de la mer et les modifications subies par les bassins hydrographiques, qu'elles soient naturelles ou induites par l'action humaine. Les objectifs de ce projet sont l'évaluation de l'équilibre entre les influences fluviales et marines, ainsi que l'impact des changements climatiques et d'occupation du sol, dans une fenêtre temporelle de 5000 ans. Les estuaires choisis sont celui du Neiva, celui de l'Alcabrichel, sur la côte occidentale du Portugal, et celui de la rivière de Bensafrim, dans l'Est de l'Algarve.

Mots clés: Estuaire, interactions fluvio-marines, altérations climatiques, changements de l'occupation du sol.

I. INTRODUÇÃO

O presente texto visa divulgar um projecto de investigação apresentado à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), aprovado em Agosto do ano passado e iniciado em Fevereiro de 2010 (Projecto FCT n°: PTDC/CTE-GIX/104035/2008). Não deve esperar-se, por isso, a apresentação de conclusões da investigação já realizada, tão somente a divulgação do projecto, dos seus objectivos, da metodologia proposta e até agora desenvolvida. Trata-se de um projecto multidisciplinar que envolve investigadores do Centro de Estudos Geográficos do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território (IGOT), da Universidade de Lisboa, do Centro de Geologia da Universidade do Porto – extensão na Universidade do Minho, e do Instituto Tecnológico Nuclear. Conta ainda com a participação de investigadores estrangeiros (italianos e espanhóis) e consultores nacionais na área da Geologia e da Arqueologia.

II. OBJECTIVOS DO PROJECTO

O objectivo central do Projecto FMI 5000 é o de avaliar o balanço entre as influências marinhas e fluviais, as respostas a eventos climáticos e o impacto das mudanças de uso do solo, numa janela temporal de 5000 anos.

Os sistemas geomorfológicos escolhidos foram os estuarinos. A razão da escolha insere-se na própria dinâmica de interface que estes sistemas evidenciam.

Na sequência do último máximo glaciário (UMG), em que o nível do mar se situou a aproximadamente -120m, há 18 000 anos, os cursos de água ficaram suspensos ou aprofundaram muito o seu leito. Estes tinham a sua foz muito longe da actual linha de costa, a distâncias da ordem das duas ou três dezenas de quilómetros, dependentes da morfologia, em especial do declive, da plataforma continental. Gerou-se então uma morfologia fluvial particular, com entalhes profundos, hoje submersos, mas que por vezes ainda é possível reconhecer na batimetria da plataforma continental (Ramos-Pereira, 1992).

A posterior subida do nível do mar traduziu-se na invasão desses vales pela água do mar, que então se tornou o principal agente de modelação destes entalhes. Por seu lado, os cursos de água, ao acompanharem a subida do nível do mar, foram carreando para os seus troços vestibulares grande quantidade de sedimentos, de forma a elevar a sua foz e atingir um novo equilíbrio.

Os vários estudos realizados por diversos investigadores em Portugal apontam para que a estabilização do nível do mar tenha ocorrido há aproximadamente 3000 anos (Ramos-Pereira *et al.*, 1994, Alday *et al.*, 2006), embora esta data não seja consensual. Importa, contudo, salientar que foi a partir de então, com a estabilização do nível do mar, que a dinâmica litoral, nomeadamente a dinâmica sedimentar marinha e a dinâmica fluvial, tenderam para o equilíbrio com as condições prevalentes.

Os enchimentos sedimentares dos actuais estuários evidenciam esta dualidade de alimentação, marinha e fluvial.

No litoral português, a variação do nível do mar desde o UMG é apenas conhecida na sua globalidade (Dias *et al.*, 2000), não existindo uma pormenorização para o Holocénico. Constitui também objectivo deste projecto fornecer elementos para uma nova curva de variação do nível do mar no Holocénico, não esquecendo eventuais indícios de neotectónica (Oliveira, 1986; Granja, 1999; Granja *et al.*, 2010).

Sabe-se também que as condições climáticas holocénicas não foram homogéneas e se traduziram em variações térmicas bruscas e curtas (nomeadamente os eventos de Bond; Bond *et al.*, 1997) ou episódios húmidos, já registados na Península Ibérica (Swindles *et al.*, 2007, Martín-Puertas *et al.*, in press). Estas flutuações tiveram repercussões no território emerso ao nível da vegetação e, conseqüentemente, na protecção que esta exerce à erosão hídrica nas vertentes. Estas modificações traduzem-se, nos ambientes fluviais estuarinos, por sedimentos de características diversas.

Constitui também objectivo deste projecto a detecção destas pequenas flutuações climáticas, seus impactes no território e na dinâmica fluvial.

A intervenção humana no território, em especial a partir da Idade do Bronze (ca. 35000 anos) é referida por vários investigadores e está impressa no enchimento das planícies aluviais estuarinas, já reconhecida nos sedimentos da planície aluvial do Tejo (Ramos *et al.*, 2007, Azevêdo *et al.*, 2007).

III. ESTUÁRIOS EM ESTUDO

Para atingir o objectivo do projecto, foram seleccionados estuários, situados em diferentes condições ambientais, com bacias hidrográficas de média dimensão, uma vez que, pela sua homogeneidade climática e geomorfológica, permitem definir, com maior precisão, os eventos hidroclimáticos que contribuem para o enchimento das planícies estuarinas. A análise das propriedades texturais dos sedimentos, já reconhecidas nos estuários dos rios Tejo e Guadiana e nos dos pequenos estuários do litoral meridional espanhol (Dabrio *et al.*, 2000; Azevêdo *et al.*, 2007; Vis *et al.*, 2008, Boski *et al.*, 2008), da microfauna, dos pólenes e dos elementos palinomórficos não polínicos (Ferreira *et al.*, 2006; Azevêdo *et al.*, 2007) permitem definir, com precisão, as mudanças ambientais na interface fluvio-marinha.

A equipa de investigação seleccionou três estuários com planície aluvial, em regime mesomareal e com bacias de drenagem de dimensão média, mas com diferentes contextos geológicos (e neotectónicos) e geomorfológicos e condições climáticas e de clima de agitação marinha distintas.

O estuário do Rio Neiva, mais setentrional, ilustra o ambiente de clima temperado chuvoso e de clima de agitação marítima atlântico de mais alta energia, cuja bacia hidrográfica se desenvolve nas rochas graníticas e metamórficas paleozóicas e com densa ocupação humana desde a Idade do Bronze.

O estuário do Rio Alcabrichel, a NW de Lisboa, com ocupação humana desde o Paleolítico, tem condições intermédias no que respeita ao clima e ao clima de agitação marítima, e a sua bacia hidrográfica corta arenitos, margas e calcários do Mesozóico (Trindade, 2001).

O estuário da Ribeira de Bensafrim situa-se na costa algarvia, ao abrigo da influência atlântica ocidental, tem um ambiente mediterrânico, e a sua bacia entalha turbiditos paleozóicos e arenitos mesozóicos e cenozóicos e, mais raramente, calcários (Gomes, 2010). Na sua bacia hidrográfica são conhecidas importantes estações arqueológicas (Arruda *et al.*, 2008), com ocupação desde o Paleolítico, bem como uma importante cidade romana e diversas *villas*.

Os três estuários em estudo são contíguos a praias e campos dunares.

IV. METODOLOGIA PROPOSTA

Para alcançar os objectivos propostos, a equipa organizou a investigação em três grandes áreas temáticas, sintetizadas em seguida, e que se organizam em sete grandes tarefas (fig. 1).

1. A evolução milenar natural

Para avaliar esta evolução, a equipa está a realizar diversas sondagens (com Radar de Penetração no Solo) nos enchimentos sedimentares das planícies aluviais estuarinas.

A selecção dos locais a sondar, em cada um dos estuários, está a ser realizada de forma a obter as variações laterais e longitudinais dos sedimentos. As planícies, bem como os locais das sondagens, são levantados e georreferenciados com equipamento de precisão (GPS e/estação total), permitindo o seu enquadramento geomorfológico e a localização precisa dos níveis sedimentares encontrados, nomeadamente no que respeita à altimetria.

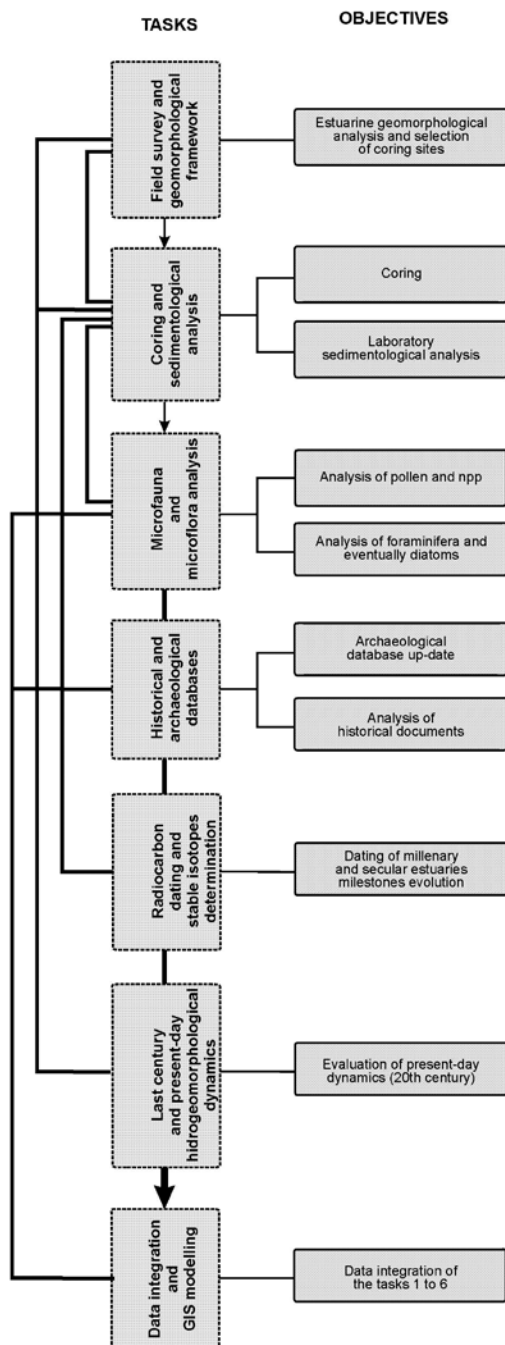


Fig. 1 – Esquematização das várias tarefas do projecto e sua relação com os objectivos descritos.

Fig. 1 – Tasks organization and its objectives, describes along the text.

O tratamento sedimentológico das amostras obtidas por sondagem visa a caracterização e avaliação da variação de fácies e textura, bem como a obtenção de vários parâmetros estatísticos, com o propósito de detectar as mudanças energéticas no ambiente de deposição, assim como os episódios fluviais e marinhos. A morfoscopia e exoscopia poderão vir a revelar-se uma ajuda importante na definição dos agentes de transporte (marinhos ou fluviais), assim como o cortejo dos minerais pesados no reconhecimento das fontes aluvionares.

Para completar a investigação desta temática, serão determinadas as componentes em isótopos ambientais ($\delta^{13}\text{C}$ $\delta^{15}\text{N}$) dos sedimentos argilosos, com o objectivo de identificar as fontes da matéria orgânica seja marinha ou terrestre (Burdloff *et al.*, 2008).

Com a informação obtida e tendo em vista reconstituir a cripto-arquitetura das sequências sedimentares, será utilizado um radar de penetração no solo (GPR – Ground Penetrating Radar), segundo as metodologias propostas por Backer e Jol (2007) e Jol (2009), utilizando o equipamento e definições de aquisição de dados referidos por Gonçalves *et al.* (2008), cujos resultados serão localizados com precisão através de GPS e cruzados com os dados obtidos das sondagens. Esta investigação será completada com a análise da microfauna, nomeadamente de foraminíferos e diatomáceas, com o objectivo de detectar as incursões marinhas. A identificação dos pólenes e dos palinomórficos não polínicos (npp) nos sedimentos sondados complementarará a informação respeitante às condições climáticas e ambientais, naturais e induzidas pela acção humana.

A sequência dos acontecimentos e variações ambientais detectadas serão balizadas por datações de radiocarbono (Soares, 2005, Soares e Dias, 2006, Soares e Martins, 2010), permitindo reconstituir a sequência cronológica e estabelecer comparações com dados obtidos noutros sistemas morfogenéticos. Este conjunto de tarefas compreende ainda a reconstrução e modelação em ambiente SIG da paleogeomorfologia dos estuários em estudo, nos últimos 5000 anos.

2. A evolução natural e induzida pela acção humana

A evolução milenar comporta não só uma evolução natural, mas também as mudanças de uso do território. Com efeito, em Portugal, é a partir da Idade do Bronze que a intervenção humana é mais marcada, tendo sido reconhecida em diversos tipos de sedimentos, nomeadamente em consequência da desflorestação.

A organização da sociedade e dos grupos humanos, desde essa altura, tem vindo a aperfeiçoar os instrumentos de intervenção no território, actuando de forma cada vez mais complexa sobre a paisagem.

A abordagem à Pré-história das três bacias de drenagem baseia-se nos dados arqueológicos já disponíveis, que estão a ser organizados numa base de dados, que inclui informações complementares dos vários sítios arqueológicos, nomeadamente posição, macrofauna, pólenes e datas de radiocarbono.

A pesquisa sobre os documentos históricos regionais focar-se-á na detecção de episódios chuvosos ou de cheias e secas e também sobre mudanças de uso do território (nomeadamente desflorestação, secagem de pântanos e pauis).

No que se refere à evolução climática no último século, serão usados dados radiométricos adequados a esta escala temporal (^{210}Pb), os quais serão depois comparados com os dados da rede meteorológica nacional.

As modificações mais recentes (Rocha *et al.*, 2007) serão avaliadas com base na cartografia nacional do coberto vegetal, do Projecto Corine e de ortofotomapas.

3. A integração dos eventos detectados no quadro das mudanças ambientais

Ao longo do Projecto será efectuada a revisão, comparação e correlação com bases de dados de paleoclimatologia (e.g. NOAA), de forma a avaliar em que medida as mudanças globais e regionais se reflectem ao longo do litoral ocidental da Ibéria nos últimos 5 000 anos.

A integração das datações por radiocarbono, dos dados obtidos através dos isótopos estáveis, dos foraminíferos, dos pólenes e dos polimórficos não polínicos e dos dados arqueológicos com os resultados das análises sedimentológicas permitirá reconstituir as mudanças ambientais durante o Holocénico médio e superior, ao longo do litoral português. Esta tarefa não ficaria completa se os dados obtidos pela investigação desenvolvida não fossem comparados com os já existentes noutros estuários e lagunas costeiras. Conclui-se com a elaboração de uma base de geodados, usando o mesmo método de calibração do radiocarbono.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É propósito da equipa FMI 5000 contribuir para um conhecimento mais pormenorizado e preciso da evolução das duas complexas fachadas litorais de Portugal continental, no cruzamento das influências atlânticas e mediterrâneas

Os resultados obtidos, assim esperamos, contribuirão para uma melhor compreensão da actual tendência evolutiva do litoral e dos possíveis impactes futuros, num cenário de mudança global.

BIBLIOGRAFIA

- Alday M, Cearreta A, Cachão M, Freitas M C, Andrade C, Gama C (2006) Micropalaeontological record of Holocene estuarine and marine stages in the Corgo do Porto rivulet (Mira River, SW Portugal). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 66: 532-543.
- Araújo-Gomes J (2010) *Estuário da Ribeira de Bensafirim – Leitura geo-arqueossimológica*. Dissertação de Mestrado, IGOT, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Arruda A M, Sousa E, Bargão P, Lourenço P (2008) Monte Molião (Lagos): resultados de um projecto em curso. *Xelb* 8 (1): 137-168.
- Azevêdo T M, Ramos-Pereira A, Ramos C, Nunes E, Freitas M C, Andrade C, Pereira D I (2007) Floodplain sediments of the Tagus River, Portugal: assessing avulsion, channel migration and human impact. In Nichols G, Williams E, Paola C (Eds.) *Sedimentary Processes, Environments and Basins*, A tribute to Peter Friend, International Association of Sedimentologists, SP38(21): 535-554.
- Baker G S, Jol H M (2007) *Stratigraphic analyses using GPR*. Geological Society of America, Special Paper 432: 181.
- Bond G, Showers W, Cheseby M, Lotti R, Almasi P, deMenocal P, Priore P, Cullen H, Hajdas I, Bonani G (1997) A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates. *Science*, 278(5341): 1257-1266.
- Boski T, Camacho S, Moura D, Fletcher W, Wilamowski A, Veiga-Pires C, Correia V, Loureiro C, Santana P (2008) Chronology of the sedimentary processes during the postglacial sea level rise in two estuaries of the Algarve coast, Southern Portugal. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 77: 230-244.
- Burdloff D, Araújo M F, Jouanneau J-M, Mendes I, Monge Soares A M, Dias J A M (2008) Sources of organic carbon in the Portuguese continental shelf sediments during the Holocene period. *Applied Geochemistry*, 23: 2857-2870.

- Dabrio C J, Zazo C, Goy J L, Sierro F J, Borja F, Lario J, González J A, Flores J A (2000) Depositional history of infill during the last post-glacial transgression (Gulf of Cadiz, Southern Spain). *Marine Geology*, 162: 381-404.
- Dias J A, Boski T, Rodrigues A, Magalhães F (2000) Coast line evolution in Portugal since the Last Glacial Maximum until present: a synthesis. *Marine Geology*, 170: 177-186.
- Ferreira T, Cruces A, Freitas M C, Andrade C (2006) Holocene infill of Poços do Barbaroxa dune-slackes (SW Coast of Portugal). *5º Simpósio sobre a Margem Ibérica Atlântica* (Aveiro, Portugal): 73-74.
- Gonçalves L, Alves M I C, Bettencourt A (2008) Ground penetrating radar mapping in rescue archaeology. A study from Pêgo Late Bronze Age Settlement, Braga (NW Portugal). In *Proceedings of the 12th International Conference on GPR, 16-19 June 2008, Birmingham, UK*. CD-ROM.
- Granja H (1999) Evidence for late Pleistocene and Holocene sea-level, neotectonic and climate control in the coastal zone of northwest Portugal. *Geologie en Mijnbouw*, 77: 233-245.
- Granja H M, Rocha F, Matias M, Moura R, Caldas F, Marques J, Tareco H (2010) Lagoa da Apúlia: a residual lagoon from Late Holocene (NW coastal zone of Portugal). *Quaternary International*, 221: 46-57.
- Granja H M, De Groot T A M, Costa A L (2008) Evidence for Pleistocene wet aeolian dune and interdune accumulation, S. Pedro da Maceda, north-west Portugal. *Sedimentology*, 55(5): 1203-1226
- Jol H M (2009) *Ground penetrating Radar Theory and Applications*. Elsevier.
- Martín-Puertas C, Valero-Garcés B L, Brauer A, Mata M P, Delgado-Huertas A, Dulski P (in press) The Iberian-Roman Humid Period (2600-1600 cal yr BP) in the Zoñar Lake varve record (Andalucía, Southern Spain). *Quaternary Research* (accepted).
- Oliveira C S (1986) A sismicidade histórica e a revisão do catálogo sísmico. *Laboratório Nacional de Engenharia Civil*.
- Ramos C, Ramos-Pereira A, Azevêdo T M, Nunes E, Freitas C M, Andrade C, Mozzi P, Favoretto S (2007) Paleoambiente no Médio Tejo desde o Último Máximo Glaciário. *Ass. Port. de Geomorfólogos*, V: 191-199.
- Ramos-Pereira A (1992) *A geomorfologia da margem continental portuguesa e a interdependência das plataformas continental e litoral. Evolução do conhecimento e linhas de investigação*. Centro de Estudos Geográficos, L.A.G.F., Lisboa, 30.
- Ramos-Pereira A, Dias J A, Laranjeira M (1994) Variações holocénicas da linha de costa na baía de Lagos. In: *“Contribuições para a Geomorfologia e Dinâmica Litorais em Portugal”*, Centro de Estudos Geográficos, Linha de Acção de Geografia Física, Lisboa, 35: 75-90.
- Rocha J, Ferreira J C, Simões, J, Tenedório J A (2007) Modelling coastal and land use evolution patterns through neural network and cellular automata integration. *Journal of Coastal Research*, SI 50 (Proceedings of the 9th International Coastal Symposium), 21-24. Gold Coast, Australia: 827-831.
- Swindles G T, Plunkett G, Roe H M (2007) A delayed climatic response to solar forcing at 2800 cal. BP: multiproxy evidence from three Irish peatlands. *The Holocene*, 17(2): 177-182.
- Soares A M M (2005) *Variabilidade do “Upwelling” Costeiro durante o Holocénico nas Margens Atlânticas Ocidental e Meridional da Península Ibérica*. Tese de Doutoramento. Faro: Faculdade de Ciências do Mar e do Ambiente, Universidade do Algarve.
- Soares A M M, Dias J M A (2006) Coastal upwelling and radiocarbon – evidence for temporal fluctuations in ocean reservoir effect off Portugal during the Holocene”. *Radiocarbon*, 48(1): 45-60.
- Soares A M M, Martins J M M (2010) Radiocarbon dating of marine samples from Gulf of Cadiz: the reservoir effect. *Quaternary International*, 221: 9-12.
- Trindade J (2001) *Evolução geomorfológica do sector terminal da bacia do Rio Alcabrichel (A-dos-Cunhados – Praia de Porto Novo) – Lourinhã*. Dissertação de Mestrado em Geografia Física, Universidade de Lisboa.
- Vis G-J, Kasse C, Vandenberghe J (2008) Late Pleistocene and Holocene palaeogeography of the Lower Tagus Valley (Portugal): effects of relative sea level, valley morphology and sediment supply. *Quaternary Science Reviews*, 27: 1682-1709.